

Caracterização dos Riscos Ambientais de Materiais Contaminados na Planície Aluvionar de uma unidade Metalúrgica no Estado de Minas Gerais (Brasil)

Ana Catarina Gomes de Pinho

Tese apresentada à Universidade de Évora
para obtenção do Grau de Doutor em Ciências da Terra e do Espaço
Especialidade: Processos Geológicos

ORIENTADOR (ES): *Professora Doutora Rita Fonseca*
Professor Doutor Júlio Carneiro

ÉVORA, JULHO DE 2017





Caracterização dos Riscos Ambientais de Materiais Contaminados na Planície Aluvionar de uma unidade Metalúrgica no Estado de Minas Gerais (Brasil)

Ana Catarina Gomes de Pinho

Tese apresentada à Universidade de Évora
para obtenção do Grau de Doutor em Ciências da Terra e do Espaço
Especialidade: Processos Geológicos

ORIENTADOR (ES): *Professora Doutora Rita Fonseca*
Professor Doutor Júlio Carneiro

ÉVORA, JULHO DE 2017



“A presente tese de não se encontra redigida de acordo com o novo acordo ortográfico.”

Agradecimentos

Quero primeiramente agradecer àqueles que estiveram, estão e continuarão a estar sempre cá para mim, os meus pais e irmão que, mesmo estando longe, sempre me apoiaram e incentivaram em todos os meus projectos. São o meu “*porto seguro*” para onde posso “*fugir*” e ser aceite tal e qual como sou.

Ao Alexandre, um enorme obrigado, pelo apoio incondicional, pela partilha diária de momentos bons e menos bons, pela compreensão em épocas de maior trabalho, pela disponibilidade para ouvir os meus problemas e dificuldades, ajudando-me a resolve-los e a pensar com clareza em momentos de desespero.

A todos as pessoas que conheci durante este percurso, que trabalharam lado a lado comigo no laboratório e que no final se tornaram também amigos. Às que já conhecia e que me ajudaram a ultrapassar com mais leveza fases menos positivas. A todos os meus amigos que sempre acreditaram que seria capaz de concluir mais esta fase.

À minha professora e orientadora Rita Fonseca que tornou este trabalho possível e trabalhou lado a lado no projecto compreendendo ela também todas as dificuldades passadas. Agradecer-lhe ainda pela possibilidade de estar integrada no laboratório AmbiTerra à já alguns anos e de trabalhar naquilo que gosto com liberdade para fazer as minhas próprias escolhas.

Ao meu co-orientador e professor Júlio Carneiro, também ele membro do projecto, pela oportunidade de trabalhar com ele, por todos os conhecimentos que me transmitiu, pela ajuda incansável e disponibilidade em esclarecer todas as minhas dúvidas.

À professora Isabel Costa, membro do projecto e docente na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), agradecer pela análise rigorosa que fez, no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) ao qual também agradeço a disponibilidade, e me cedeu com enorme generosidade.

À doutora Ana Isabel Janeiro, membro do projecto e investigadora na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), pela simpatia e por toda a ajuda e dúvidas esclarecidas sempre com um sorriso na cara.

Ao professor José Mirão, pela boa vontade e disponibilidade que me foi facultada na utilização de todos os equipamentos no Laboratório HERCULES - Herança Cultural, Estudos e Salvaguarda.

À Anabela, técnica do Laboratório da Água da Universidade de Évora pela simpatia, amizade e constante boa vontade sempre que lhe pedi auxílio. À Sandra, técnica do Laboratório de Geociência da Universidade de Évora, pela boa disposição constante, amizade, acompanhamento em muitas das fases de ensaio e principalmente pelos bons momentos passados e gargalhadas dadas quando parecia que “*o mundo ia acabar ali..*”.

A todos um muito OBRIGADO!

Índice

Página

1. Introdução	I
1.1. Contextualização	1
1.2. Estado-da-Arte	3
1.2.1. Elementos Metálicos como Fonte de Poluição.....	3
1.2.2. Contaminação de Águas Subterrâneas	8
1.3. Técnicas de Remediação aplicadas a Áreas Contaminadas por Metais Pesados	10
1.3.1. Casos de Estudo com Aplicação de Técnicas de Remediação em áreas Contaminadas com Metais Pesados	11
2. Enquadramento	14
2.1. Enquadramento Geográfico.....	14
2.2. Enquadramento Geológico.....	15
2.3. Enquadramento Hidrográfico e Hidrogeológico	18
2.3.1. Águas Superficiais	21
2.4. Enquadramento Climático.....	24
2.5. Enquadramento Industrial e Método de Lavra Mineral	25
2.5.1. Processo de Produção e Purificação do Zinco.....	27
3. Metodologia	36
3.1. Amostragem	36
3.1.1. Amostras Aluvionares	41
3.1.2. Águas.....	44
3.2. Processamento de Amostras e Análises <i>in situ</i>	44
3.3. Análises Laboratoriais.....	46
3.3.1. Análises Químicas.....	47
3.3.1.1. Digestão Parcial – Extracção por <i>Aqua Regia</i>	47
3.3.1.2. Extracção Sequencial	48
3.3.1.3. Análise Elementar de CHNS.....	52
3.3.1.4. Ensaio de Lixiviação	53
3.3.1.5. Determinação do Fósforo Total.....	53
3.3.1.6. Determinação do Teor em Sulfatos	54
3.3.1.7. Determinação do Teor em Metais em Diferentes Fracções Granulométricas.....	55
3.3.2. Análises Físicas	56

3.3.2.1.	Granulometria da Fracção Arenosa.....	56
3.3.2.2.	Classificação Textural das Amostras	59
3.3.2.3.	Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade	61
3.3.2.4.	Condutividade Hidráulica Saturada (Permeabilidade).....	62
3.3.3.	Análises Mineralógicas	64
3.3.3.1.	Estudo Mineralógico Através de Difracção de Raios-X	64
3.3.3.2.	Estudo Petrográfico e Mineralógico da Fracção Arenosa	69
4.	Resultados	71
4.1.	Análises Químicas	71
4.1.1.	Parâmetros Físico-Químicos (pH, Eh e Condutividade Eléctrica)	71
4.1.1.1.	Águas Superficiais.....	72
4.1.1.2.	Águas Intersticiais	73
4.1.1.3.	Aluviões	75
4.1.2.	Química da Fracção Dissolvida	76
4.1.2.1.	Águas Superficiais.....	76
4.1.2.2.	Águas Intersticiais	78
4.1.3.	Avaliação do Grau de Contaminação através de Digestão Parcial (<i>Aqua Regia</i>)	82
4.1.3.1.	Aluviões	82
4.1.3.2.	Fracções Granulométricas ($>63 \mu\text{m}$, $63\text{-}2 \mu\text{m}$, $< 2 \mu\text{m}$).....	85
4.1.4.	Avaliação do Grau de Contaminação através de métodos de Extracção Sequencial	90
4.1.5.	Avaliação da Biodisponibilidade dos Metais: Extracção com Acetato de Amónio ..	92
4.1.6.	Ensaio de Lixiviação	93
4.1.7.	Análise dos Elementos Orgânicos: Análise Elementar	96
4.1.8.	Análise do Fósforo Total	97
4.1.8.1.	Aluviões	97
4.1.8.2.	Águas Intersticiais	98
4.1.8.3.	Águas Superficiais.....	100
4.1.9.	Análise de Sulfatos	101
4.1.9.1.	Aluviões	102
4.1.9.2.	Águas Intersticiais	103
4.1.9.3.	Águas Superficiais.....	104
4.1.9.4.	Teor em Sulfatos nas Soluções Resultantes dos Ensaio de Lixiviação	105
4.2.	Análises Físicas	107
4.2.1.	Análise Granulométrica	107
4.2.1.1.	Granulometria da Fracção Arenosa.....	107

4.2.1.2. Classificação Textural das Amostras	108
4.2.2. Análise Granulométrica das Amostras com maior Índice de Contaminação	109
4.2.3. Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade	110
4.2.4. Condutividade Hidráulica Saturada (Permeabilidade)	111
4.2.5. Petrografia e Mineralogia da Fracção Arenosa	112
4.2.6. Mineralogia de Difraccção de Raios-X	115
5. Discussão dos Resultados	118
5.1. Ensaio Químico	118
5.1.1. Parâmetros Físico-Químicos (pH, Eh e Condutividade Eléctrica)	118
5.1.1.1. Águas Superficiais	118
5.1.1.2. Águas Intersticiais	120
5.1.1.3. Aluviões	122
5.1.2. Química da Fracção Dissolvida	124
5.1.2.1. Águas Superficiais	124
5.1.2.2. Águas Intersticiais	127
5.1.3. Determinação do Grau de Contaminação da Planície Aluvionar	133
5.1.4. Relação entre os Níveis de Contaminação e os Valores de pH	162
5.1.5. Determinação da Concentração de Elementos Metálicos em Diferentes Fracções Granulométricas (>63 µm, 63-2 µm, < 2 µm)	166
5.1.6. Avaliação do Grau de Contaminação através de métodos de Extracção Sequencial	173
5.1.7. Ensaio de Lixiviação	189
5.1.8. Análise de Elementos Orgânicos: Análise Elementar	195
5.1.8.1. Carbono	196
5.1.8.2. Azoto	197
5.1.8.3. Enxofre	199
5.1.9. Determinação do Teor em Fósforo	200
5.1.10. Determinação do Teor em Sulfatos	203
5.2. Análises Físicas	207
5.2.1. Análise Granulométrica da Fracção Arenosa	207
5.2.1.1. Granulometria da Fracção Arenosa	208
5.2.1.2. Classificação Textural das Amostras	219
5.2.2. Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade	221
5.2.3. Condutividade Hidráulica Saturada (Permeabilidade)	225
5.2.4. Caracterização Mineralógica	230
5.2.4.1. Petrografia e Mineralogia da Fracção Arenosa	232

5.2.4.2. Estudo Mineralógico Através de Difração de Raios-X	240
6. Resistividade Eléctrica	253
7. Aplicabilidade da Nanotecnologia na Remediação Ambiental	275
7.1. Nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI)	275
7.1.1. Características, Estrutura e Propriedades das nZVI	277
7.1.2. Transporte de nanopartículas de Ferro Zerovalente (nZVI) em Meios Porosos	280
7.1.3. Vantagens e Limitações da aplicação de nano partículas de Ferro Zero Valente (nZVI) na remediação/descontaminação	282
7.2. Ensaio Laboratorial Experimental de Aplicação de Nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI) em Materiais Contaminados	284
7.2.1. Caracterização das Amostras Utilizadas	286
7.2.2. Metodologia de Ensaio	291
7.2.3. Realização do Ensaio	293
7.2.4. Resultados do Ensaio	295
7.2.4.1. Efeito do pH	295
7.2.4.2. Efeito do Eh (potencial <i>redox</i>)	299
7.2.4.3. Condutividade	301
7.2.5. Variação dos Elementos Metálicos mais Relevantes	304
7.2.5.1. Comportamento do Arsénio	304
7.2.5.2. Comportamento do Cádmio	308
7.2.5.3. Comportamento do Cobre	312
7.2.5.4. Comportamento do Ni	316
7.2.5.5. Comportamento do Chumbo	319
7.2.5.6. Comportamento do Zinco	323
7.3. Conclusão do Ensaio Laboratorial de Injecção de nZVI	327
8. Remediação	334
8.1. Tecnologias de Remediação de Áreas Contaminadas por Metais Pesados	334
8.1.1. Técnicas de Tratamento <i>in situ</i>	335
8.1.2. Técnicas de Tratamento <i>ex situ</i>	337
8.1.3. Métodos de Remediação Química (<i>in situ</i> e <i>ex situ</i>)	339
8.1.4. Métodos de Remediação Biológicos	343
8.1.5. Métodos de Remediação de Águas Subterrâneas Contaminadas	346
8.1.5.1. Construção e Aplicação de Barreiras Reactivas Permeáveis (BRP)	352
8.2. Estratégia de Remediação Sugerida para a Área em Estudo	361
8.2.1. Áreas Envolventes da Unidade Industrial	362
8.2.2. Planície Aluvionar	365

8.2.3. Estabilização das Vertentes na Bacia do córrego Consciência	373
8.2.4. Remediação do córrego Consciência	381
9. Conclusão	386
10. Referências Bibliográficas	395
Anexos	417
Anexo A	417
Anexo B	622

Índice de Figuras

	Página
Figura 1.1: Distribuição vertical da água no solo.	8
Figura 1.2: Exemplo de um processo de contaminação de água subterrânea.	9
Figura 1.3: Esquematização das técnicas abordadas.	11
Figura 2.1: Localização da área em estudo.	14
Figura 2.2: Localização geográfica da área em estudo.	15
Figura 2.3: Enquadramento geotectónico da área em estudo no Cratão de São Francisco.	16
Figura 2.4: Coluna estratigráfica do Cratão de São Francisco.	18
Figura 2.5: Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.	20
Figura 2.6: Sub-bacias contribuintes para a bacia hidrográfica do rio São Francisco na área em estudo.	22
Figura 2.7: Classes climáticas presentes no Cratão São de Francisco.	25
Figura 2.8: Localização das minas (Vazante e Morro Agudo) cujo minério extraído é beneficiado na unidade de Três Marias da Votorantim Metais.	27
Figura 2.9: Processo de produção e purificação de zinco por eletrólise.	29
Figura 2.10: Localização dos depósitos de rejeitos da unidade Três Marias da Votorantim Metais S.A.	33
Figura 2.11: Localização dos antigos aterros de resíduos, construídos anteriormente à Barragem Velha.	34
Figura 3.1: Áreas delimitadas pela Golder Associates para a descontaminação da área.	37
Figura 3.2: Áreas delimitadas como contaminadas (a verde) e degradadas (a vermelho) na área industrial da Votorantim Metais S.A.	38
Figura 3.3: Localização dos pontos de amostragem das aluviões e sedimentos na área A0.	39
Figura 3.4: Localização dos pontos de amostragem das aluviões e sedimentos na área A1.	40
Figura 3.5: Localização dos pontos de amostragem das aluviões e sedimentos na área A2.	40
Figura 3.6: Localização dos pontos de amostragem das aluviões e sedimentos na área A3.	41
Figura 3.7: Amostragem de aluviões na planície aluvionar (esquerda) e aluviões junto a margem do córrego (direita).	42
Figura 3.8: Amostragem de aluviões nas margens de acumulação do córrego com obtenção de amostras compósitas.	42
Figura 3.9: Amostragem de sedimentos imersos nas margens do córrego com recurso a draga manual do tipo <i>Shipeck</i> (com vara).	43
Figura 3.10: Amostragem em coluna dos sedimentos depositados no leito do córrego com recurso a corer de varas <i>Kajak</i>	43

Figura 3.11: Recolha de água com recurso a uma garrafa de <i>Van Dorn</i>	44
Figura 3.12: Amostragem de água intersticial com recurso a <i>rhizom samplers</i>	45
Figura 3.13: Digestor microondas de alta pressão do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	47
Figura 3.14: Nebulizador ultrassónico acoplado ao ICP-OES do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	48
Figura 3.15: Espectrómetro de emissão óptica por fonte indutiva de plasma (ICP-OES) do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.....	50
Figura 3.16: Câmara de radiação ultravioleta (UV) presente no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	52
Figura 3.17: Analisador elementar do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	53
Figura 3.18: Mufla do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora e diferentes etapas do ensaio de determinação de Fósforo Total.	54
Figura 3.19: Espectrómetro de absorção molecular UV/Visível do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	55
Figura 3.20: Agitador de peneiros (direita) e peneiros utilizados (esquerda) no ensaio, existentes no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental de Universidade de Évora.....	56
Figura 3.21: Pipeta de <i>Andersen</i> do Laboratório de Geociências da Universidade de Évora....	60
Figura 3.22: Ensaio de determinação da densidade das partículas.	62
Figura 3.23: Amostras analisadas em anéis para determinação da permeabilidade e Permeâmetro do Laboratório de Geociências da Universidade de Évora.	63
Figura 3.24: Difractómetro de Raios-X do Laboratório <i>Hércules - Herança Cultural, Estudos e Salvaguarda</i> da Universidade de Évora.	65
Figura 3.25: Lâminas de argila após glicolação (direita) e amostras em pó (< 63 µm) em porta amostra (esquerda) para análise DRX.	66
Figura 3.26: Micro-sonda electrónica presente nas instalações de S. Mamede de Infesta do LNEG, utilizada no estudo petrográfico.	70
Figura 4.1: Acumulação de sulfatos junto ao córrego Consciência (Época Seca).	81
Figura 5.1: Parâmetros físico-químicos determinados nas águas superficiais recolhidas na época da seca (Novembro de 2013) e da chuva (Março de 2014).	119
Figura 5.2: Parâmetros físico-químicos determinados nas águas intersticiais recolhidas na época da seca (Setembro - Novembro de 2013) nas áreas A1, A2 e A3.	120
Figura 5.3: Parâmetros físico-químicos determinados nas águas intersticiais recolhidas na época da chuva (Março de 2014) nas áreas A1, A2 e A3.	122
Figura 5.4: Parâmetros físico-químicos determinados nas aluviões recolhidas na época da seca (Setembro – Novembro de 2013) nas áreas A1, A2 e A3.	123

Figura 5.5: Parâmetros físico-químicos determinados nas aluviões recolhidas na época da chuva (Março de 2014) nas áreas A1, A2 e A3.....	124
Figura 5.7: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (PS) e pós-chuva (PC) na coluna de água do ponto CA1-26.	126
Figura 5.6: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (PS) e pós-chuva (PC) na coluna de água do ponto CA1-14.	125
Figura 5.7: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (PS) e pós-chuva (PC) na coluna de água do ponto CA1-26.	126
Figura 5.8: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (PS) e pós-chuva (PC) na coluna de água do ponto CA1-35.	126
Figura 5.9: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais das amostras CA1-14 e CA1-22.....	128
Figura 5.10: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais das amostras CA1-29 e CA1-35.....	129
Figura 5.11: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais da amostra CA3-38.....	130
Figura 5.12: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (<i>Aqua Regia</i>) para as aluviões da área A0 com os níveis legais locais.....	134
Figura 5.13: Comparação dos valores obtidos em arsénio, cádmio e cobre por digestão parcial (<i>Aqua Regia</i>) para as aluviões da área A1, recolhidas na época pós-seca (PS) pós-chuva (PC), com os níveis legais locais.....	135
Figura 5.14: Comparação dos valores obtidos em crómio, níquel e chumbo por digestão parcial (<i>Aqua Regia</i>) para as aluviões da área A1, recolhidas na época pós-seca (PS) pós-chuva (PC), com os níveis legais locais.....	136
Figura 5.15: Comparação dos valores obtidos em zinco por digestão parcial (<i>Aqua Regia</i>) para as aluviões da área A1, recolhidas na época pós-seca (PS) pós-chuva (PC), com os níveis legais locais.	137
Figura 5.16: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (<i>Aqua Regia</i>) para as aluviões da área A2, recolhidas na época pós-seca (PS), com os níveis legais locais.....	137
Figura 5.17: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (<i>Aqua Regia</i>) para as aluviões da área A2, recolhidas na época pós-chuva (PC), com os níveis legais locais. .	138
Figura 5.18: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (<i>Aqua Regia</i>) para as aluviões da área A3, recolhidas na época pós-seca (PS), com os níveis legais locais.....	139
Figura 5.19: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (<i>Aqua Regia</i>) para as aluviões da área A3, recolhidas na época pós-chuva (PC), com os níveis legais locais. .	139
Figura 5.20: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A0 (época pós-seca)..	141

Figura 5.21: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-seca).	143
Figura 5.22: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-seca).	144
Figura 5.23: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-seca).	145
Figura 5.24: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-chuva [III]).	147
Figura 5.25: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-chuva [III] e [IV]).	148
Figura 5.26: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A2 (época pós-seca e pós-chuva ([III])).	149
Figura 5.27: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A3 (época pós-seca e pós-chuva ([III])).	150
Figura 5.28: Factor de Enriquecimento para as aluviões da área em estudo.	156
Figura 5.29: Categorias do Factor de Enriquecimento (FE) nas aluviões da área em estudo. .	156
Figura 5.30: Somatório do número de ocorrências nas aluviões em cada categoria do Factor de Enriquecimento (FE).	157
Figura 5.31: Índice de Geoacumulação para as aluviões da área em estudo.	159
Figura 5.32: Categorias do Índice de Geoacumulação (IGL) nas aluviões da área em estudo.	159
Figura 5.33: Somatório do número de ocorrências nas aluviões em cada categoria do Índice de Geoacumulação (IGL).	160
Figura 5.34: Comparação dos valores de pH e IGL das aluviões da área em estudo, época pós-seca - PS.	164
Figura 5.35: Comparação dos valores de pH e IGL das aluviões da área em estudo, época pós-chuva – PC.	165
Figura 5.36: Percentagens obtidas a partir da separação granulométrica em três fracções (< 2µm, <63µm->2µm e > 63µm) das amostras com maior Índice de Contaminação. .	167
Figura 5.37: Distribuição da concentração dos metais pesados nas 3 fracções granulométricas (> 63 µm, 63-2 µm, < 2 µm) das aluviões na área A0.	169
Figura 5.38: Distribuição da concentração dos metais pesados nas 3 fracções granulométricas (> 63 µm, 63-2 µm, < 2 µm) das aluviões na área A1.	170
Figura 5.39: Distribuição da concentração dos metais pesados nas 3 fracções granulométricas (> 63 µm, 63-2 µm, < 2 µm) das aluviões na área A2. As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva.	171
Figura 5.40: Distribuição da concentração dos metais pesados nas 3 fracções granulométricas (> 63 µm, 63-2 µm, < 2 µm) das aluviões na área A3.	172

Figura 5.41: Fracções extraídas para as aluviões da área A0, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco.	175
Figura 5.42: Fracções extraídas para as aluviões da área A1, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o arsénio, cádmio, cobalto e crómio.	177
Figura 5.43: Fracções extraídas para as aluviões da área A1, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o cobre, ferro e manganês.	178
Figura 5.44: Fracções extraídas para as aluviões da área A1, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o cobre, ferro e manganês.	179
Figura 5.45: Fracções extraídas para as aluviões da área A2, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre e ferro.	180
Figura 5.46: Fracções extraídas para as aluviões da área A2, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o manganês, níquel, chumbo e zinco.	181
Figura 5.47: Fracções extraídas para as aluviões da área A3, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre e ferro.	182
Figura 5.48: Fracções extraídas para as aluviões da área A3, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o manganês, níquel, chumbo e zinco.	183
Figura 5.49: Comparação dos teores obtidos na primeira fase de extracção sequencial com o limite legislado – VC (Valor Crítico) (CONAMA, 2012), para a área A0.	185
Figura 5.50 Comparação dos teores obtidos na primeira fase de extracção sequencial com o limite legislado – VC (Valor Crítico) (CONAMA, 2012), para a área A1.	186
Figura 5.51: Comparação dos teores obtidos na primeira fase de extracção sequencial com o limite legislado – VC (Valor Crítico) (CONAMA, 2012), para a área A2.	187
Figura 5.52: Comparação dos teores obtidos na primeira fase de extracção sequencial com o limite legislado – VC (Valor Crítico) (CONAMA, 2012), para a área A3.	188
Figura 5.53: Variação da concentração de cádmio nas águas de lixiviação das aluviões ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação.	190
Figura 5.54: Variação da concentração de zinco nas águas de lixiviação das aluviões ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação.	191
Figura 5.55: Comparação dos valores da lixiviação das aluviões por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extracção sequencial (Acetato de Amónio) para o cádmio, cobalto, crómio e cobre.	193
Figura 5.56: Comparação dos valores da lixiviação das aluviões por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extracção sequencial (Acetato de Amónio) para o ferro o manganês e o níquel.	194

Figura 5.57: Comparação dos valores da lixiviação das aluviões por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extracção sequencial (Acetato de Amónio) para o chumbo e o zinco.....	195
Figura 5.58: Percentagem de carbono (C) total obtida nas aluviões por análise elementar.....	197
Figura 5.59: Percentagem de azoto (N) total obtida nas aluviões por análise elementar.....	198
Figura 5.60: Percentagem de enxofre (S) total obtida nas aluviões por análise elementar.....	199
Figura 5.61: Teor em fósforo determinado nas aluviões da área em estudo.....	201
Figura 5.62: Teor em fósforo determinado nas águas intersticiais da área em estudo.....	202
Figura 5.63: Teor em sulfatos determinado nas aluviões da área em estudo.....	204
Figura 5.64: Crostas de Sulfatos observadas na área A2.....	205
Figura 5.65: Teor em sulfatos determinado nas águas intersticiais da área em estudo.....	206
Figura 5.66: Teor em sulfatos determinado nos estratos resultantes do ensaio de lixiviação..	207
Figura 5.67: Curvas cumulativas médias da fracção arenosa e condições de transporte das várias dimensões constituintes das aluviões consideradas para a área A0.....	209
Figura 5.68: Curvas cumulativas médias da fracção arenosa e condições de transporte das várias dimensões constituintes das aluviões consideradas para a área A1.....	212
Figura 5.69: Curvas cumulativas médias da fracção arenosa e condições de transporte das várias dimensões constituintes das aluviões consideradas para as áreas A2 e A3.....	215
Figura 5.70: Distribuição modal da dimensão dos grãos relativamente à percentagem obtida para as áreas A1, A2 e A3.....	217
Figura 5.71: Correlação linear entre o desvio padrão e o diâmetro médio (Gráfico A) e entre a assimetria e o diâmetro médio das partículas arenosas (Gráfico B), das aluviões estudadas recolhidas nas áreas A0, A1, A2 e A3.....	219
Figura 5.72: Classificação segundo o diagrama <i>Shepard</i> para as aluviões da área em estudo.	220
Figura 5.73: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nas aluviões das áreas A0, A2 e A3.....	222
Figura 5.74: Relação entre a porosidade e a % de argila nas aluviões para a área A1.....	223
Figura 5.75: Distribuição espacial da porosidade média em percentagem (à esquerda – a)) e percentagem média de argila (à direita – b)) para a zona aluvionar.....	225
Figura 5.76: Relação entre a permeabilidade e a porosidade aluviões nas áreas A0, A2 e A3.	227
Figura 5.77: Relação entre a permeabilidade e a porosidade aluviões na área A1.....	228
Figura 5.78: Distribuição espacial da permeabilidade média (à esquerda – a)) e porosidade média (à direita – b)) para a zona aluvionar.....	229
Figura 5.79: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA1-14 (80-100 cm).....	233
Figura 5.80: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA1-26 (0-20 cm).....	234

Figura 5.81: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA1-29 (0-5 cm).....	235
Figura 5.82: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA2-10 (0-20 cm).....	236
Figura 5.83: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA2-10 (20-40 cm).....	237
Figura 5.84: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA2-12 (80-100 cm).....	239
Figura 5.85: Difractograma correspondentes à análise por difracção de Raios-X na fracção < 63 µm para algumas das amostras consideradas das áreas A0 e A1.	242
Figura 5.86: Difractograma correspondentes à análise por difracção de Raios-X na fracção < 63 µm para algumas das amostras consideradas das áreas A2 e A3.	243
Figura 5.87: Difractogramas correspondentes à análise por difracção de Raios-X na fracção < 2µm para algumas das amostras consideradas das áreas A0 e A1.	248
Figura 5.88: Difractogramas correspondentes à análise por difracção de Raios-X na fracção < 2µm para algumas das amostras consideradas da área A1.	249
Figura 5.89: Difractogramas correspondentes à análise por difracção de Raios-X na fracção < 2µm para algumas das amostras consideradas das áreas A2 e A3.	250
Figura 6.1: Localização perfis de Resistividade Eléctrica e de colheita de amostras consideradas para a sua análise.....	253
Figura 6.2: Modelo de Tomografia Eléctrica obtido para o perfil 1.	255
Figura 6.3: Esquema de cálculo dos valores médios de condutividade em profundidade a partir do Modelo de Tomografia Eléctrico obtido.	258
Figura 6.4: Comparação entre a variação vertical da concentração dos metais mais abundantes no solo e dos valores médios de condutividade/ resistividade geofísicos (obtidos em campo) relativamente aos perfis 1 e 2.....	265
Figura 6.5: Comparação entre a variação vertical da concentração dos metais mais abundantes no solo e dos valores médios de condutividade/ resistividade (obtidos em campo) relativamente aos perfis 3 e 4.....	266
Figura 6.6: Comparação entre a variação vertical da concentração dos metais mais abundantes no solo e dos valores médios de condutividade/ resistividade (obtidos em campo) relativamente ao perfil 5.....	267
Figura 6.7: Amostras utilizadas no ensaio exploratório com dopagem em arsénio (As). a) amostra CA1-33 (Branco, dopagem 75 mg.kg ⁻¹ , dopagem 100 mg.kg ⁻¹) b) amostra CA2-10 (Branco, dopagem 75 mg.kg ⁻¹ , dopagem 100 mg.kg ⁻¹).....	268
Figura 6.8: Montagem e método de execução do ensaio exploratório com dopagem em arsénio (As).	269

Figura 6.9: Representação gráfica dos resultados obtidos no ensaio exploratório com dopagem em arsénio (As), para as duas datas de ensaio.....	271
Figura 6.10: Resultados do ensaio de extracção sequencial realizado nas amostras CA1-33 e CA2-10.....	273
Figura 7.1: Estrutura proposta, em “núcleo-camadas”, para as nZVI.....	277
Figura 7.2: Mecanismos de remediação por nZVI.....	278
Figura 7.3: Métodos de injeção de nZVI: (a) Layout para uma injeção ideal de nanopartículas e utilização da tecnologia de injeção de nanopartículas como tratamento de organismos contaminantes imóveis (b) e móveis (c).	281
Figura 7.4: Imagem de nanopartículas de <i>NANOFER 25S</i>	284
Figura 7.5: Localização geográfica das amostras utilizadas no ensaio experimental com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI).	287
Figura 7.6: Saturação das amostras antes da injeção com as nZVI.....	291
Figura 7.7: Extracção da água intersticial antes da injeção com a solução de nanopartículas de ferro zero valente.	292
Figura 7.8: Montagem das amostras utilizadas no ensaio em coluna.	293
Figura 7.9: Preparação das soluções de ZVI e injeção nas colunas de amostras.	294
Figura 7.10: Evolução temporal dos valores de pH nas amostras consideradas (CA1-33; CA2-10 e CA3-18), em função da concentração de solução de nZVI injectadas.	298
Figura 7.11: Evolução temporal dos valores de Eh nas amostras consideradas (CA1-33; CA2-10 e CA3-18), em função da concentração de solução de nZVI injectadas.	300
Figura 7.12: Evolução temporal dos valores de condutividade nas amostras consideradas (CA1-33; CA2-10 e CA3-18), em função da concentração de solução de nZVI injectada.	302
Figura 7.13: Aglomerações de nZVI formadas nas colunas durante o ensaio laboratorial.....	303
Figura 7.14: Representação gráfica da variação do teor em As (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.	306
Figura 7.15: Variação do teor em As (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.....	307
Figura 7.16: Representação gráfica da variação do teor em Cd (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.	310
Figura 7.17: Variação do teor em Cd (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.....	311

Figura 7.18: Representação gráfica da variação do teor em Cu (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.	314
Figura 7.19: Variação do teor em Cu (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.....	315
Figura 7.20: Representação gráfica da variação do teor em Ni (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.	317
Figura 7.21: Variação do teor em Ni (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.....	318
Figura 7.22: Representação gráfica da variação do teor em Pb (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.	321
Figura 7.23: Variação do teor em Pb (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.....	322
Figura 7.24: Representação gráfica da variação do teor em Zn (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.	325
Figura 7.25: Variação do teor em Zn (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.....	326
Figura 8.1: Sistemas de cobertura para a remediação de materiais contaminados.	335
Figura 8.2: Aplicação da solidificação/estabilização na remediação de solos contaminados..	336
Figura 8.3: Processo de vitrificação in situ.	337
Figura 8.4: Processo de lavagem do solo.....	338
Figura 8.5: Processo de electrocinese.	340
Figura 8.6: Processo de desadsorção térmica.....	341
Figura 8.7: Processo de flushing do solo in situ.	343
Figura 8.8: Esquematização dos processos de Fitorremediação.	345
Figura 8.9: Barreiras impermeáveis. a) barreira impermeável em forma de circunferência; b) barreira impermeável construída a jusante da contaminação; c) barreira impermeável construída a montante da contaminação.....	347
Figura 8.10: Processo de bombagem e tratamento (“ <i>pump-and-treat</i> ”).	349
Figura 8.11: Processo de “ <i>air sparging</i> ”.....	350
Figura 8.12: Modelo conceptual de uma Barreira Reactiva Permeável.....	351
Figura 8.13: Configurações em barreira contínua.....	353
Figura 8.14: Configurações em barreira de funil e comporta.	354
Figura 8.15: Agentes reactivos utilizados em barreiras reactivas permeáveis (BRP).....	358

Figura 8.16: Fontes de contaminação e zonas contaminadas na área em estudo.	362
Figura 8.17: Excerto da proposta para a correcção da drenagem na área em estudo proposta pela Golder Associates	363
Figura 8.18: Proposta para a implementação de barreiras vegetais na área em estudo, como metodologia complementar à(s) técnica(s) de remediação.	364
Figura 8.19: Identificação dos locais onde é necessária a realização da remediação previamente à remediação da zona aluvionar do córrego Consciência, na Barragem Velha e na Área A3.	364
Figura 8.20: Exemplo esquemático de aplicação de capping e fotografias ilustrativas do seu processo de implementação.	366
Figura 8.21: Esquema representativo da hipótese proposta de remoção da camada superficial do solo superficial contaminado, colocação de camada drenante e solo vegetal. ...	367
Figura 8.22: Exemplos do processo de implementação de <i>flushing</i> em sed. contaminados. ...	368
Figura 8.23: Exemplos do processo de implementação e infraestruturas necessárias de <i>pump-and-treat</i> em áreas contaminados.	369
Figura 8.24: Representação esquemática da implementação do <i>flushing</i> do solo e <i>pump-and-treat</i> para a remediação da zona aluvionar para o tratamento das águas subterrâneas.	370
Figura 8.25: Representação esquemática da zona piloto para a implementação do <i>flushing</i> do solo e da barreira reactiva permeável (ensaio piloto).	372
Figura 8.26: Representação esquemática da implementação de degraus no canal do córrego Grota Seca.	375
Figura 8.27: Hipóteses e exemplos de aplicação de estruturas em forma ou equivalentes a degraus para redução do fluxo no córrego Grota Seca.	376
Figura 8.28: Representação esquemática de algumas das técnicas recomendadas de estabilização das vertentes na área em estudo, com recurso a Engenharia Natural.	380
Figura 8.29: Esquema representativo da proposta de utilização do <i>capping</i> no leito do córrego Consciência.	382
Figura 8.30: Representação esquemática de algumas das técnicas recomendadas de estabilização do leito de linhas de água, com recurso a Engenharia Natural.	385

Índice de Tabelas

	Página
Tabela 1.1: Classificação de metais em diferentes grupos (Grossi, 1993; <i>in</i> Venezuela, 2001).. 5	
Tabela 3.1: Classificação do tipo geométrico de grãos proposta por Folk e Ward, (1957). 57	
Tabela 3.2: Classificação do tipo de assimetria proposta por Folk e Ward, (1957)..... 58	
Tabela 3.3: Classificação do tipo de curtose proposta por Folk e Ward, (1957). 59	
Tabela 3.4: Factores intensidade usados no cálculo semi-quantitativo dos minerais argilosos nas aluviões, para condições de radiação CuK α . (Valores extraídos de Fonseca <i>et al.</i> , 2007)..... 69	
Tabela 4.1: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH, Eh e Condutividade Eléctrica medidos nas amostras recolhidas na coluna de água do córrego Consciência, nas campanhas de Novembro de 2013 e Março de 2014. 73	
Tabela 4.2: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH medidos nas amostras de águas intersticiais das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013. 74	
Tabela 4.3: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH e condutividade eléctrica medidos nas amostras de águas intersticiais das aluviões recolhidas nas campanhas de Março de 2014. 74	
Tabela 4.4: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH e Eh medidos nas aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013. 75	
Tabela 4.5: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH e Eh medidos nas aluviões recolhidas nas campanhas de Março e Setembro de 2014..... 76	
Tabela 4.6: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fracção dissolvida das águas recolhidas em Setembro e Novembro de 2013. 77	
Tabela 4.7: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fracção dissolvida das águas recolhidas em Março de 2014. 78	
Tabela 4.8: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A0 e A1..... 79	
Tabela 4.9: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A2 e A3..... 79	
Tabela 4.10: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões recolhidas na campanha de Março de 2014, nas áreas A1, A2 e A3. 80	

Tabela 4.11: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A0 e A1.....	82
Tabela 4.12: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A2 e A3.....	83
Tabela 4.13: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões recolhidas nas campanhas de Março e Setembro de 2014 para as áreas A1, A2 e A3.	84
Tabela 4.14: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A0 e A1.....	86
Tabela 4.15: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A2 e A3.....	86
Tabela 4.16: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63µm das aluviões correspondentes à campanha de Março de 2014 para a área A2.	87
Tabela 4.17: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção >63 – 2 µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A0 e A1.....	87
Tabela 4.18: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63 – 2µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A2 e A3.....	88
Tabela 4.19: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63 - 2µm das aluviões correspondentes à campanha de Março de 2014 para a área A2.	88

Tabela 4.20: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção < 2µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A0 e A1.....	89
Tabela 4.21: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção < 2µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A2 e A3.....	89
Tabela 4.22: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção < 2µm das aluviões correspondentes à campanha de Março de 2014 para a área A2.....	90
Tabela 4.23: Teores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem extraída para cada elemento metálico (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas diferentes fases da extracção sequencial.....	91
Tabela 4.24: Teores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem extraída por acetato de amónio para cada elemento metálico (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn)....	92
Tabela 4.25: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metaloides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A0 e A1.....	94
Tabela 4.26: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A2 e A3.....	94
Tabela 4.27: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A0 e A1.....	95
Tabela 4.28: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A2 e A3.....	95
Tabela 4.29: Valores máximos, mínimos, médios e medianos obtidos por análise elementar para as aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.....	96
Tabela 4.30: Valores máximos, mínimos, médios e medianos obtidos por análise elementar para as aluviões recolhidas nas campanhas de Março e Setembro de 2014.....	97

Tabela 4.31: Valores máximos, mínimos, médios e medianos de fósforo total para as aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março e Setembro de 2014.	98
Tabela 4.32: Valores máximos, mínimos, médios e medianos de fósforo total para as águas intersticiais correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março e Setembro de 2014.	99
Tabela 4.33: Valores de fósforo total determinados nas águas superficiais (coluna de água) recolhidas na campanha de Novembro de 2013.	100
Tabela 4.34: Valores de fósforo total determinados nas águas superficiais (coluna de água) recolhidas na campanha de Março de 2014.	101
Tabela 4.35: Valores máximos, mínimos, médios e medianos dos sulfatos nas aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março e Setembro de 2014.	102
Tabela 4.36: Valores máximos, mínimos, médios e medianos em sulfatos determinados nas águas intersticiais correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março e Setembro de 2014.	103
Tabela 4.37: Valores de sulfatos para as águas superficiais (coluna de água) amostradas na campanha de Novembro de 2013.	104
Tabela 4.38: Valores de sulfatos para as águas superficiais (coluna de água) amostradas na campanha de Março de 2014.	105
Tabela 4.39: Valores máximos, mínimos, médios e medianos em sulfatos determinados nas soluções lixiviadas durante 1 hora e 24 horas de agitação.	106
Tabela 4.40: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem determinada nas fracções > 2,0 mm, >1,40 mm, >1,00mm, > 710 µm, >500 µm, > 355 µm, > 250 µm, > 180 µm, > 125 µm, > 90 µm.	108
Tabela 4.41: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem de areia, silte e argila da fracção < 63 µm das aluviões da área em estudo.	109
Tabela 4.42: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem determinada nas fracções > 63 µm, < 63 µm - > 2 µm e < 2 µm de acordo com a área, para as amostras aluvionares com maior índice de contaminação.	110
Tabela 4.43: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da densidade aparente, densidade das partículas e porosidade das aluviões.	111
Tabela 4.44: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da condutividade hidráulica saturada das aluviões.	112
Tabela 4.45: Tipologia das aluviões estudadas para a petrografia e mineralogia da fracção arenosa e respectivos teores em S, Fe e Zn.	112

Tabela 4.46: Teores máximos, mínimos, médios em zinco (Zn), ferro (Fe) e enxofre (S) determinados para as aluviões consideradas na análise petrográfica e mineralógica da fracção arenosa, por área.....	113
Tabela 4.47: Mineralogia típica das aluviões estudadas, ocorrência e abundância.....	114
Tabela 4.48: Identificação dos minerais potencialmente contaminantes.	114
Tabela 4.49: Resultados qualitativos obtidos a partir da análise das amostras consideradas por difracção de Raios-X da fracção mais global (inferior a 62 μm).....	116
Tabela 4.50: Resultados qualitativos obtidos a partir da análise das amostras consideradas por difracção de Raios-X da fracção mais global (inferior a 2 μm).....	117
Tabela 5.1: Categorias de classificação do Factor de Enriquecimento.	155
Tabela 5.2: Categorias de classificação do Índice de Geoacumulação.	158
Tabela 5.3: Categorias de classificação Factor de Contaminação.....	161
Tabela 5.4: Factor de Contaminação para as aluviões.	161
Tabela 5.5: Valores médios dos parâmetros de Folk e Ward (1957) calculados para a fracção arenosa das aluviões da área A0.	210
Tabela 5.6: Valores médios dos parâmetros de Folk e Ward (1957) calculados para a fracção arenosa das aluviões da área A1.	213
Tabela 5.7: Valores médios dos parâmetros de Folk e Ward (1957) calculados para a fracção arenosa das aluviões da área A2 e A3.....	216
Tabela 5.8: Resultados quantitativos e qualitativos (calculados e analisados de acordo com as áreas dos picos) obtidos a partir da análise das amostras consideradas por difracção de Raios-X da fracção mais global (inferior a 63 μm).	244
Tabela 5.9: Resultados quantitativos e qualitativos (calculados e analisados de acordo com as áreas dos picos) obtidos a partir da análise das amostras consideradas por difracção de Raios-X da fracção mais global (inferior a 2 μm).	251
Tabela 6.1: Valores de resistividade eléctrica de alguns materiais geológicos.....	256
Tabela 6.2: Valores de resistividade e condutividade eléctrica médios obtidos e utilizados para a construção dos gráficos de comparação entre os dados geoquímicos e geofísicos.	258
Tabela 6.3: Teores em metais determinados nas amostras mais próximas dos perfis 1 e 2 considerados e utilizados para a construção dos gráficos de comparação entre os dados geoquímicos e geofísicos.....	259
Tabela 6.4: Teores em metais determinados nas amostras mais próximas dos perfis 3 e 4 considerados e utilizados para a construção dos gráficos de comparação entre os dados geoquímicos e geofísicos.....	261

Tabela 6.5: Teores em metais determinados nas amostras mais próximas do perfil 5 considerados e utilizados para a construção dos gráficos de comparação entre os dados geoquímicos e geofísicos.....	262
Tabela 6.6: Teor de humidade das amostras utilizadas e quantidade de padrão de arsénio (As) e água ultrapura adicionado.....	268
Tabela 6.7: Resistividade aparente média obtida nos dois períodos do ensaio exploratório com dopagem em arsénio (As).	270
Tabela 7.1: Especificações da solução de nZVI utilizada no ensaio experimental (<i>NANOFER 25S</i>).....	285
Tabela 7.2: Características gerais das amostras utilizadas no ensaio experimental com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI).....	286
Tabela 7.3: Teores obtidos para as formas extraíveis dos elementos metálicos presentes nas amostras, através de digestão por Aqua Regia e extracção por acetato de amónio, utilizadas no ensaio laboratorial com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI).....	288
Tabela 7.4: Valores obtidos por análise elementar (C, H, N e S), teores analisados em sulfatos e fósforo e parâmetros físico-químico (pH e Eh) para as amostras utilizadas no ensaio laboratorial com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI).	289
Tabela 7.5: Caracterização física das amostras utilizadas no ensaio laboratorial com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI), relativamente à sua granulometria, textura, densidade (aparente e partículas), porosidade, condutividade hidráulica (permeabilidade) e teor de humidade.....	290
Tabela 7.6: Valores de pH medidos nas amostras após amostragem e antes da injeção com nZVI após saturação durante sete dias.	296
Tabela 8.1: Processos de remoção de contaminantes através de Fitorremediação.....	344
Tabela 8.2: Materiais reactivos utilizados para o tratamento de compostos orgânicos.....	355
Tabela 8.3: Materiais reactivos utilizados para o tratamento de compostos inorgânicos.	356

Caracterização dos Riscos Ambientais de Materiais Contaminados na Planície Aluvionar de uma unidade Metalúrgica no Estado de Minas Gerais (Brasil)

RESUMO

A ocorrência antrópica de metais em meio natural relaciona-se maioritariamente com a existência e funcionamento de actividades industriais. A unidade metalúrgica de Três Marias da Votorantim Metais S.A., localizada no estado Brasileiro de Minas Gerais, produz ligas de zinco desde o final dos anos 60. Ao longo dos seus anos de funcionamento tem provocado diversos impactos ambientais na sua envolvente, nomeadamente nos solos, sedimentos e na qualidade da água. A caracterização geoquímica da zona revelou uma elevada contaminação em metaloides e metais pesados (cádmio, crómio, cobre, manganês, níquel, chumbo e zinco) e arsénio, muito acima dos níveis críticos e com elevada biodisponibilidade.

Este estudo tem como objectivo avaliar e discutir a extensão da contaminação na zona aluvionar do córrego Consciência, afluente do rio São Francisco, através da análise geoquímica da planície aluvionar e da coluna de água, de forma a avaliar qual a técnica (s) de remediação ambiental mais adequada para implementação na zona.

Palavras-chave: Caracterização geoquímica, biodisponibilidade, impactos, metais, remediação ambiental.

Characterization of the Environmental Risks of Contaminated Materials in the Flood Plain of a Metallurgical Unit in the State of Minas Gerais (Brazil)

ABSTRACT

Anthropogenic occurrence of metals in a natural environment is mainly related to the existence and functioning of industrial activities. The Três Marias metallurgical unit of Votorantim Metais S.A., located in the Brazilian state of Minas Gerais, has been producing zinc alloys since the late 1960's. Throughout all the years of operation it implemented several negative environmental impacts in its surroundings, namely in the soils, sediments and water column. The geochemical characterization of the zone revealed a high contamination in heavy metals (cadmium, chromium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) and arsenic, above the critical levels with a high bioavailability.

This study aims to evaluate and discuss the extent of contamination in the alluvial zone of Consciência river, a tributary of the São Francisco river, through the geochemical analysis of the alluviums and water column, in order to evaluate the most appropriate environmental remediation technique(s) to implement in the area.

Keywords: *Bioavailability, environmental remediation, geochemical characterization, impacts, metals.*

1 Introdução



1. Introdução

1.1. Contextualização

A presente tese enquadra-se no curso de doutoramento em “*Ciências da Terra e do Espaço*” na especialidade de “*Processos Geológicos*” lecionado na Universidade de Évora. O tema escolhido encontra-se inserido no projecto de consultadoria celebrado entre a Universidade de Évora e a empresa Brasileira, Votorantim Metais Zinco SA, designado “*Proposta técnica sobre a estratégia de remediação dos Córregos Consciência e Barreiro Grande – 2ª Fase*”, tendo como principal objectivo a caracterização geoquímica da zona contaminada, assim como a possível proposta de remedição/recuperação ambiental da mesma.

A área em estudo encontra-se contaminada em metais pesados, destacando-se o zinco (Zn), o níquel (Ni), o cádmio (Cd), o cobalto (Co), o crómio (Cr), o cobre (Cu), o chumbo (Pb) e o arsénio (As) (neste caso um metaloide), estando esta contaminação associada, principalmente, funcionamento da unidade industrial. Aos elevados teores destes elementos potencialmente tóxicos, associam-se elevadas concentrações de ferro (Fe) e manganês (Mn), característica típica de solos e ambientes sedimentares tropicais.

A contaminação de solos, linhas de água e zonas aluvionares é muito frequente, não só em metais pesados mas, também em fósforo e outros poluentes através da adição de fertilizantes e pesticidas, adubos de origem animal, actividades industriais, rejeitos de minas, resíduos de combustão de carvão, derrames petroquímicos e da deposição atmosférica, etc (Raymond, *et al.*, 2011). A contaminação por metais pesados está principalmente associada à deposição de compostos tóxicos, ricos nestes elementos, nos solos associados a actividades antrópicas (Chao Su *et al.*, 2014).

A investigação e identificação de técnicas alternativas para a remediação e/ou recuperação de solos e águas contaminados, financeiramente acessíveis e com tempos de execução reduzidos, torna-se necessária, actual e de elevada importância. A utilização de ferro zerovalente, por exemplo, corresponde a uma tecnologia de remediação ambiental, com cerca de 9 a 10 anos de existência que, segundo estudos realizados, promove soluções adequadas na limpeza de solos e águas em áreas contaminadas em metais pesados (U.S.EPA, 2008).

A aplicação de ferro zerovalente constitui portanto, uma possível solução, que em conjunto com distintas técnicas de remediação (posteriormente descritas e abordadas) e metodologias de Engenharia Natural e Convencional, poderá assegurar uma boa hipótese de remediação da área de estudo.

Assim, e tendo em conta as fragilidades de uma área contaminada por metais pesados, o principal objectivo deste trabalho insere-se na recuperação ambiental da área industrial da Votorantim Metais Zinco SA, unidade de Três Marias (Estado de Minas Gerais), impedindo o alastramento dos actuais níveis em metais pesados presentes na bacia do córrego Consciência para o rio São Francisco, rio de grande extensão e que atravessa vários Estados Brasileiros.

Este objectivo só se conseguirá mediante a apresentação e aplicação de uma proposta de remediação da zona afectada com recurso a técnicas de remediação inovadoras em conjunto com técnicas de Engenharia Natural e, simultaneamente contribuir para uma remediação sustentável em termos ambientais e paisagísticos.

O presente trabalho de investigação encontra-se dividido em nove capítulos principais:

- Este primeiro capítulo corresponde à introdução onde se abordam os principais temas discutidos ao longo do trabalho, sua contextualização apresentando-se ainda a problemática da zona em estudo e o principal objectivo a atingir com o desenvolvimento. Neste capítulo surge ainda um ponto onde se aborda o estado-da-arte relativamente aos processos de poluição por elementos metálicos potencialmente tóxicos, incluindo fontes, comportamento geoquímico e efeitos nos sistemas da contaminação em solos e águas provenientes de actividades industriais.
- O segundo capítulo consiste no enquadramento da área em estudo, industrial, do método de lavra mineral, das suas principais características geográficas, geológicas, hidrogeológicas e climáticas;
- O terceiro capítulo identifica as metodologias de recolha de amostras aluvionares e água, o seu tratamento *in situ* e análise laboratorial realizada;
- O quarto capítulo apresenta a compilação de todos os dados obtidos para as águas e para as aluviões analisadas;
- O quinto capítulo refere-se à discussão dos resultados, onde se separam os resultados obtidos para as águas e águas intersticiais e para as aluviões;
- O sexto capítulo apresenta os principais resultados obtidos nos ensaios geofísicos realizados, assim como um ensaio exploratório, realizado em laboratório, que permitiu inferir alguns possíveis aspectos relativos à utilização de métodos eléctricos no zonamento de áreas contaminada com metais pesados;
- O sétimo capítulo corresponde à análise da utilização do ferro zerovalente e da nanotecnologia como técnica de remediação, assim como os resultados obtidos num ensaio piloto (realizado em laboratório), com a utilização de nanopartículas de ferro zerovalente injectadas em amostras aluvionares da área em estudo;

- No oitavo apresenta-se a proposta de remediação mais adequada para a remediação da área em estudo de acordo com a caracterização geoquímica elaborada, propondo, dessa forma, a tecnologia ou conjunto de técnicas de remediação mais apropriadas;
- O nono capítulo corresponde às conclusões deste trabalho.

1.2. Estado-da-Arte

1.2.1. Elementos Metálicos como Fonte de Poluição

A contaminação por elementos metálicos decorrentes de actividades antrópicas não é um evento recente, ocorrendo já há alguns séculos (Markham, 1995; Nriagu, 1996; Hong, *et al.*, 1996; Shotyk, 1998), e com exemplos desde o império romano em que a extracção e utilização de metais constituiu uma das componentes que sustentaram a sua evolução (Hursthouse, 2001). Mais recentemente, com a revolução industrial na Europa, a introdução de novas tecnologias, como a máquina a vapor e a utilização de combustíveis fósseis, tornaram possível o aumento da capacidade de instrumentalização e de tratamento de recursos naturais (Wedepohl, 1991; Macklin, 1992; Markham, 1995). Paralelamente, a reduzida eficiência dos processos tecnológicos adoptados durante aquele período resultou na emissão de diferentes resíduos para a atmosfera, ambientes aquáticos e terrestres (Hursthouse, 2001). A utilização crescente de elementos metálicos, a sua exploração indiscriminada e especiação em grande escala levou à contaminação de solos e de um grande número de cursos de água, uma vez que os rejeitos oriundos destas actividades eram depositados sem qualquer tipo de tratamento ou preocupação ambiental (Wilmoth, *et al.*, 1991; Macklin, 1992; Newson, 1992). Assim, os metais pesados constituem por si só importantes fontes de contaminação, que não devem ser menosprezadas.

O termo metal pesado é de definição ambígua, sendo intensamente utilizado na literatura científica como referência a um grupo de elementos amplamente associados à poluição, contaminação e toxicidade (Carvalho, 2008).

Ambientalmente, metal pesado define-se como aquele que em determinadas concentrações e tempo de exposição oferece risco à saúde humana e ao meio ambiente, prejudicando a actividade dos organismos vivos (Carvalho, 2008). Dependendo do autor, este pode ser definido de forma distinta, Garcia, *et al.*, (1990; *in* Macêdo, 2002) relaciona o termo metal pesado com a densidade mínima de 4,5 g/cm³, Coker *et al.*, (1983; *in* Macêdo, 2002), considera uma densidade de 5 g/cm³ e Fergusson (1990; *in* Macêdo, 2002) admite uma densidade de 6,5 g/cm³. Metal pesado pode ainda ser definido como um grupo de elementos com peso específico superior a 5 g/cm³ ou que possuam um número atómico maior que 20 (Malavolta, (1994; *in* Macêdo, 2002)). São incluídos

no termo todos os metais, não metais, semi-metais ou metaloides, como por exemplo o selênio (Se), e, segundo Alloway (1993) o arsénio (As), sendo ainda utilizado, na bibliografia, o termo metal traço para a sua definição, estando este termo relacionado com a sua ocorrência no ambiente em concentrações muito baixas na ordem de partes por milhão (ppm) ou partes por bilião (ppb) (Manahan, 1993).

São geralmente considerados elementos tóxicos, sendo os que representam maior perigosidade, o chumbo (Pb), o cádmio (Cd) e o mercúrio (Hg). O mecanismo de toxicidade mais relevante catalisado por metais pesados é a inativação enzimática. Este processo deve-se à possibilidade de competição de metais pesados com elementos intervenientes no metabolismo enzimático, substituindo-os nesses processos (por exemplo, o zinco (Zn)). Alguns metais podem ainda danificar células agindo como anti-metabólicos ou através da formação de precipitados com agentes metabólicos essenciais (Forstner, 1989). Existem, no entanto, vários metais pesados essenciais, em pequenas concentrações, para o funcionamento dos organismos, como por exemplo o cobalto (Co), o crómio (Cr), o cobre (Cu), o selênio (Se) e o zinco (Zn), (Costa, 1998., Harada, *et al.*, 1999., Iregren, 1999., Kelley, 1999).

São classificados como metais micronutrientes alguns dos anteriormente referidos, como o zinco (Zn), o cobre (Co) e o ferro (Fe). Acima de determinadas concentrações estes elementos tornam-se tóxicos, o que pode contribuir para o aparecimento de inúmeras doenças, agravadas pelo efeito acumulativo, considerando as diferentes vias de contacto a que o homem está sujeito. Na água para consumo humano, por exemplo, os metais pesados em excesso têm graves consequências, tais como perturbações respiratórias, corrosão dos tecidos, origem de diversos tipos de cancro, entre outros. Assim, devido à sua perigosidade e risco ambiental os metais pesados e metaloides mais relevantes são: a prata (Ag), arsénio (As), cádmio (Cd), cobalto (Co), crómio (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), chumbo (Pb), selênio (Se), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn) (Carvalho, 2008).

Os metais pesados e metaloides podem-se classificar, relativamente à sua toxicidade, segundo três grupos distintos (Grossi, 1993; *in* Venezuela, 2001): um primeiro grupo onde se incluem os elementos de menor toxicidade, essencialmente micronutrientes, mas potencialmente tóxicos em elevadas concentrações; o segundo constituído pelos metais e metaloides com probabilidade de originar doenças oncológicas; e o terceiro composto pelos metais com carácter tóxico significativo que não são enquadrados nos anteriores grupos (Tabela 1.1).

Tabela 1.1: Classificação de metais em diferentes grupos (Grossi, 1993; *in* Venezuela, 2001).

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Alumínio (Al)	Arsénio (As)	Chumbo (Pb)
Cobalto (Co)	Berilo (Be)	Cádmio (Cd)
Cobre (Cu)	Crómio (Cr)	Mercúrio (Hg)
Manganês (Mn)	Níquel (Ni)	-
Selénio (Se)	-	-
Vanádio (V)	-	-
Zinco (Zn)	-	-
Estanho (Sn)	-	-

Os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos pelo facto de não serem degradáveis, podendo acumular-se no ambiente onde manifestam a sua toxicidade (Baird, 2002). Em geral, os metais são susceptíveis a um enriquecimento por bioacumulação na cadeia alimentar, desde os níveis tróficos de base até ao topo da cadeia alimentar, sendo que quanto maior o nível trófico mais elevada é a concentração do metal (Azevedo, *et al.*, 2003). A toxicidade dos metais está directamente relacionada com a forma química em que estes ocorrem. Se ocorrem sob formas insolúveis, poderão estar presentes num organismo sem que lhe causem dano algum, por outro lado se apresentarem formas solúveis estas podem atravessar membranas biológicas protectoras de órgãos, causando danos graves no organismo portador.

Este tipo de contaminação pode ter origem em processos naturais que promovem a libertação destes elementos contaminantes para os solos e águas, tais como a meteorização química de rochas ricas em metais pesados. São, no entanto, as actividades humanas que provocam o excesso destes elementos no meio, associando-se principalmente à presença de unidades industriais (química e mineira) e à gestão de efluentes domésticos (esgotos e águas residuais) (Evanko, *et al.*, 1997; Kabata-Pendias, 2001; Li, *et al.*, 2009).

Os metais pesados possuem elevada reactividade bioquímica, podendo desenvolver processos significativos de toxicidade, bioacumulação e persistência no meio, sendo considerados como os contaminantes de maior perigosidade ambiental. Estes factores são susceptíveis de originar problemas a nível da cadeia alimentar, podendo afectar o próprio Homem (Sainz, *et al.*, 2004). A mobilidade, distribuição, dispersão, deposição e concentração dos metais (comportamento geoquímico) no meio ambiente está dependente da sua forma química e do seu tipo de ligação aos compostos orgânicos ou inorgânicos, estando directamente relacionado com as características do meio (Sahuquillo, *et al.*, 2003). Assim, em meios não poluídos, os metais pesados encontram-se ligados a silicatos e minerais de primeira fase (primários), originando

espécies minerais tipicamente imóveis. Já em meios contaminados, estes encontram-se associados a fases minerais mais móveis (Rauret, 1998). A mobilidade de um elemento químico consiste num dos factores de maior relevância para a avaliação do seu impacto a nível ambiental, possibilitando a determinação da sua toxicidade e biodisponibilidade no meio (Pinho, 2013).

As características dos solos como a acidez (pH), o potencial de oxidação-redução (redox-Eh), a composição iónica do meio, a capacidade de troca catiónica, a presença de carbonatos, o teor em matéria orgânica, a actividade microbiológica, a sua carência em oxigénio (CBO), a textura (granulometria) e a interação entre partículas e fluidos constituintes como as águas intersticiais, são factores influenciadores do comportamento dos metais. Adicionam-se a estes, a natureza da contaminação quanto à sua origem e método de deposição no meio (nomeadamente a forma em que esta ocorre, solúvel ou particulada, e se o foco de contaminação foi local e momentâneo ou continuado) (Sahuquillo, *et al.*, 2003).

De uma forma geral os metais podem ser classificados segundo quatro grupos tendo em conta a sua mobilidade (Pinho, 2013):

- Grupo 1 – metais fortemente retidos por argilas e húmus;
- Grupo 2 – iões de troca, por vezes móveis, sendo excepção elementos com forte adsorção química como, por exemplo, o chumbo (Pb) e o cobre (Cu);
- Grupo 3 – elementos imóveis, na forma de óxidos insolúveis;
- Grupo 4 – elementos móveis, sendo excepção elementos com forte adsorção química como, por exemplo, os fosfatos.

O conhecimento da mobilidade dos metais pesados no meio é indispensável para uma avaliação rigorosa dos riscos associados à presença de teores elevados destes elementos nos solos, consistindo numa importante ferramenta de controlo e monitorização de poluição ambiental.

Embora a análise total de um elemento químico permita a identificação da contaminação, é através da análise das suas formas químicas de ocorrência no meio que é possível estimar a sua mobilidade, biodisponibilidade e ecotoxicidade no ambiente (Lu *et al.*, 2003; Davidson *et al.*, 2004; Cappuyns *et al.*, 2007). Desta forma, a identificação da perigosidade ambiental de um determinado elemento químico é mais precisa através da análise parcial e fracionada, ligadas a fases móveis, em comparação com a sua análise total.

O método de digestão por *Aqua Regia* de amostras sólidas constitui uma aproximação simples à determinação de fases móveis. Este método consiste na digestão de amostras em solução ácida de ácido clorídrico (HCl) e ácido nítrico (HNO₃), optimamente na proporção de 3:1, produzindo uma fracção residual rica em minerais silicatados geologicamente considerados estáveis e, portanto, não considerados influenciadores na determinação da fracção móvel (Chen,

et al., 2001, *in* Pinho, 2013). Uma das desvantagens desta metodologia é a obtenção de dados pouco específicos, principalmente em casos de estudo de riscos e evolução de contaminação e, por conseguinte, estudos de recuperação de materiais contaminados.

Por outro lado, as extracções sequenciais fornecem dados mais específicos e detalhados (Rauret, 1998). Este tipo de determinação fracionada consiste na solubilização de elementos cada vez mais estáveis, através da variação das condições do meio, nomeadamente os parâmetros físico-químicos (pH e Eh).

São inúmeros os procedimentos de métodos de extracção sequencial encontrados na bibliografia (Salomons, *et al.*, 1980; Rauret, 1998; Sahuquillo, *et al.*, 2003; Fernández, *et al.*, 2004; Pueyo, *et al.*, 2004; Adamo, *et al.*, 2006; Li, *et al.*, 2009; Cheng-xiu, *et al.*, 2011), sendo maioritariamente aplicações directas ou adaptações de dois métodos conhecidos: o método BCR composto por três fases, recomendado pela Comunidade Europeia (*European Community Bureau of Reference*) (Martins, 2014) e o método de Tessier *et al.*, (1979) constituído por quatro fases. Os dois processos de extracção sequencial possibilitam o fracionamento selectivo de materiais geológicos (solo ou sedimento), correspondentes a distintas fases minerais.

A mobilidade relativa dos elementos nos solos é de grande importância assim como a sua disponibilidade e o seu potencial para serem lixiviados ao longo do perfil do solo para as águas subterrâneas. No entanto, estes processos são influenciados pela origem da contaminação de metais, ou seja se esta é de origem natural ou antrópica (Ma, *et al.*, 1998; Burt, *et al.*, 2003) e, caso seja de origem antrópica, o tipo de fonte que a originou (Burt, *et al.*, 2003, *in* Pinho, 2013).

1.2.2. Contaminação de Águas Subterrâneas

A contaminação por metais pesados e outros contaminantes afecta de igual forma as águas subterrâneas. No entanto, as rochas possuem diferentes características de porosidade e permeabilidade, implicando que o movimento da água e contaminantes dissolvidos variem de acordo com o tipo de rocha ou solo (Figura 1.1).

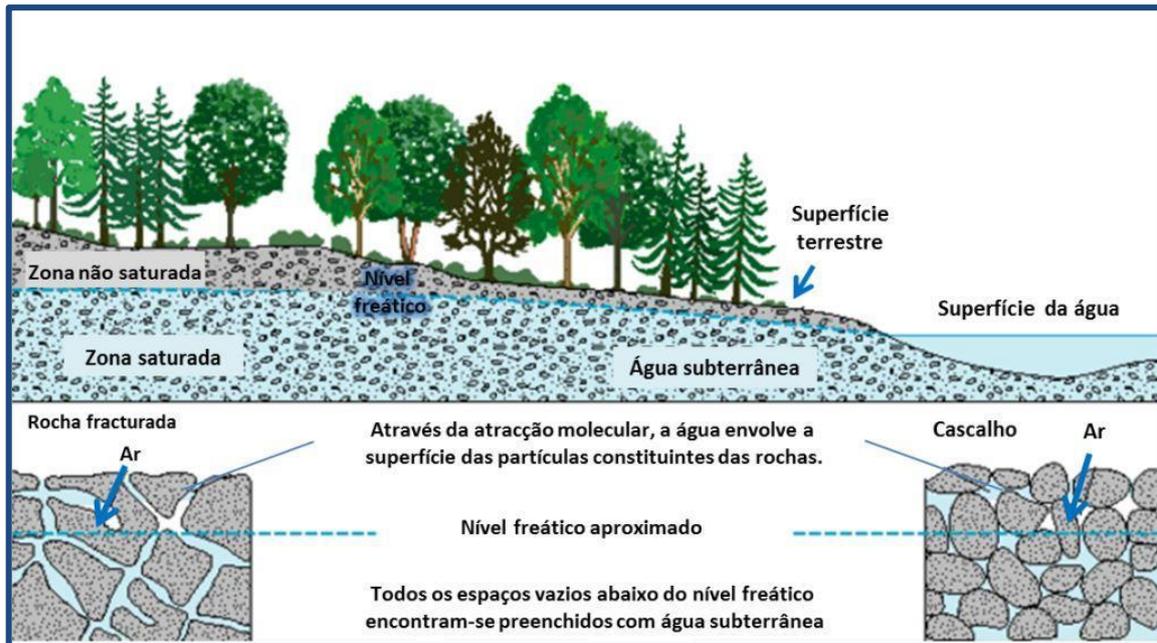


Figura 1.1: Distribuição vertical da água no solo. (Adaptado de USGS, 2016)

A água é um solvente por natureza, o que lhe confere a capacidade de dissolução de distintas substâncias químicas, nocivas ou não. Sendo a água subterrânea um fluido em movimento, através dos solos e rochas, dissolve todo o tipo de substâncias solúveis neles presentes. Esta é uma das razões que justifica que o quimismo das águas subterrâneas seja, geralmente, mais rico em substâncias e elementos solúveis do que as águas superficiais.

As partículas constituintes do solo são um excelente mecanismo de filtração da água subterrânea, mas ainda assim podem ocorrer elevadas concentrações de contaminantes dissolvidos. A circulação da água no solo promove a dissolução de metais, como o ferro (Fe) e o manganês (Mn), por exemplo, aquando a sua passagem, podendo originar águas com elevados teores nesses elementos. A contaminação destas águas pode ter ainda origem em actividades humanas, como a utilização de produtos químicos domésticos e agrícolas (incluindo muitos pesticidas e herbicidas a deposição e tratamento de resíduos, e os acidentes industriais, como são exemplo os derrames de tanques de combustível ou produtos tóxicos (Waller, R.M., 1982, *in* U.S. Geological Survey, 2016).

Os pesticidas e fertilizantes utilizados na agricultura podem acumular-se nos solos e migrar, através de infiltração, para a zona saturada, contaminando as águas subterrâneas. Fossas sépticas e/ou locais de eliminação de resíduos são também fontes de contaminação das águas subterrâneas, podendo introduzir bactérias nocivas que podem, à semelhança de todos os restantes contaminantes, acabar por ser captadas em furos de abastecimento de água para consumo humano (Waller, R.M., 1982, *in* U.S. Geological Survey, 2016) (Figura 1.2).

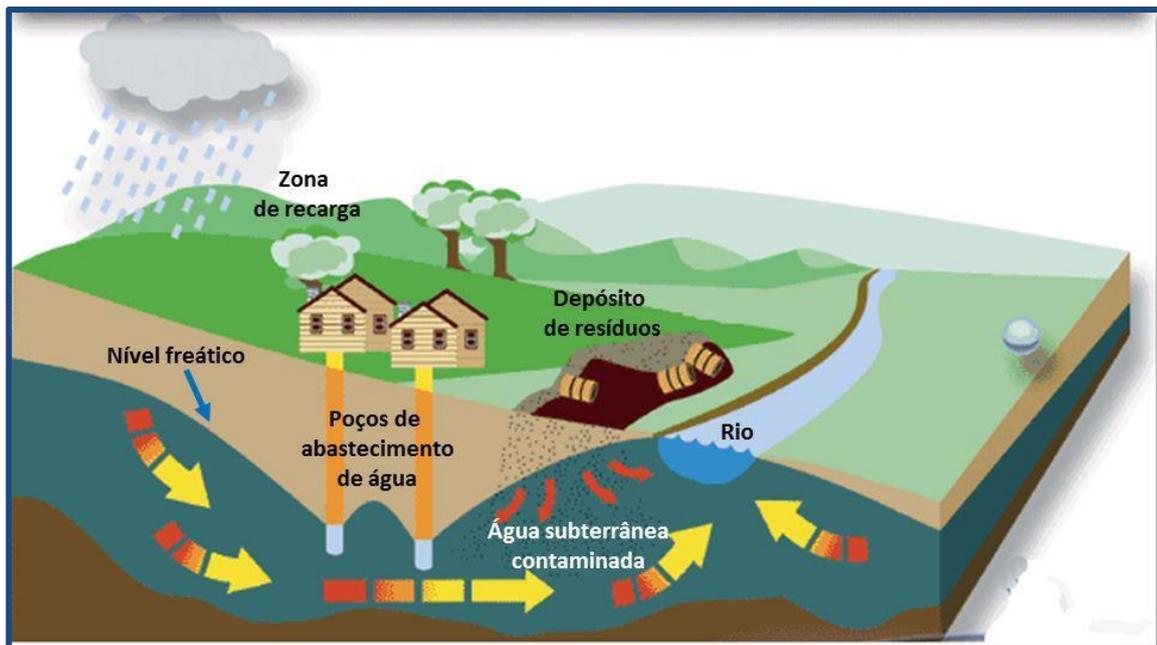


Figura 1.2: Exemplo de um processo de contaminação de água subterrânea (Adaptado de USGS, 2016).

As propriedades físicas de um aquífero, tais como a sua espessura, tipo de rocha e/ou solo e localização influenciam directamente a introdução, mais rápida ou mais lenta, de contaminantes na zona saturada. Assim, o risco de contaminação é mais elevado em aquíferos livres do que em aquíferos confinados, uma vez que os primeiros não são protegidos por camadas confinantes de permeabilidade muito reduzida.

Uma vez que o fluxo de água subterrânea é geralmente lento, a recuperação/descontaminação de um aquífero é um processo difícil e lento, podendo demorar décadas dependendo das características do aquífero e do tipo de contaminante presente (Waller, R.M., 1982, *in* U.S. Geological Survey, 2016). Assim, considerando o elevado tempo de residência dos contaminantes, nomeadamente metais pesados, em aquíferos, torna-se fundamental que a avaliação do nível de contaminação não seja apenas baseado em índices legais. Devem-se assim, incorporar análises e monitorização das concentrações de contaminantes através de estudos que permitam identificar o seu comportamento no meio aquoso fornecendo bases sólidas para a avaliação dos seus riscos associados.

A remediação de solos e águas subterrâneas consiste geralmente numa tarefa complexa que exige a colaboração de uma equipa multidisciplinar de profissionais qualificados e com experiência na elaboração de diagnósticos precisos e na definição da tecnologia mais adequada de forma a assegurar os padrões pré-estabelecidos em projecto. Assim, o conhecimento das tecnologias actuais de remediação, as suas limitações, a viabilidade económica de utilização e a sua aplicabilidade relativamente aos tipos de solos, às questões hidrogeológicas e natureza dos contaminantes são factores determinantes para o sucesso do programa de remediação. A solução implementada deve ser aplicada tendo em conta as condições intrínsecas e únicas do local contaminado (Carvalho, 2008).

1.3. Técnicas de Remediação aplicadas a Áreas Contaminadas por Metais Pesados

As técnicas de remediação actualmente aplicadas são geralmente agrupadas em técnicas de utilização mais usual e técnicas ainda em desenvolvimento. Definem-se como técnicas de utilização mais usual aquelas sobre as quais o conhecimento técnico é já suficiente, permitindo prever resultados sem ser necessária a realização de mais ensaios laboratoriais ou testes piloto, podendo ser aplicadas directamente no campo e em grande escala, como por exemplo o método de bombagem e tratamento de água subterrânea (“*pump-and-treat*”). Já as tecnologias em desenvolvimento funcionam como opções alternativas ou complementares de tratamento onde as técnicas mais usuais não obtêm resultado ou não podem ser executadas. O seu princípio baseia-se na diminuição do nível de toxicidade dos contaminantes existentes, avaliados através de processos químicos ou biológicos, recorrendo a reacções de decomposição e/ou neutralização como forma de tratamento. Uma das suas vantagens é a redução dos custos de aplicação e tratamento, embora em alguns casos, para os tempos de recuperação possam ser muito extensos.

Como exemplo deste tipo de tecnologia têm-se a utilização de materiais reactivos inovadores no enchimento de barreiras reactivas permeáveis (BRP's) ou a biorremediação (Carvalho, 2008). O sucesso de uma técnica ou do conjunto de técnicas utilizadas passa primeiramente pelo controlo da fonte de contaminação sendo que a sua aplicabilidade depende, não apenas da natureza dos contaminantes, mas também das características intrínsecas dos materiais geológicos (Reis, *et al.*, 2007).

Na figura 1.3 encontram-se esquematizadas as técnicas de remediação abordadas e posteriormente descritas no Capítulo 8 (Capítulo referente à proposta de remediação sugerida para a área em estudo).

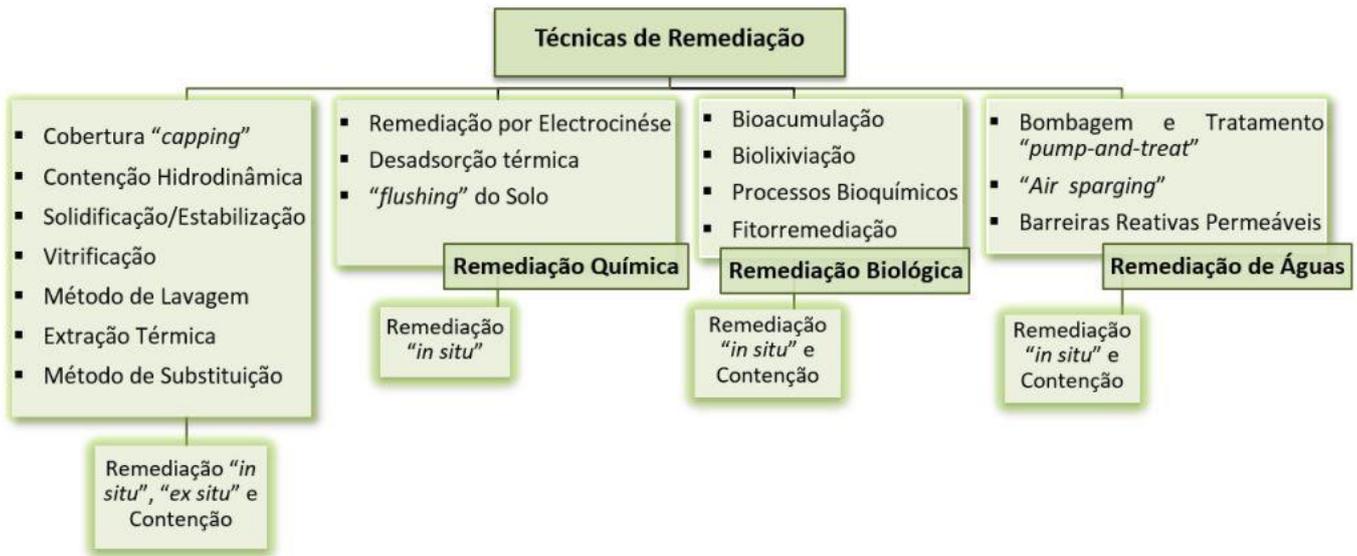


Figura 1.3: Esquematização das técnicas abordadas.

Para contaminações por metais pesados, como é o caso do problema abordado nesta tese, o conhecimento da complexidade envolvida nos processos de mobilização destes elementos é a base para o desenvolvimento de metodologias de remediação apropriadas. A mobilidade de metais é associada a diversos factores, os quais podem ser efectivos para determinados metais mas que, por outro lado, podem levar à imobilização de outros existentes simultaneamente no meio. Assim, devem ser tidas em conta as respostas dos metais pesados no meio aquando do planeamento de um projecto de remediação (Fonseca, *et al.*, 2015).

1.3.1. Casos de Estudo com Aplicação de Técnicas de Remediação em áreas Contaminadas com Metais Pesados

A aplicação de técnicas de remediação a áreas contaminadas consiste actualmente num processo amplamente utilizado, seja a aplicação de uma técnica isolada ou um conjunto de diferentes técnicas. Para melhor enquadrar a importância deste tipo de remediação ambiental foram seleccionados três casos de estudo práticos com aplicação de variadas técnicas de remediação ambiental, nos quais se pretendia tratar áreas contaminadas em metais pesados.

Sendo um dos objectivos da presente tese a sugestão de uma proposta de remediação da área em estudo, contaminada por metais pesados, a apresentação destes casos pretende ilustrar hipóteses de tratamento destes contaminantes, assim como demonstrar a sua aplicabilidade em campo.

- **Caso de Estudo 1**

Avaliação e Gestão de Riscos para a Recuperação de Sedimentos na Lagoa de Veneza

Foram identificados na Lagoa de Veneza contaminantes de origem industrial (metais pesados) e de efluentes domésticos, distribuídos em toda a área sedimentar dessa lagoa. Tendo em conta a directiva local para a gestão da qualidade da água proposta pela *Agência Europeia do Ambiente* (AEA), foi implementado um projecto de caracterização e remediação de sedimentos contaminados, que incluiu análises geoquímicas de caracterização de poluentes, assim como a sua classificação em classes de perigosidade admitidas pela AEA. Os resultados obtidos foram inseridos posteriormente num *Plano de Avaliação Ambiental* no qual se testaram sete diferentes técnicas de remediação através de ensaios piloto. As técnicas de remediação ambiental foram testadas individualmente ou combinadas entre si, sendo aplicadas as seguintes técnicas: estabilização química por solidificação, desadsorção térmica, métodos de lavagem com recurso a solventes, processos bioquímicos com recurso a microorganismos (bactérias), fitorremediação, métodos de electrocinese, técnicas de separação e vitrificação. (Danny R. *et al.*, 2006)

- **Caso de Estudo 2**

Aplicação de Técnicas de Electrocinese em Solos Contaminados em As (arsénio)

Uma instalação de tratamento de As por Electrocinese foi construída em Loppersum, uma pequena cidade no norte da Holanda. O solo do local, de natureza argilosa, estava contaminado por As, com concentrações entre os 400-500 mg/kg até uma profundidade máxima de 2 m. A fonte da poluição era o composto de fosfato de sódio hidratado ($\text{Na}_2\text{HSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) usado na preservação da madeira. Existiam duas áreas contaminadas, onde foi aplicado inicialmente um gradiente de potencial de 40 V/m, que em seguida diminuiu para 20 V/m, com uma intensidade de corrente de 4 A/m² numa área transversal total de 110 m², onde foram construídos 10 furos de monitorização. Após 65 dias de ensaio cerca de 75% da área já tinha uma concentração inferior à fixada como objectivo – 30 mg/kg. A reabilitação da restante área foi efectuada com uma cinética mais lenta. Decidiu-se então parar com a reabilitação e escavar o solo, verificando-se que existiam objectos metálicos que alteravam as trajectórias da corrente eléctrica, atrasando a reabilitação dos solos na sua vizinhança. Em resumo, foram tratado 250 m³ de solo, com a concentração média em arsénio de 115 mg/kg e uma concentração máxima de 500 mg/kg. A concentração média final foi de 10 mg/kg e a máxima de 29 mg/kg. O consumo de energia foi de 150 kWh/ton. A duração da operação foi de 80 dias de 18 horas, tendo a electrocinese removido 38 kg de As, os restantes 14 kg foram removidos por escavação. (Yang L., *et al.*, 2007)

- **Caso de Estudo 3**

Aplicação de uma Barreira Reactiva Permeável com enchimento de Ferro Granular na Remediação de Águas Subterrâneas Contaminadas em As (arsénio).

Foi instalada, em 2005, uma barreira reactiva permeável experimental em Montana (EUA) perto da cidade de Helena, com um comprimento de 9,1m, uma espessura de 7,6 m e uma largura variável entre 1,8 e 2,4 m. A barreira ficou localizada perto de uma antiga indústria de fusão de chumbo, destinada a tratar água subterrânea com concentrações moderadas em As. A barreira foi construída em 3 dias, utilizando equipamento de escavação adaptado de forma a permitir a construção de trincheiras profundas preenchidas com ferro à escala granular, sendo este o único material reactivo utilizado. Foram ainda construídos 40 piezómetros para amostragem da água subterrânea e monitorização. Sendo as concentrações iniciais de As a montante da barreira superiores a 25 g.l⁻¹, verificaram-se que nas 80 amostras recolhidas a jusante da barreira, após a sua implementação, 11 excediam 0,50 mg.l⁻¹, 62 tinham concentrações inferiores a 0,05 mg.l⁻¹, e 24 eram inferiores ao limite aceitável de 0,010 mg.l⁻¹. Após 2 anos de funcionamento da barreira as concentrações identificadas a jusante eram significativamente inferiores às identificadas inicialmente (Wilkin R., *et al.*, 2008 e 2009).

Os três casos de estudo apresentados ilustram a diversidade de ambientes e técnicas de remediação adequadas para solucionar casos de contaminação por metais pesados, embora não correspondam a casos tão complexos como a situação analisada nesta tese. Efectivamente, as condições e magnitude da contaminação encontrada nas imediações da unidade industrial “Três Marias” da Votorantim Metais S.A, onde são conhecidos episódios de descarga e deposição de rejeitos industriais, com décadas de ocorrência tornam a zona em estudo extremamente contaminada com existência de diversos metais contaminantes. Sendo que cada espécie de metal pesado apresenta formas específicas e diferenciadas de tratamento, a escolha da técnica ou conjunto de técnicas de remediação mais adequada da área torna-se complexa.

Assim, importa em primeiro lugar caracterizar física e geoquimicamente a área e a fonte de contaminação e conhecer a distribuição espacial dos contaminantes presentes.

2 Enquadramento



2. Enquadramento da Área em Estudo

A presente tese compreende a determinação e quantificação do grau de contaminação de águas e aluviões da bacia do córrego Consciência, uma pequena linha de água pertencente à bacia hidrográfica do rio São Francisco, localizado a jusante da unidade industrial “Três Marias” da Votorantim Metais S.A. a cerca de três quilómetros da cidade de Três Marias no estado brasileiro de Minas Gerais. Na área em estudo foram identificados inúmeros problemas de cariz ambiental relacionados com o elevado teor em metais pesados, cuja ocorrência é associada à presença e funcionamento da unidade industrial metalúrgica Votorantim Metais S.A. (Figura 2.1).



■ Planície Aluvionar — Linha de Água Principal — Linha de Água Secundária

Figura 2.1: Localização da área em estudo. (Google Earth, imagem de 20.08.2013)

2.1. Enquadramento Geográfico

A área em estudo, onde se encontra inserida a unidade industrial Votorantim Metais S.A., localiza-se no município de Três Marias, no Estado de Minas Gerais, Brasil, pertencendo à bacia hidrográfica do rio São Francisco, estando a unidade localizada junto à sua margem. A zona em estudo tem uma área aproximada de 3 km², encontra-se a 563 m de altitude e dista cerca de 3 km da cidade de Três Marias e aproximadamente 4 km da barragem com o mesmo nome. A unidade industrial é limitada a norte pelo córrego Consciência, a sul pelo córrego Barreiro Grande, a oeste pelo rio São Francisco e a Este pela cidade de Três Marias (Figura 2.2).

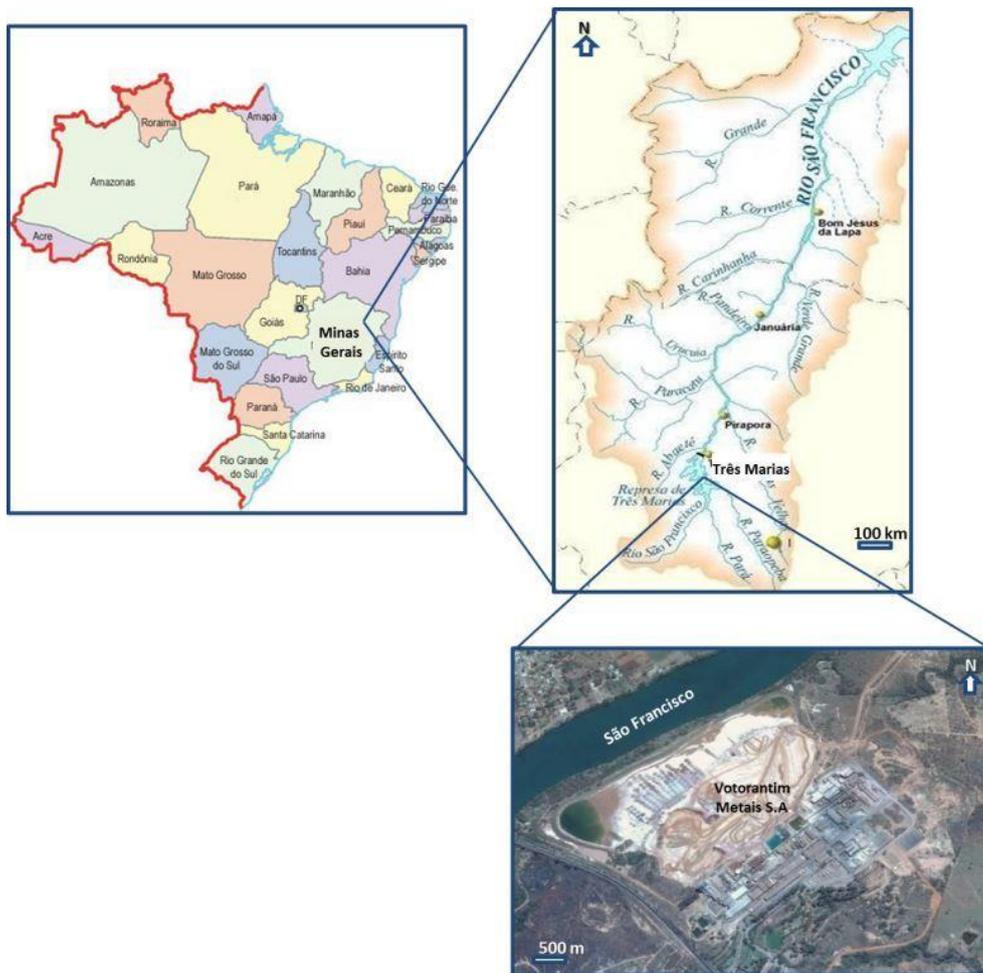


Figura 2.2: Localização geográfica da área em estudo.

(Google Earth, imagem de 20.08.2013)

2.2. Enquadramento Geológico

Do ponto de vista geotectónico, a área em estudo localiza-se na porção sul do Cratão de São Francisco, definido por Almeida (1997, 1981) in Trindade (2010), como uma das porções da Plataforma Sul-Americana individualizada na decorrência dos processos orogénicos do Evento Brasileiro (± 600 Ma). Os mesmos eventos originaram durante o Neoproterozóico, a leste a Faixa de Araçuaí e a oeste a Faixa de Dobramento Brasília (Trindade, 2010). Segundo Alkimim *et al.*, (2001) in Trindade (2010), a Faixa de Dobramento Brasília corresponde a um cinturão de dobramentos e cavalgamentos de antepaís atingindo uma largura máxima de cerca de 200 km na parte Sul da bacia. Por sua vez, nas proximidades da cidade de Três Marias as linhas estruturais condicionam a morfologia local exercendo uma grande influência no arranjo do sistema de drenagem (Trindade, 2010; Martins, L., 2014).

Assim, o Cratão de São Francisco encontra-se circundado por três faixas neoproterozóicas: a Faixa de Dobramento Brasília e a Faixa de Rio Preto, a oeste, e a Faixa de Araçuaí, a leste (Figura 2.3). Neste contexto, Alkimim *et al.* (1993, 1996) in Trindade (2010) propõe uma compartimentação baseada nos elementos neoproterozóicos da bacia, diferenciando assim três compartimentos: (1) Compartimento W, onde são incluídas as Faixas Brasília e Rio Preto; (2) Compartimento E, onde é incluída a Faixa de Araçuaí; (3) Compartimento Central, onde se inserem as unidades Pré-Câmbricas e com baixa deformação. Mediante a compartimentação admitida, a área em estudo localiza-se no Compartimento Central, onde o relevo se apresenta pouco movimentado possuindo declives médios inferiores a 8%.

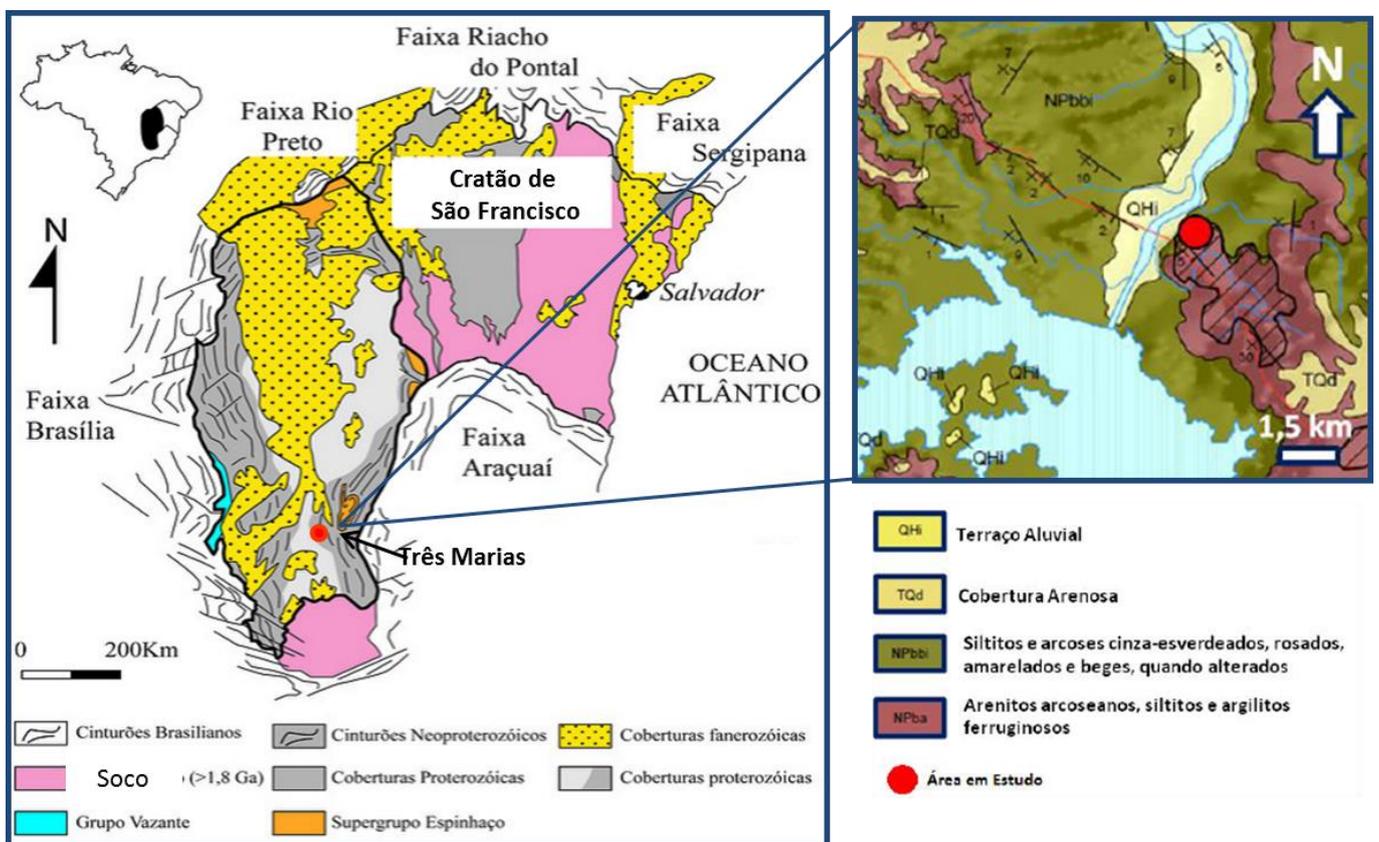


Figura 2.3: Enquadramento geotectónico da área em estudo no Cratão de São Francisco.

(Adaptado de Flickriver em: 11.04.2016; Dias, N. 2014)

O relevo da região é caracterizado por superfícies planas e áreas dissecadas, oriundas predominantemente da alternância de actuação de processos morfoclimáticos associados ao condicionamento geológico. Assim, a área de estudo está inserida na Depressão São Franciscana, que, segundo Euclides *et al.*, (2001) in Oliveira (2007), abrange toda área do rio São Francisco e o médio curso dos rios Pará e Paraopeba. As formas aplainadas e superfícies onduladas, decorrentes do processo de erosão areolar, intercalam-se às formas fluviais de dissecção (caracterizadas pela presença de cristas e colinas com vales encaixados e/ou de fundo chato e

vertentes ravinadas), variando em altitude entre 600 e 800 metros (Oliveira, 2007). Já a leste de Três Marias, o relevo é classificado como Planalto do São Francisco, formado por superfícies tabulares, com coberturas sedimentares predominantemente arenosas, recobertas por vegetação do tipo cerrado e entrecortadas por cabeceiras de drenagem pouco profundas, denominando-se por veredas. Nestas áreas, as altitudes variam entre os 600 e os 1000 metros (Oliveira, 2007; Dias, N., 2014).

Geologicamente a área em estudo encontra-se inserida na Formação de Três Marias, pertencente ao Grupo Bambuí (Figura 2.3). O Grupo Bambuí constitui a unidade característica da bacia, incorporando fracções de rochas carbonatadas alteradas, sendo dividido nas formações Carrancas, Sete Lagoas, Samburá, Serra de Santa Helena, Serra da Saudade, e Três Marias de acordo com Alkimim *et al.*, (2001) *in* Ribeiro (2010).

A Formação Três Marias está localizada no topo do Grupo Bambuí, e constitui uma espessa sequência sedimentar com relativa persistência lateral, representada por camadas de arenitos arcóicos de granulometria fina a muito fina, intercalados com siltitos arcóicos de cor cinza-esverdeados e violáceos, ricos em quartzo, feldspato e minerais pesados como óxidos de ferro, turmalina, zircão, epídoto e granada, com uma idade aproximada de 600-650 Ma (Figura 2.4). Os arenitos presentes nesta unidade estratigráfica apresentam um estado característico de esfoliação esferoidal aquando da sua alteração (Chiavegatto, 1992 *in* Trindade, 2010; Signorelli *et al.*, 2003; Ribeiro, 2010; Costa *et al.*, 2011). Os aspectos deposicionais da Formação Três Marias são marcados principalmente pelo carácter discordante erosivo, apresentando ainda ausência de deformações significativas, sendo este aspecto concordante com a relativa estabilidade tectónica do Compartimento Central do Cratão de São Francisco durante os processos de deposição.

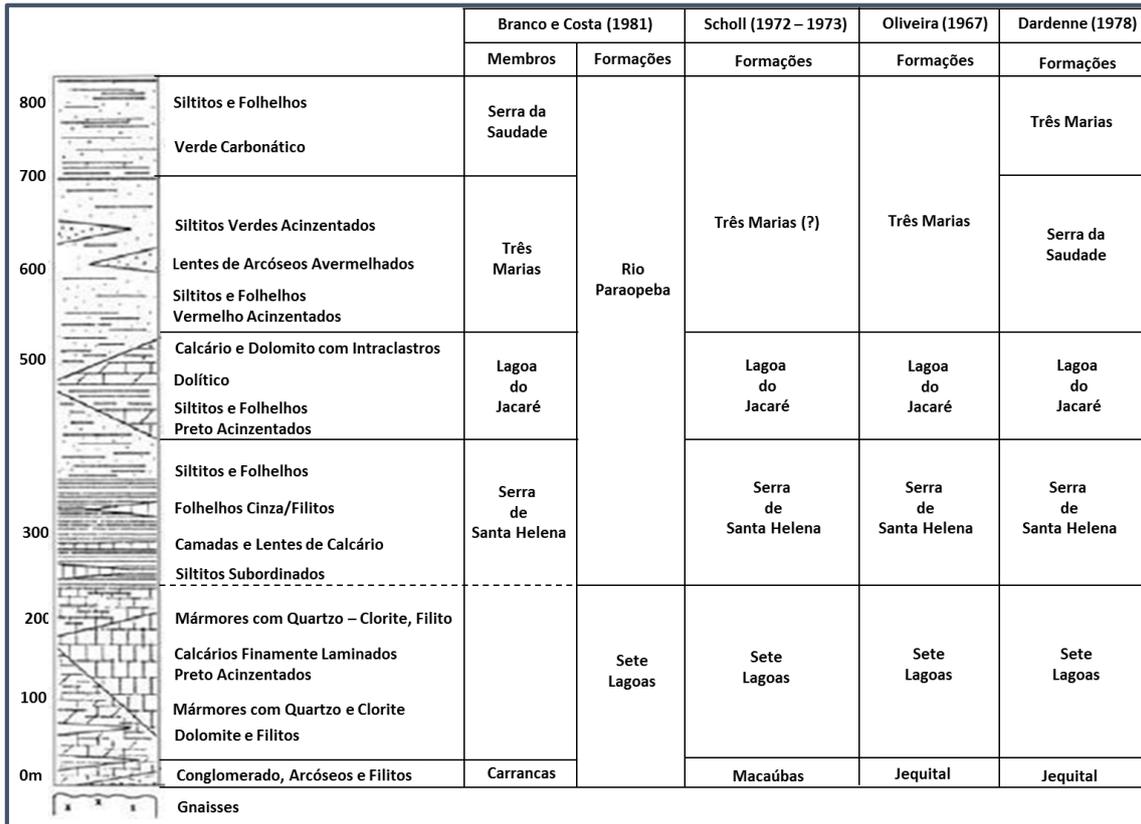


Figura 2.4: Coluna estratigráfica do Cratão de São Francisco e revisão estratigráfica segundo Chiavegatto, 1992. (Adaptado de Oliveira, 2007)

2.3. Enquadramento Hidrográfico e Hidrogeológico

O rio São Francisco nasce na Serra da Canastra, no Estado de Minas Gerais, a uma altitude de 1400 m, possuindo uma extensão de cerca de 2800 km, transportando cerca de 1011 m³/ano de água, com oscilações significativas de acordo com as estações climáticas e por fim desaguando no Oceano Atlântico. É um rio de planalto, transformando-se depois em rio de planície, sendo conhecido como *Rio da Unidade Nacional* por ser o maior curso de água inteiramente Brasileiro. Corresponde ainda a um dos rios mais importantes no Brasil, uma vez que além da sua grande extensão possui ainda grande importância económica, especialmente relacionada com a pesca, a irrigação e, em algumas zonas, a navegação (Marinho *et al.*, 2006; Oliveira 2007).

A sua bacia hidrográfica, onde se encontra inserida a área de estudo, corresponde a uma área aproximada de 645000 Km², representando cerca de 8% do território Brasileiro, abrangendo 503 municípios e 7 unidades da Federação: Bahia (307794 km², 48,2%), Minas Gerais (235635 km², 36,9%), Pernambuco (68966 km², 10,8%), Alagoas (14687 km², 2,3%), Sergipe (7024 km², 1,1%) e Goiás (3193 km², 0,5%) (Oliveira, 2007; Ribeiro, 2010; Dias, N., 2014).

Devido à sua grande extensão, a bacia do rio São Francisco é dividida, de acordo com as suas características fisiográficas, em quatro grandes áreas, baseadas no *Plano Director para o Desenvolvimento do Vale do rio São Francisco* (PLANVASF), ilustradas na figura 2.5 (Marinho *et al.*, 2006; Mozeto *et al.*, 2007):

- Alto São Francisco: da nascente até à cidade de Pirapora (Minas Gerais), compreendendo as sub-bacias do rio das Velhas, Paraopeba, Pará, Abaeté, Jequitaí, Indaiá e a barragem de Três Marias, região onde se insere a área em estudo;
- Médio São Francisco: de Pirapora até à cidade de Remanso (Bahia), compreendendo as sub-bacias dos rios Paracatu, Urucuia, Verde Grande, Carinhanha, Correntes, Grande e Paramirim, situados no Estado de Minas Gerais e Bahia;
- Sub-Médio São Francisco: de Remanso até à cidade de Paulo Afonso (Bahia);
- Baixo São Francisco: de Paulo Afonso (Bahia) até à sua foz (Sergipe).

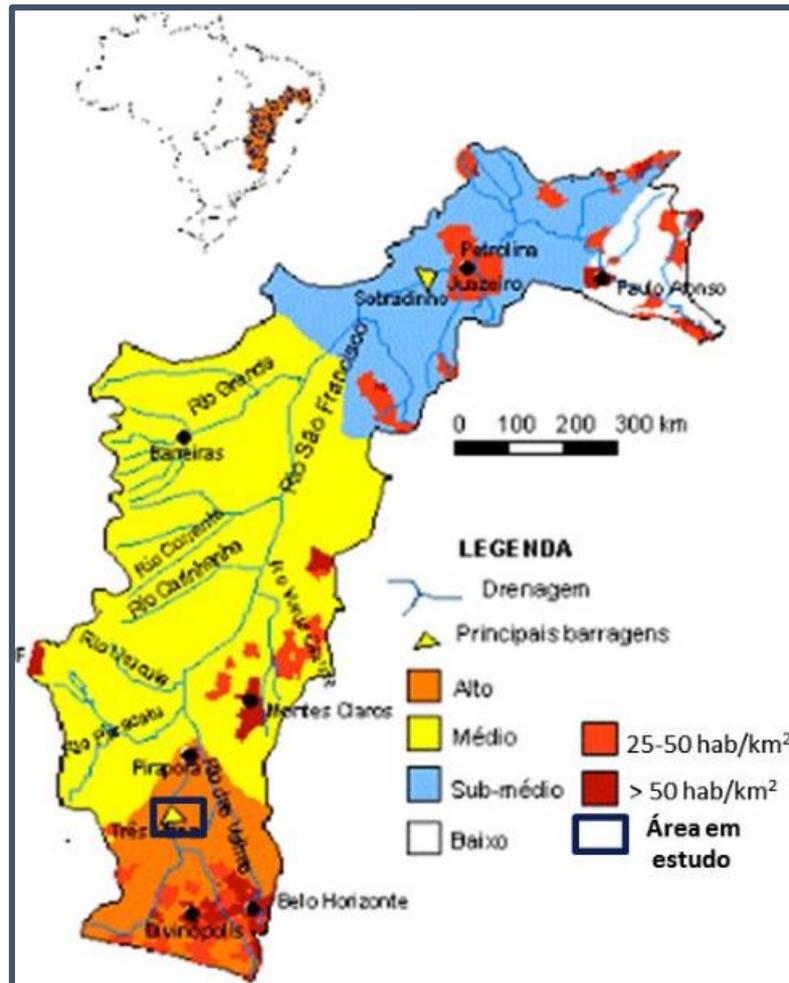


Figura 2.5: Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

(Adaptado de *baciafrancisco* em: 11.0.2016

<http://baciafrancisco.blogspot.pt/>)

A área em estudo está inserida no Alto São Francisco onde a estruturação da drenagem regional e a dinâmica hidrológica estão directamente relacionadas com as litoestruturas que caracterizam a região. As principais áreas de recarga localizam-se em aquíferos cretácicos e nos sopés das escarpas desenvolveram-se cabeceiras de drenagem em ambientes de veredas, a partir das quais se organiza uma densa rede de drenagem (Trindade, 2010).

A bacia Hidrográfica do rio São Francisco é caracterizada pela existência de uma grande heterogeneidade em termos hidrogeológicos, o que promove uma utilização e diferenciação elevada da água subterrânea. Os sistemas aquíferos carbonatados, com feições cársticas bem desenvolvidas, correspondem aos mais explorados (Pinto *et al.*, (2001), *in* Oliveira, 2007). No entanto, a utilização da água subterrânea é bastante difundida ao longo da área da bacia, exercendo

um papel importante principalmente na sua utilização no abastecimento urbano e de comunidades rurais, na pecuária e na irrigação (Oliveira, 2007).

Na área ocupada pela barragem de Três Marias e sua envolvente, onde se situa a área em estudo, o aquífero é constituído por rochas fissuradas, sendo a água armazenada nas suas fissuras, fracturas e falhas ou em outros planos de descontinuidade existentes (Oliveira, 2007). Assim, a infiltração ocorre nas zonas meteorizadas e a percolação ao longo dos sistemas de fracturas, constituindo estes os mecanismos de recarga do aquífero. Já a descarga ocorre nas nascentes dos rios que cruzam esses terrenos (Oliveira, 2007).

Os aquíferos fissurados são, geralmente, mais vulneráveis à contaminação, quando não existem coberturas sedimentares ou solos residuais de baixa permeabilidade a protegê-los por atenuação natural (diminuição ou remoção dos contaminantes durante a infiltração). Deste modo, quando e onde estas coberturas estão presentes, o risco de contaminação diminui (Oliveira 2007; Martins, L., 2014).

2.3.1. Águas Superficiais

Ao longo do seu curso, o rio São Francisco recebe a contribuição de um grande número de córregos e rios (Figura 2.6) (Trindade, 2010).

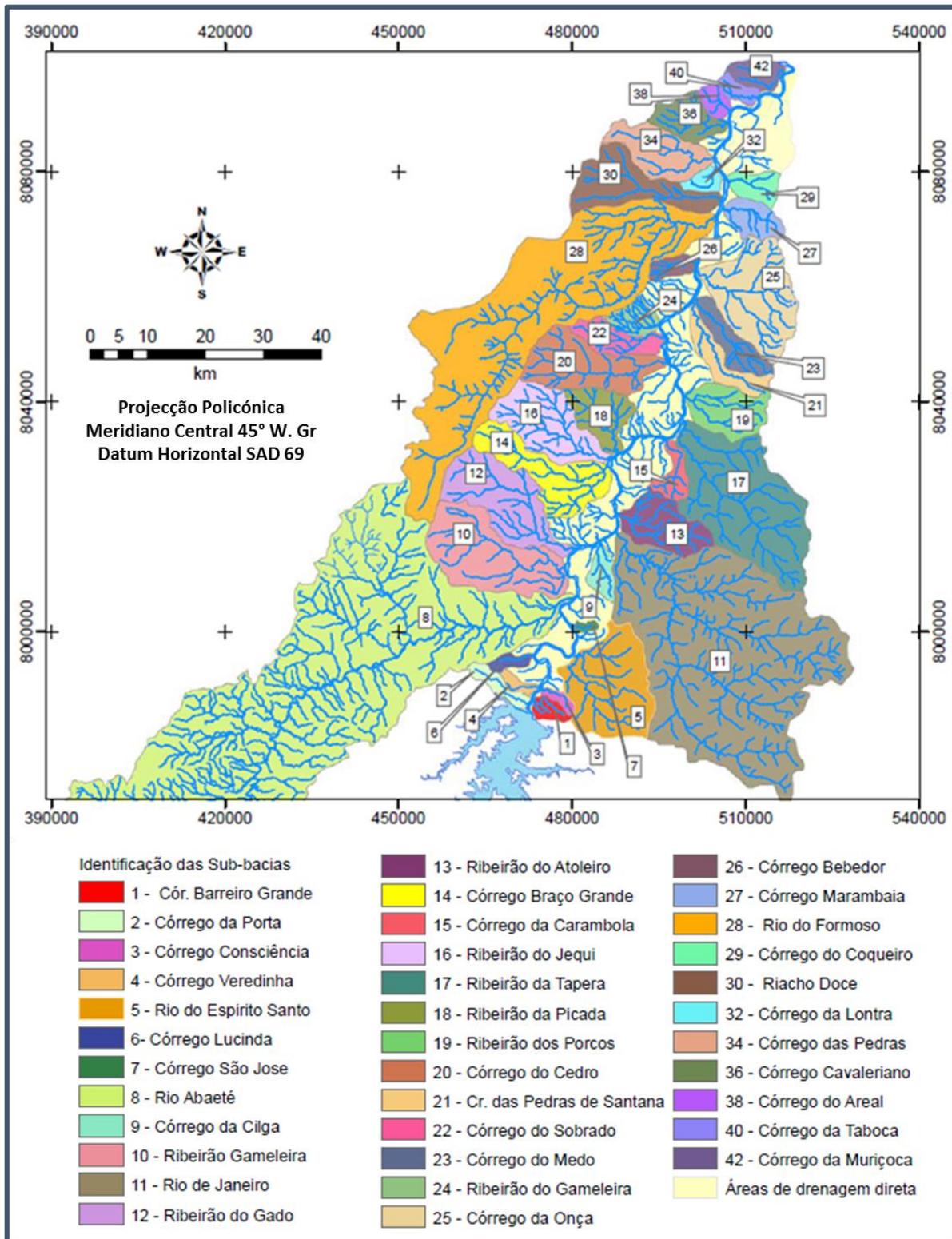


Figura 2.6: Sub-bacias contribuintes para a bacia hidrográfica do rio São Francisco na área em estudo.

(Adaptado de Trindade, 2010)

Os córregos Barreiro Grande e Consciência são também afluentes do rio São Francisco, o primeiro conflui com o rio São Francisco a montante da Barragem Velha da Votorantim Metais S.A. e o segundo a jusante da mesma. O córrego Barreiro Grande nasce nas imediações da cidade de Três Marias e desagua no rio São Francisco, possuindo uma área de drenagem total de 16,3 Km². O declive do córrego junto à Votorantim Metais S.A. é reduzido, caracterizando-se assim como um curso de água pouco profundo e de pequena largura, cerca de 1,5 m, possuindo um escoamento em leito encaixado. O córrego Consciência nasce também nas imediações da cidade de Três Marias e desagua no rio São Francisco a jusante da Votorantim metais S.A., possuindo 11,5 Km² de área de drenagem. Junto à unidade industrial o córrego possui declive reduzido, apresentando pouca profundidade e largura junto à foz, onde não atinge larguras superiores a 4m (Oliveira, 2007).

As águas superficiais podem ser classificadas, de acordo com os parâmetros legais, mediante a sua utilização, em (CONAMA, 2012):

- Classe especial, quando destinadas ao abastecimento para consumo humano (após desinfecção), preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e/ou à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de protecção integral;
- Classe 1, quando destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à protecção das comunidades aquáticas, à recreação de contacto primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam junto ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e/ou à protecção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas;
- Classe 2, quando destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento Convencional, à protecção das comunidades aquáticas, à recreação de contacto primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de desporto e lazer, com os quais o público possa vir a ter contacto directo e/ou à aquacultura ou à actividade de pesca;
- Classe 3, quando destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento Convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, e à recreação de contacto secundário;
- Classe 4, quando destinadas à navegação e/ou à harmonia paisagística.

Assim, e de acordo com Marinho *et al.* (2006), as águas superficiais do rio São Francisco são correspondentes à Classe 2. No entanto, apesar do seu elevado caudal, as águas do rio São Francisco encontram-se cada vez mais susceptíveis à contaminação, devido às diversas actividades que existem nas suas margens, como indústrias, pecuária, agricultura, habitação e

tráfico terrestre (Marinho *et al.*, 2006; Oliveira, 2007; Martins, L., 2014). O risco torna-se ainda mais acrescido para as populações ribeirinhas e para aqueles que utilizam a água do rio São Francisco para fins agrícolas e domésticos, assim como para actividades relacionadas com a pesca ou o turismo, que são fontes económicas muito importantes na região de Três Marias (Oliveira, 2007; Martins, L., 2014). Assim, a elevada utilização da água superficial torna muito importante a monitorização do rio São Francisco, assim como a gestão da sua bacia hidrográfica, de modo a não comprometer a sua qualidade ecológica.

2.4. Enquadramento Climático

Segundo a classificação climática definida por *Köppen*, podem ser descritos três tipos climáticos presentes no Cratão de São Francisco (Figura 2.7) (Patrus *et al.*, 2001, *in* Trindade 2010):

- *Cwb* – Clima temperado brando, com Verão ameno e chuvoso e Inverno brando. É definido pela temperatura do mês mais quente, sempre inferior a 22°C, e a do mês mais frio sempre, inferior 18°C, ou seja por um Inverno seco e Verão chuvoso;
- *Cwa* – Clima temperado brando com Verão quente e chuvoso e Inverno brando, apresentando temperaturas médias do mês mais quente sempre superiores a 22°C e a média do mês mais frio sempre inferior 18°C. A estação seca ocorre no Inverno e o mês mais seco tem precipitação inferior à décima parte do mês mais chuvoso;
- *Aw* – Clima tropical chuvoso, quente húmido, com Inverno seco e Verão chuvoso. É caracterizado pela temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18°C.

Na área em estudo verifica-se o clima do tipo *Aw*. Assim, o clima da região apresenta-se como tropical chuvoso com uma temperatura média anual de 24°C, existindo uma predominância de temperaturas elevadas na região durante quase todo o ano, principalmente nas estações da Primavera e Verão. O mês mais quente, Janeiro, apresenta temperaturas média máximas entre 28°C e 30°C. A amplitude térmica anual é da ordem de 12°C a 14°C (Oliveira, 2007). A área apresenta ainda totais pluviométricos anuais de 1022 mm, concentrados nos meses de Verão e em regime torrencial, o que corresponde a um regime pluviométrico típico de regiões de clima tropical (Oliveira *et al.*, 2006; Oliveira, 2007; Martins, L., 2014).

Um dos importantes factores que caracterizam o clima da região é a sazonalidade, marcada pela amplitude térmica e variação pluviométrica, principalmente entre o Inverno e o Verão (Ribeiro, 2010). A sazonalidade constitui um factor de interferência no estudo da presença e ocorrência de metais pesados em linhas de água. No período chuvoso, o escoamento superficial

transporta os materiais dispostos ao longo da bacia de drenagem, alterando as condições geoquímicas da água. Assim, o maior aporte de água contribui para o aumento da capacidade de diluição do rio, principalmente em relação às fontes pontuais de poluição, bem como a capacidade de dispersão e distribuição dos contaminantes ao longo do canal fluvial. A presença de uma quantidade maior de água no canal fluvial altera a velocidade do fluxo e as condições de transporte dos materiais presentes na água. A maior movimentação dos sedimentos pode ocasionar a sua ressuspensão, processo pelo qual pode ocorrer a libertação de metais na água (Ribeiro, 2010).

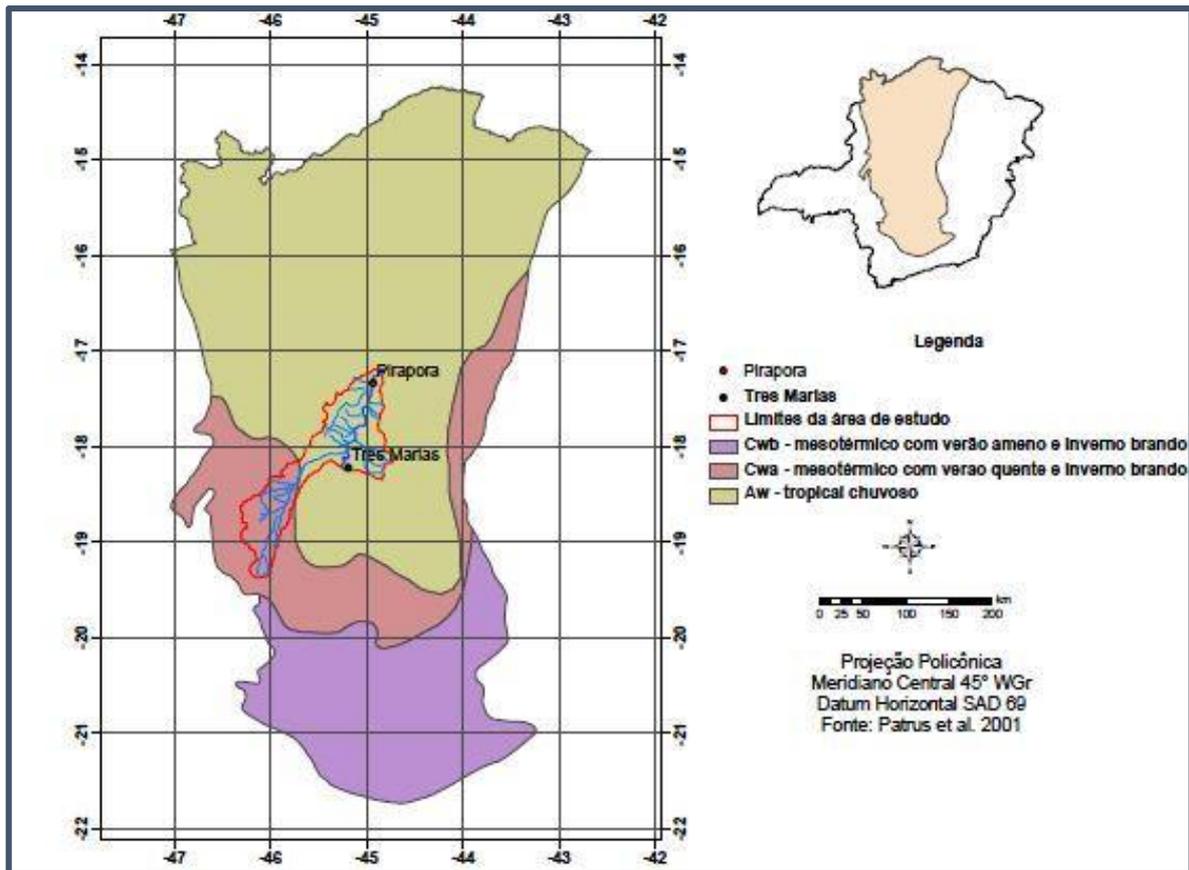


Figura 2.7: Classes climáticas presentes no Cratão São de Francisco. (Adaptado de Trindade, 2010)

2.5. Enquadramento Industrial e Método de Lavra Mineral

A Votorantim Metais S.A., fundada em 1956, corresponde à maior empresa de produção de zinco do Brasil, sendo líder mundial na produção de zinco a partir de minério silicatado processado na unidade de Três Marias (Tundisi, 2005; Oliveira, 2007; Votorantim Metais). Esta unidade, anteriormente denominada por Companhia Mineira de Metais (CMM), foi edificada em 1956, tendo como objectivo a beneficiação do minério de silicatado (zinco) extraído da mina da Vazante (Golder Associates, 2007a; Santos, 2010). Em 1959 teve início o processo de implementação da unidade industrial de Três Marias, junto à margem do rio São Francisco,

próximo da central hidroeléctrica com o mesmo nome. A escolha da localização teve como factores decisivos a proximidade a recursos básicos (água e electricidade) necessários para o seu funcionamento e para o processo electrolítico de obtenção de zinco metálico (*Golder Associates*, 2007a). Em 1969, a unidade iniciou o seu funcionamento e um ano depois, atingiu uma produção de 10 mil toneladas/ano de zinco metálico em lingotes (lâminas de metal fundido). Em Setembro de 1972 a produção aumentou para 25 mil toneladas/ano. Nove anos após o início do seu funcionamento (1978), a empresa passou a produzir zinco electrolítico tipo *High Grade*, com 99,9% de pureza, aumentando gradualmente a produção para 70 mil toneladas/ano até 1990. Durante a década de 90 a produção continuou o seu crescimento, mas foi a partir de 2002 com a implementação do processo de beneficiação metalúrgica do zinco em sistema misto, e com consequente aumento da capacidade para o processamento do minério silicatado proveniente da mina da Vazante e do minério sulfatado extraído na mina do Morro Agudo (Figura 2.8) que a produção atingiu os níveis mais elevados. A produção atingiu nesse ano as 180 mil toneladas/ano de zinco metálico, capacidade que se mantém actualmente (*Golder Associates*, 2007a; Santos, 2010; Votorantim Metais).

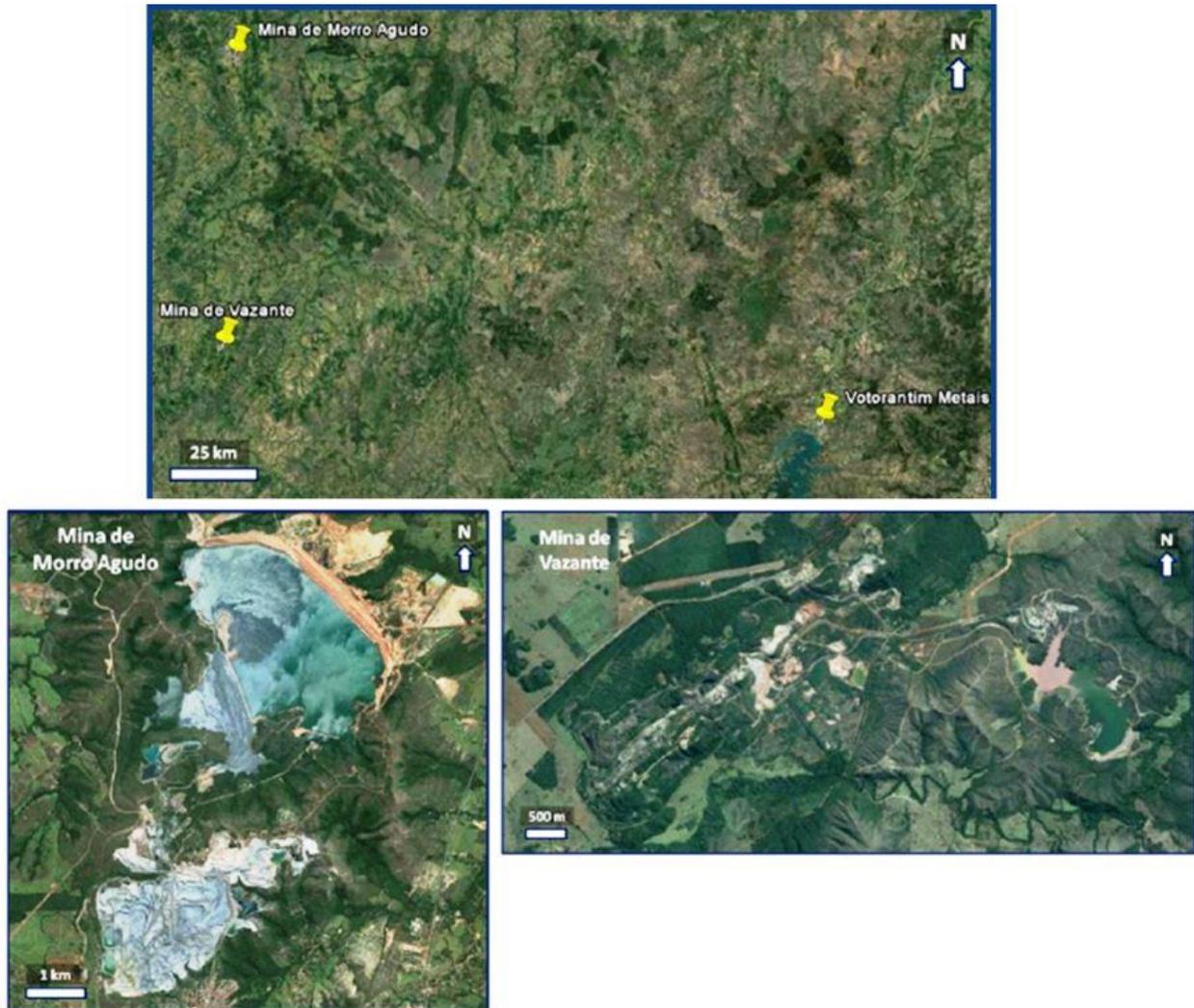


Figura 2.8: Localização das minas (Vazante e Morro Agudo) cujo minério extraído é beneficiado na unidade de Três Marias da Votorantim Metais. (Adaptado de Dias, N., 2014)

2.5.1. Processo de Produção e Purificação do Zinco

As reservas exploradas da mina da Vazante são ricas em minerais silicatados destacando-se a Willemite (Zn_2SiO_4) e a hemimorfite ($Zn_4Si_2O_7(OH)_2H_2O$), cujos teores em zinco (Zn) variam entre 16 e 39%. Já as reservas da mina do Morro Agudo possuem essencialmente sulfuretos de zinco, nomeadamente a esfalerite ($ZnFeS$), apresentado teor em zinco de aproximadamente 5%. Os minerais sulfuretos são ocorrências primárias de zinco explorados através de lavra subterrânea, sendo responsáveis por cerca de 90% da produção mundial de concentrados de zinco, sendo o seu processo de produção um processo electrolítico, que consiste na dissolução do óxido ustulado em ácido sulfúrico (H_2SO_4), seguindo-se um processo de electrólise (Cardozo, *et al.*, 2002; Andrade *et al.*, 1998 in Oliveira, 2007). Já os minerais silicatados, são minerais oxidados que correspondem a ocorrências secundárias de zinco,

geralmente associadas a depósitos superficiais representado cerca de 20% do total produzido (Cardozo, *et al.*, 2002; Oliveira, 2007). Este tipo de depósito está associado a uma maior viabilidade económica comparativamente aos depósitos de minerais sulfuretados, sendo a principal razão a maior acessibilidade ao recurso, o que diminui os custos de lavra, assim como a elevada concentração do metal neste tipo de depósito (Oliveira, 2007).

A produção e comercialização de zinco através de processos hidrometalúrgicos, e a utilização do método de electrólise foi proposta e patenteada por Léon Létrange em 1881, sendo este método abrangente a muitos elementos cujo uso comercial se perpetua até aos dias de hoje. Historicamente, foi a partir da primeira Guerra Mundial que se deu um grande incentivo para o desenvolvimento da beneficiação do zinco a partir do processo electrolítico, sendo a Anaconda S.A. em Montana (1915) a primeira indústria a iniciar com sucesso este tipo de produção de zinco, obtendo uma produção diária de 25 toneladas até que posteriormente foi edificada pela Anaconda S.A., uma fábrica com maior capacidade de produção. A partir dessa data, todas as indústrias hidrometalúrgicas de produção de zinco que se seguiram adoptaram os mesmos fundamentos propostos por Léon Létrange, diferenciando-se apenas na ordem de aplicação do processo (Cardozo, *et al.*, 2002).

Após a lavra, o minério de zinco é beneficiado com recurso a processos de britagem e moagem, seguindo-se processos de flotação de forma a promover a separação física do zinco dos restantes elementos metálicos economicamente rentáveis como o cobre (Cu), o chumbo (Pb) e a prata (Ag). Após esta primeira fase, o concentrado de zinco é sujeito a um processo metalúrgico de extracção, designado como hidrometalúrgico, para a produção de zinco primário. Este processo permite a obtenção de uma solução de sulfato de zinco, o mais pura possível, e a precipitação do zinco metálico presente nessa solução através da electrólise. O processo de produção e purificação de zinco encontra-se esquematizado na figura 2.9.

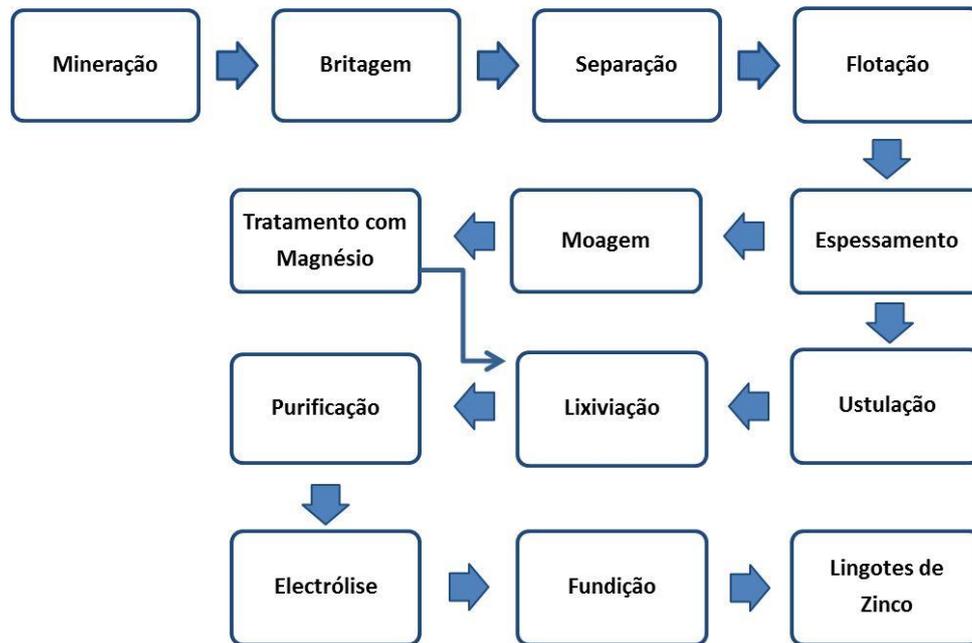


Figura 2.9: Processo de produção e purificação de zinco por eletrólise
(Adaptado de Cardozo, *et al.*, 2002)

Cada fase do processo de produção e purificação do zinco corresponde a numerosas etapas (Cardozo, *et al.*, 2002; Oliveira, 2007), podendo cada uma contribuir para a contaminação do meio, no caso de não existir adequadas medidas de gestão de resíduos:

- **Mineração** – Processo de obtenção de concentrados silicatados e sulfuretados de zinco entre outros, como por exemplo concentrados de chumbo (Pb) e calcário para utilização agrícola;
- **Britagem** – Processo de moagem para redução da sua granulometria. O minério de zinco britado é posteriormente triturado de forma a se obterem partículas muito finas que serão submetidas a tratamentos químicos para a extracção do zinco. Esta operação tem ainda como objectivo a extracção do maior número possível de impurezas presentes no minério;
- **Separação** – Processo de separação granulométrica do minério, sendo que o que ainda possuir tamanho elevado é reconduzido novamente para britagem antes do processo de desfloculação que se segue. A separação é realizada através de crivagem onde a separação do material sólido é feita apenas tendo em conta o tamanho do grão, não sendo adicionados processos de mecânica de fluidos (flotação). Este processo dá-se através da colocação de uma mistura de minério, como diferentes granulometrias, sobre uma sequência de peneiros, sendo que o material vai passando sequencialmente por crivos de

dimensão de malha decrescente, obtendo-se, no final, parcelas de minério com dimensões mais uniformes entre si do que o inicialmente britado;

- **Flotação** – Processo inicial para a purificação do zinco. Nesta fase são adicionados reagentes e ar ao minério, de forma a promover a concentração do zinco. Esta técnica baseia-se na aglutinação das partículas minerais com bolhas de ar, quando em suspensão e em contacto com determinados produtos químicos, sendo o preenchimento por ar o que promove a flotação, ou seja a flutuação das partículas até à superfície. À superfície, forma-se um depósito espumoso que será recuperado e posteriormente encaminhado para filtragem;
- **Espessamento** – Processo de separação entre a fase sólida e a fase líquida da solução flotada. Nesta fase ocorre a separação do concentrado silicatado de zinco (fase sólida) o qual será encaminhado para uma segunda fase de moagem com magnésio (Mg), de forma a se recuperar totalmente o zinco. É também, nesta fase, que ocorre a separação do concentrado de chumbo (Pb), seguindo para outro tipo de tratamento, e o concentrado sulfuretado de zinco, por sua vez, segue para o processo de urstulação;
- **Moagem** – Processo de moagem da fase sólida, separada no processo anterior (espessamento), permitindo a obtenção de partículas com uma maior superfície específica para posterior tratamento;
- **Tratamento com Magnésio (Mg)** – Processo que permite o tratamento com magnésio do minério silicatado de zinco. Consiste num processo muito protegido por segredos industriais, sendo que foi desenvolvido pela Companhia Mineira de Metais visando a posterior utilização do mesmo após o processo de lixiviação. A utilização do magnésio no tratamento de minérios de zinco promove a não oxidação do mesmo devido à presença de impurezas. A principal vantagem da utilização deste processo é a possibilidade que apenas em uma utilização ser possível a beneficiação dos minérios silicatados e sulfuretados, permitindo assim um maior aproveitamento do minério o que leva a um aumento significativo da produção de zinco, sem que para isso, se tenha de aumentar o teor extraído em mina;
- **Urstulação** – Processo que promove a oxidação dos sulfuretos, originando assim óxidos solúveis em solução ácida. A oxidação dá-se através da passagem de uma corrente de ar num ambiente de temperatura elevada. Nestas condições ocorre uma reacção entre o enxofre presente no minério e o oxigénio atmosférico, libertando assim o metal ou produzindo uma forma oxidada do mesmo que mais tarde passará por um processo de redução;
- **Lixiviação** – Processo de lixiviação da solução ustulada realizado de forma contínua, consistindo na solubilização da matéria-prima numa solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4),

deixando-a na forma de sulfato, sendo esta transformação faseada com recurso a reactores e decantadores. Aqui, são incorporados na solução outros elementos metálicos igualmente presentes na estrutura dos minerais, como o cobre (Cu), o cádmio (Cd), o níquel (Ni), o cobalto (Co), e o ferro (Fe), sendo que este último resulta, no final do processo, na cristalização de jarosite. Os restantes elementos metálicos são removidos na etapa de purificação, sendo considerados como resíduos. Podem ainda ser identificados outros elementos, como a prata (Ag) e o chumbo (Pb) no resíduo final lixiviado, podendo ser conduzidos para a unidade de flotação afim da sua concentração e posterior comercialização;

- **Purificação** - Processo que promove a limpeza da solução de sulfato de zinco através da adição de pó de zinco que promove a precipitação de outros elementos considerados como impurezas da solução, tais como o cobre, o cádmio, o cobalto e o níquel, os quais, no caso de se expressarem teor viavelmente económico podem ser reaproveitados, evitando-se o seu lançamento para o meio;
- **Electrólise** – Processo de recuperação do zinco através da aplicação de uma corrente eléctrica com recurso a eléctrodos insolúveis. Promovendo, assim a decomposição dos sulfatos de zinco eletrolítico e a precipitação de zinco metálico no cátodo. O zinco obtido através deste processo possui pureza muito elevada (99,99%), contendo impurezas inferiores a 50 ppm, sendo o chumbo (Pb) a mais relevante;
- **Fundição** – Processo último para a obtenção de zinco metálico. Assim, o zinco, anteriormente aglomerado no cátodo, é fundido a 500°C de forma contínua, originando fluxos de zinco fundido que descem por calhas até tomarem a forma de lingotes destinados a comercialização. Uma parte do zinco fundido é encaminhada para fornos específicos destinados ao fabrico de ligas para uso na galvanização e fundição sob pressão. Uma outra corrente retorna ao processo na forma de pó de zinco utilizado, em parte, no processo de lixiviação, seguindo também para comercialização destinando-se ao fabrico de pilhas. Por fim, os lingotes de zinco, obtidos no processo de fundição e com elevado grau de pureza são comercializados, sendo que uma grande parte segue para a produção de óxidos de zinco.

A presença e funcionamento da Votorantim Metais S.A., desde cedo desencadeou vastos problemas ambientais. Nos primeiros quatro anos de funcionamento, de elevado crescimento, em parte dada a ausência de legislação ambiental apropriada no que se refere à disposição de resíduos, não foram tomadas medidas adequadas, sendo os resíduos dispostos em vastas áreas nas margens do rio São Francisco (Oliveira *et al.*, 2006). Assim a unidade desencadeou inúmeros problemas ambientais quer nas águas, nos sedimentos e aluviões depositados pelo córrego Consciência, quer nos solos da zona envolvente à unidade ou mesmo no rio São Francisco. Nos primeiros anos do

seu funcionamento era já possível a identificação de efeitos de poluição no rio São Francisco, em que o *Departamento Nacional de Águas e Esgotos* (DNAEE) identificava a Votorantim Metais como a principal responsável. Por outro lado, o *Centro Tecnológico de Minas Gerais* (CETEC) reconheceu a estagnação do córrego Consciência durante os períodos de chuva. Assim, quando se verificava um aumento do caudal do rio São Francisco, o córrego Consciência passaria a funcionar como uma bacia de sedimentação (Oliveira *et al.*, 2006). Já em 1974 identificavam-se nas águas da foz do córrego Consciência valores de pH de 3,0, indicando a natureza ácida dos efluentes provenientes da Votorantim Metais S.A.. Estas águas apresentavam ainda teores de zinco de 560 mg/l, de cádmio de 0.17 mg/l e de cobre de 7,2 mg/l (Oliveira *et al.*, 2006). Mais tarde, em 1976, estudos complementares comprovaram que o próprio córrego Consciência teria passado a constituir um local de descarga dos efluentes provenientes da unidade industrial (Oliveira *et al.*, 2006; Martins, L., 2014). Em 1978, foi a vez do *Conselho de Política Ambiental* (COPAM) afirmar que os resíduos depositados nos solos da zona envolvente da unidade poluíam também o rio São Francisco devido à elevada saturação provocada pelas chuvas associadas a episódios de elevada mortalidade de peixes (Oliveira *et al.*, 2006; Martins, L., 2014; Conflitos Ambientais Minas Gerais).

Em 1983 foi edificado o primeiro depósito de rejeitos da empresa, a Barragem Velha, localizada na margem direita do rio São Francisco (Figura 2.10), onde, à época, existia uma lagoa marginal. Os resíduos eram armazenados na barragem directamente sobre o solo sem que tivesse sido efectuado qualquer trabalho de impermeabilização. Esta barragem permaneceu activa até 2002, período em que foi preenchida na sua totalidade, verificando-se ao longo dos anos, episódios de poluição nos solos envolventes e nas águas do rio São Francisco, associados elevada mortalidade de fauna piscícola. Estes problemas levaram ao encerramento da barragem, exigido pelo órgão ambiental responsável, e à construção de uma nova barragem, a Barragem de Lavagem (Oliveira *et al.*, 2006; Oliveira, 2007; Ribeiro, 2010; Conflitos Ambientais Minas Gerais).



Figura 2.10: Localização dos depósitos de rejeitos da unidade Três Marias da Votorantim Metais S.A. (Google Earth, imagem de: 11.04.2016)

Além da disposição inadequada de resíduos na Barragem Velha, durante vários anos foram ainda depositados sobre os solos da zona envolvente outros tipos de resíduos, como sucatas, entulho de obras, tambores de óleo, restos de EPI (*Equipamentos de Protecção Individual*) e resíduos resultantes da purificação do minério ricos em zinco, cádmio, cobalto e cobre, assim como efluentes derivados do processo de tratamento (Figura 2.11). Embora muitos destes resíduos tenham sido removidos durante a década de 90, ainda são visíveis vestígios nestes locais.

A Barragem de Lavagem, localizada a cerca de 6 km da unidade de Três Marias (Figura 2.10), iniciou a sua actividade em 2002, tendo como função receber os rejeitos dos processo industrial. Evitava-se, assim, a deposição dos resíduos directamente sobre coberturas superficiais, estando de acordo com as directivas do órgão ambiental local (Oliveira, 2007). Simultaneamente foi construído um Dique de Segurança a jusante da Barragem Velha, de forma a reter a drenagem pluvial e os sólidos carregados. Actualmente existe um sistema de drenagem de águas e de partículas sólidas, sendo o material recolhido no dique de segurança direccionado para uma estação de tratamento de efluentes e, posteriormente, lançada a água para o rio São Francisco, em condições ambientalmente apropriadas (Oliveira *et al.*, 2006; Oliveira, 2007; Martins, L., 2014). Contrariamente ao que seria esperado, a Barragem de Lavagem também se mostrou ineficiente para a contenção da totalidade dos resíduos produzidos na unidade industrial de Três Marias, quer pelo seu rápido preenchimento total, quer pela identificação de episódios de poluição na sua envolvente, levando ao seu encerramento em 2011 (Batista *et al.*, 2008; Conflitos Ambientais Minas Gerais; Martins, L., 2014).

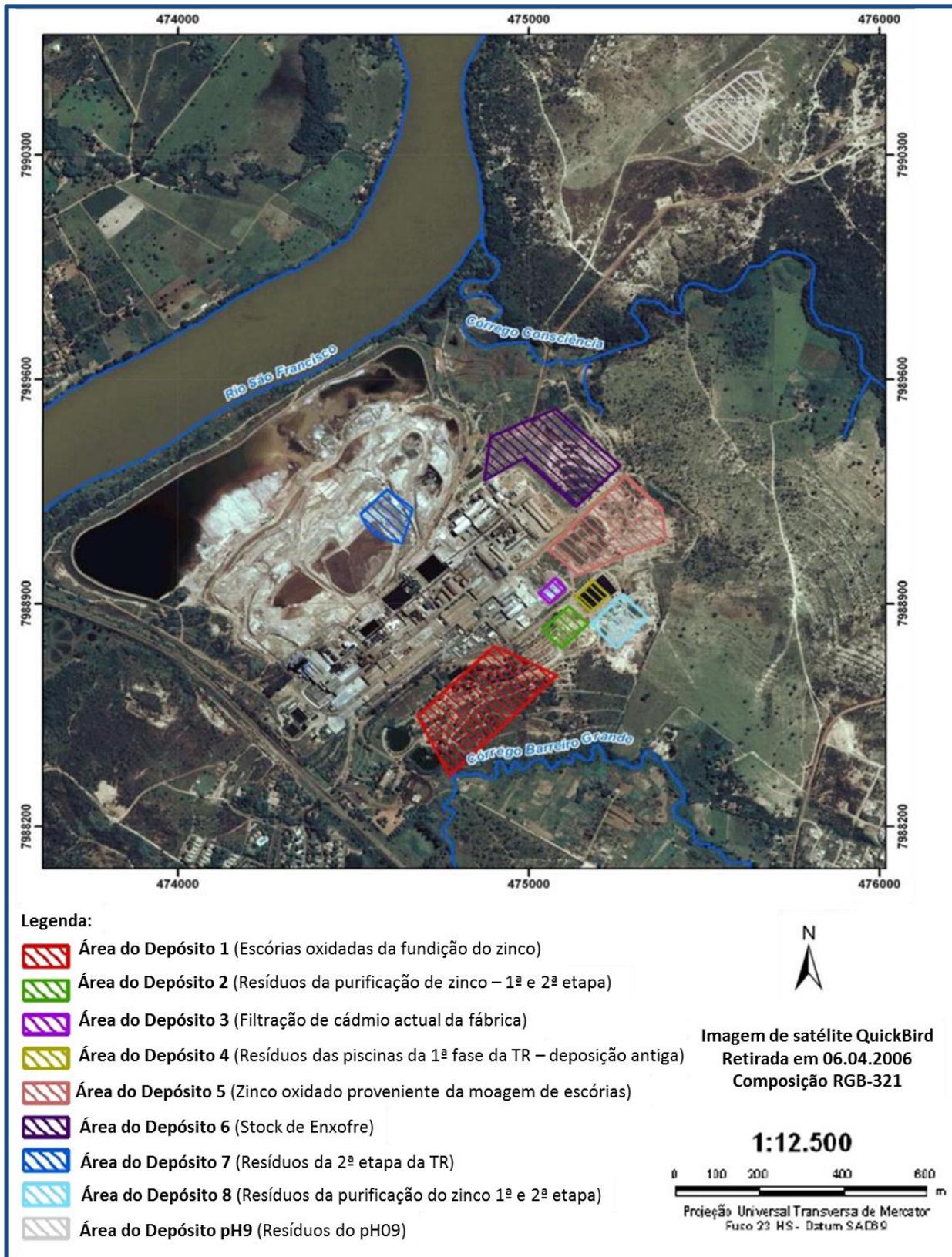


Figura 2.11: Localização dos antigos aterros de resíduos, construídos anteriormente à Barragem Velha.

(Adaptado de *Golder Associates* (2007a))

Tendo como finalidade cessar a contaminação provocada pelas Barragem Velha e de Lavagem, foi construído, em 2011, o Depósito de Murici (Figura 2.10). Este novo depósito foi construído de acordo com os parâmetros ambientais exigidos, sendo totalmente impermeabilizado e alvo de monitorização periódica, assegurando o armazenamento dos resíduos provenientes da actual produção da Votorantim Metais S.A., e o depósito dos resíduos anteriormente depositados nas barragens já inactivas (Batista *et al.*, 2008).

3 Metodologia

Amostragem e

Procedimento Experimental



3. Metodologia

3.1. Amostragem

A amostragem efectuada na área em estudo foi baseada nas conclusões obtidas a partir de um estudo de diagnóstico realizado pela empresa de consultadoria *Golder Associates* (*Golder Associates*, 2007a), que dividiu a área aluvionar sobre a influência da Votorantim Metais S. A. em três zonas (Figura 3.1):

- Área A1: Leito e margens do córrego Consciência (0,98 ha);
- Área A2: Planície aluvionar do córrego Consciência (2,707 ha);
- Área A3: Bacia de acumulação das aluviões, correspondente a parte da bacia de drenagem do córrego Grota Seca (0,51 ha);

Embora este trabalho tenha como principal objectivo a caracterização da zona aluvionar do córrego Consciência, optou-se por considerar igualmente o estudo dos materiais sedimentares depositados no leito e margens do córrego, dado constituírem uma continuidade da planície aluvionar e, portanto, estarem sob a influência directa do comportamento geoquímico das aluviões da planície.

Foi igualmente incluído no estudo a coluna de água do córrego, permitindo avaliar a influência dos elevados teores dos elementos metálicos existentes nas aluviões, a sua mobilidade e influência na qualidade da água que flui directamente para o rio São Francisco.



Figura 3.1: Áreas delimitadas pela *Golder Associates* para a descontaminação da área.
(Adaptado de *Golder Associates*, 2007a, *Google Earth* imagem de 28.12.2013 em 17.05.2016)

Foram ainda distinguidas pela *Golder Associates* duas tipologias distintas para toda a área influenciada pela actividade industrial: as zonas contaminadas (com teores muito superiores aos legislados) e as zonas degradadas (com teores superiores aos legislados mais próximos desse limite) (Figura 3.2). Assim, tendo como base essa delimitação, foram realizadas as amostragens, somente nas áreas consideradas contaminadas, tendo-se procurado garantir a representatividade dos materiais sedimentares recolhidos, nomeadamente as aluviões das bacias dos córregos Consciência e Barreiro Grande. Para cada área selecionada, foram escolhidos diversos pontos de amostragem representativos, de acordo com um sistema de amostragem rectangular, com espaçamentos entre 50 e 100 m, tendo a atenção para que estes correspondessem, quando possível, a zonas de topografia varável, garantindo a amostragem em todas as áreas de ocorrência de aluviões, nomeadamente:

- Aluviões depositados na planície aluvionar, correspondendo à área emersa com maior volume de aluviões;
- Aluviões depositados nas margens dos córregos, a uma cota inferior aos recolhidos na planície aluvionar, amostrados em duas fases: i) durante o período de estio, em que as aluviões encontram-se emersas; ii) durante a época das chuvas, quando as aluviões se encontram imersas sob uma pequena película de água;

- Sedimentos depositados no leito do córrego principal com coluna de água que variou entre os 30 cm e os 2,5 m.



Figura 3.2: Áreas delimitadas como contaminadas (a verde) e degradadas (a vermelho) na área industrial da Votorantim Metais S.A. (Adaptado de *Golder Associates*, 2007b, *Google Earth* imagem de 20.08.2013 em 17.05.2016)

Tendo em conta o comportamento geoquímico dos metais em função de características químicas, hidrogeológicas e bioquímicas do meio, foram realizadas três campanhas de amostragem em dois períodos sazonais distintos, as duas primeiras realizadas no período pós-seca (Setembro e Novembro de 2013) e a terceira no período pós-chuva (Março de 2014). Nestas campanhas foram repetidas algumas amostras de forma a compreender qual a influência do clima nas concentrações dos elementos químicos presentes (principalmente os metálicos).

Durante o decorrer do trabalho, foi verificada a necessidade do conhecimento da espessura dos materiais aluvionares amostrados, tendo-se realizado, em Setembro de 2014, uma quarta campanha, esta de cariz geofísico na planície aluvionar da área da Votorantim Metais S.A., tendo sido aplicada uma técnica de prospecção geofísica, nomeadamente a tomografia eléctrica. Nesta última campanha, foi necessária a abertura de valas, de forma cartografar os materiais aluvionares em profundidade com recolha de amostras a diferentes profundidades. Dado o período de seca anómalo nesse ano, 2014, foi ainda possível, durante a quarta campanha de amostragem, a realização de um ponto de amostragem a meio do córrego Consciência, onde era visível uma elevada espessura de material acumulado.

De forma a uma avaliação assertiva da concentração de elementos metálicos oriundos das actividades da Votorantim Metais S.A., foram amostrados pontos, a montante e fora da influência da unidade industrial distintamente distados da mesma, numa área designada por A0. Esta área foi definida nas margens direita e esquerda do córrego Consciência, representando assim o *background geoquímico* da área em estudo.

Foram assim recolhidas, no total, 248 amostras aluvionares (correspondentes a 59 pontos de amostragem) em quatro períodos distintos de amostragem, georreferenciados com GPS, cuja localização se encontra em anexo (Anexo AI - Tabela AI.1), distribuindo-se por quatro áreas. Na área A0 foram amostradas 11 amostras (correspondentes a 4 pontos de amostragem), na área A1 amostraram-se 181 amostras (correspondentes a 40 pontos de amostragem), na área A2 recolheram-se 26 amostras (correspondentes a 7 pontos de amostragem) e na área A3 foram amostradas 30 amostras (correspondentes a 8 pontos de amostragem). Foram ainda recolhidas 34 amostras de água superficial (correspondentes a 14 pontos de amostragem). A amostragem das aluviões encontra-se representada nas figuras 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6 de acordo com as áreas consideradas como contaminadas (à excepção da A0) pela *Golder Associates* (*Golder Associates*, 2007a) (Figura 3.2).

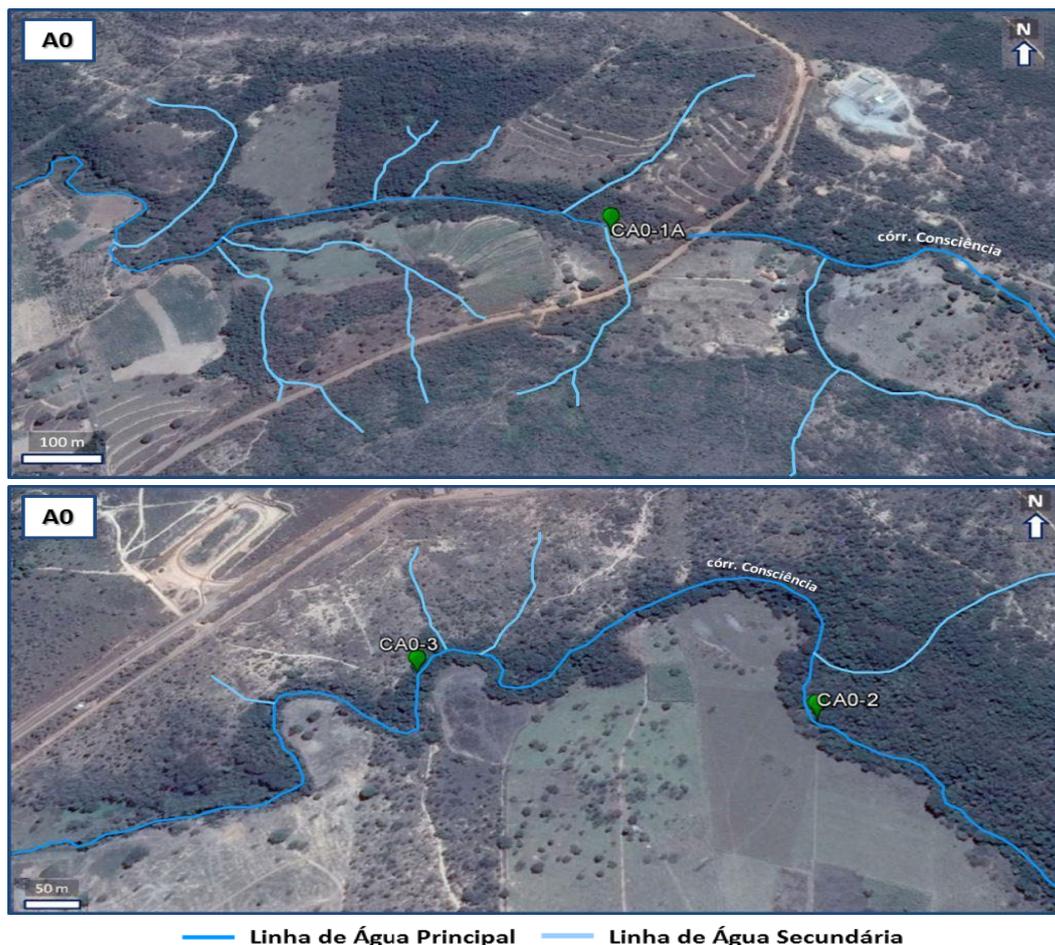
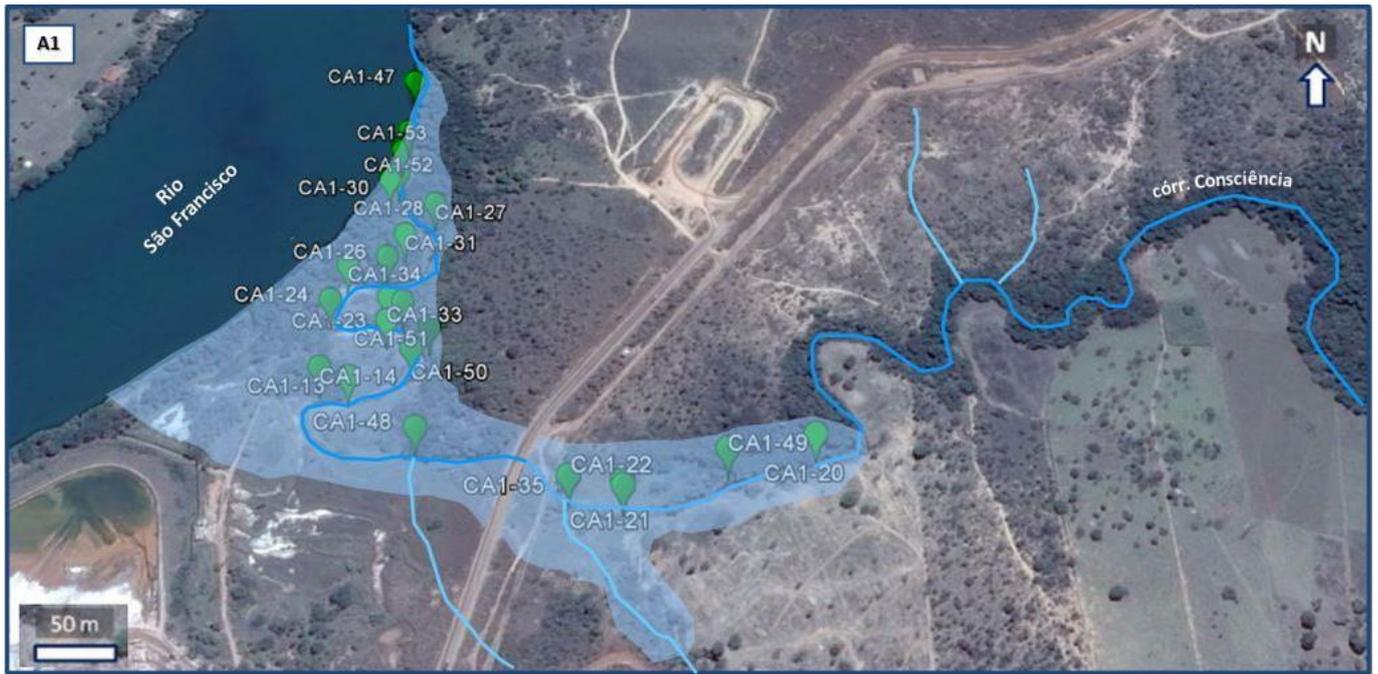


Figura 3.3: Localização dos pontos de amostragem das aluviões e sedimentos na área A0.
(*Google Earth*, imagens de 20.0.2013 em 18.05.2016)



Planície Aluvionar Linha de Água Principal Linha de Água Secundária

Figura 3.4: Localização dos pontos de amostragem das aluviões e sedimentos na área A1.

(Google Earth, imagens de 20.0.2013 em 18.05.2016)



Planície Aluvionar Linha de Água Principal Linha de Água Secundária

Figura 3.5: Localização dos pontos de amostragem das aluviões e sedimentos na área A2.

(Google Earth, imagens de 20.0.2013 em 18.05.2016)

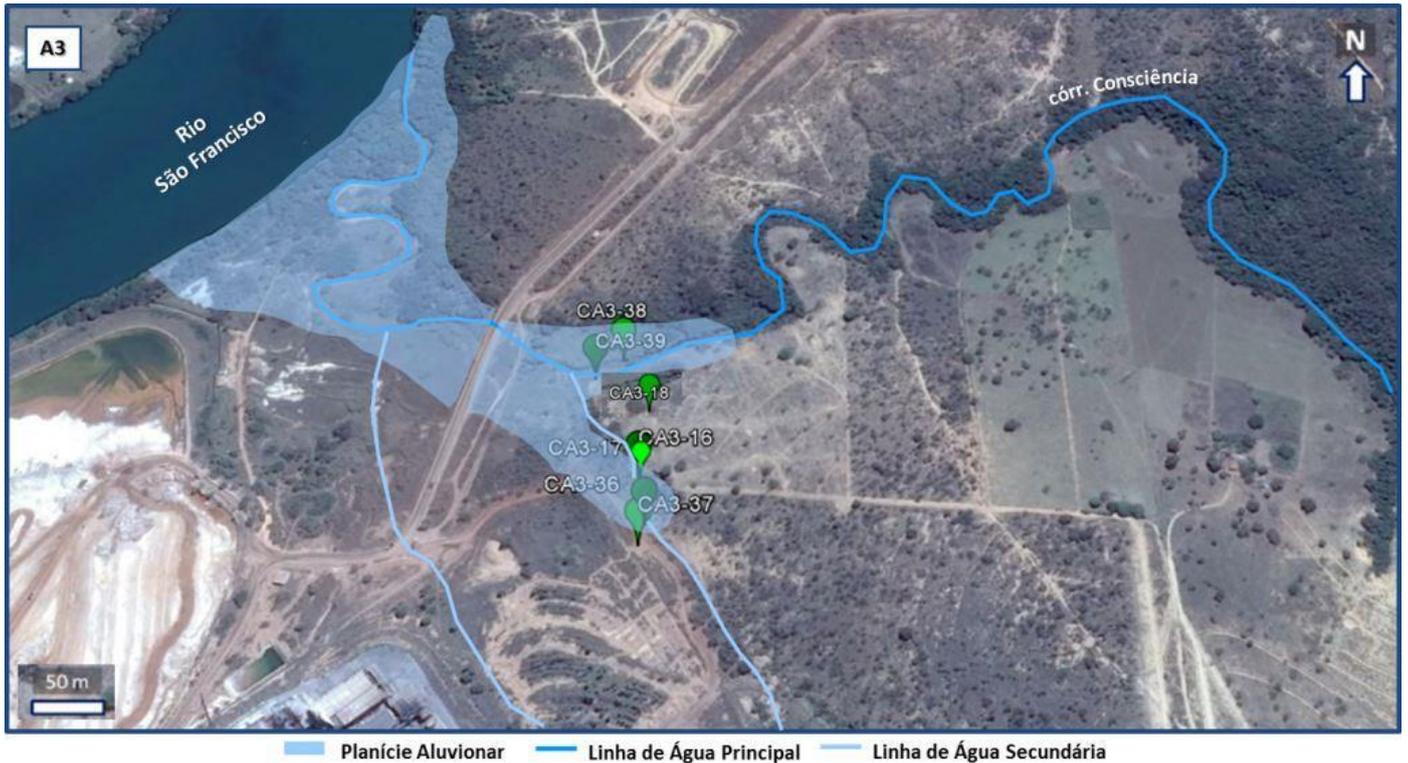


Figura 3.6: Localização dos pontos de amostragem das aluviões e sedimentos na área A3.

(Google Earth, imagens de 20.0.2013 em 18.05.2016)

3.1.1. Amostras Aluvionares

As amostras aluvionares foram recolhidas com recurso a trado e, maioritariamente, em três profundidades (0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm), pretendendo assim o conhecimento em profundidade dos teores em elementos metálicos superiores aos considerados críticos e a forma química em que ocorrem (Figura 3.7). Para algumas amostras, dada a sua localização nas margens do córrego, e tendo em conta o maior dinamismo químico, a camada superficial de 0 a 20 cm foi ainda subdividida em amostras de 5 cm, sendo que em cada local de amostragem, foram recolhidas três amostras de forma a ser possível a obtenção de uma amostra compósita o mais representativa possível (Figura 3.8). Para o caso das amostras da margem que se encontravam imersas periodicamente, foi feita a recolha com recurso a uma draga manual do tipo *Shipeck*, (com vara) (Figura 3.9) e os sedimentos depositados em zonas mais profundas do leito do córrego foram amostrados com apoio de uma draga manual do tipo *Shipeck* (suspensa) ou com um *corer* de varas *Kajak* (Figura 3.10). Durante a amostragem de Novembro de 2013, foram ainda recolhidas amostras a maior profundidade (60 a 0 cm e 80 a 100 cm) de forma pontual, sempre que se verificou um aumento dos teores dos elementos metálicos em profundidade, na campanha anterior.



Figura 3.7: Amostragem de aluviões na planície aluvionar (esquerda) e aluviões junto a margem do córrego (direita).



Figura 3.8: Amostragem de aluviões nas margens de acumulação do córrego com obtenção de amostras compósitas.



Figura 3.9: Amostragem de sedimentos imersos nas margens do córrego com recurso a draga manual do tipo *Shipeck* (com vara).

As colunas amostradas através de amostradores *corer* foram congeladas no dia de amostragem, possibilitando a melhor preservação e extracção das mesmas dos tubos de PVC, usados como *liner*, no interior do amostrador. Estas foram posteriormente transferidas para uma calha de PVC graduada onde, ainda mediamente congeladas, foram seccionadas de acordo com as dimensões anteriormente referidas (Figura 3.10). Cada amostra foi colocada em saco de plástico hermeticamente fechado e refrigeradas, sendo o seu transporte realizado em caixas herméticas com acumuladores de refrigeração.



Figura 3.10: Amostragem em coluna dos sedimentos depositados no leito do córrego com recurso a *corer* de varas *Kajak*.

3.1.2. Águas

A amostragem de água no córrego Consciência foi realizada com recurso a garrafa de *Van Dorn*, sendo a amostragem sempre acompanhada pela determinação de parâmetros físico-químicos, como a temperatura, a condutividade eléctrica, o pH e o potencial de oxidação/redução (Eh) (Figura 3.11).



Figura 3.11: Recolha de água com recurso a uma garrafa de *Van Dorn*.

3.2. Processamento de Amostras e Análises *in situ*

Anteriormente a qualquer ensaio foram medidos em todas as amostras, no dia da recolha, o potencial redox (Eh), de modo a determinar as condições de oxidação ou redução presentes no meio, e o pH, nas amostras que apresentavam humidade, com recurso a eléctrodos devidamente calibrados (sondas da marca *Consort*, modelo *SP10T* para a medição do pH, modelo *SP50X* para medição do potencial redox (Eh)). Foram ainda recolhidas águas intersticiais, nas amostras que apresentavam teor de humidade médio a elevado, através da utilização de amostradores específicos denominados por *rhizom samplers* (Figura 3.12). A água intersticial recolhida corresponde à fase mais solúvel presente nas amostras aluvionares, correspondendo assim a uma fracção de elevada inter-relação com as partículas sólidas. Assim, o seu teor químico corresponde a uma determinação do grau de solubilidade e biodisponibilidade dos diferentes elementos

químicos presentes, permitindo avaliar os fluxos de elementos facilmente trocáveis para a água superficial e subterrânea, e facilmente assimiláveis pelos seres vivos. Na zona aluvionar, a água intersticial encontra-se na zona de saturação ou na sua proximidade, correspondendo à água subterrânea.



Figura 3.12: Amostragem de água intersticial com recurso a *rhizom samplers*.

A amostragem de águas foi realizada em duplicado, uma para o estudo dos metais e outra para a determinação dos teores de sulfatos, nitratos e fosfatos. Após a recolha, as amostras foram colocadas em tubos, onde foram medidos os valores de pH, temperatura, condutividade eléctrica e potencial redox (Eh) *in situ*, realizadas réplicas para análise de elementos metálicos, nas quais foi adicionado ácido nítrico (HNO_3) concentrado de forma a se atingir um valor de pH 2-2,5 e assim evitar ocorrência de precipitação de metais; as amostras foram refrigeradas para posteriores análises químicas.

3.3. Análises Laboratoriais

As análises laboratoriais efectuadas tiveram como principal objectivo a caracterização da contaminação (a sua distribuição espacial e em profundidade) e o comportamento geoquímico dos metais presentes nas aluviões da área em estudo de forma a identificar a perigosidade ambiental associada às suas concentrações e formas químicas, possibilitando a posterior escolha da/s medida/s de remediação mais adequadas.

A generalidade das análises laboratoriais foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental – *AmbiTerra* da Universidade de Évora, sendo que alguns parâmetros físicos e mineralógicos foram determinados no laboratório *HERCULES - Herança Cultural, Estudos e Salvaguarda* e no Laboratório do Departamento de Geociências pertencentes, ambos à mesma instituição e no *Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia* (LNEG) nas instalações de S. Mamede de Infesta.

Assim, as amostras aluvionares recolhidas no campo foram refrigeradas, após quarteamento para obtenção de sub-amostras que foram secas a 60°C em estufa ventilada (*Beschickung – Loading Modell 100-800 Memmert*) até peso constante. Após secagem, as amostras foram colocadas em exsiccador até ser atingida a temperatura ambiente, sendo posteriormente moídas em moinho de ágata, argolas (*Siebtechnik*) para as amostras com maior quantidade e de bolas para amostras com menor quantidade, tendo sido nesta sub-amostras realizados os ensaios químicos, nomeadamente:

- Digestão Parcial – Extracção por *Aqua Regia*;
- Extracção Sequencial de Elementos Metálicos;
- Análise Elementar CHNS;
- Ensaio de Lixiviação;
- Determinação do Fósforo Total;
- Determinação do Teor em Sulfatos;
- Determinação do Teor em Metais em Diferentes Fracções Granulométricas.

Os ensaios físicos, nomeadamente a porosidade, a permeabilidade, a granulometria, e os ensaios mineralógicos que incluíram a análise por difracção de raio-x e a identificação petrográfica e mineralógica, foram realizados nas amostras iniciais, preservadas e refrigeradas, após o seu tratamento adequado para cada tipo de análise.

As águas e águas intersticiais, preservadas e refrigeradas, foram analisadas quanto à concentração de alguns elementos alcalinos e alcalino-terrosos e de elementos metálicos. Procedeu-se ainda à digestão de algumas amostras de águas (recolhidas na campanha de Março

de 2014 – época pós-chuvas) de forma a determinar os principais elementos metálicos associados à fracção particulada. O processo de digestão foi realizado por adição de 3 ml de ácido nítrico (HNO_3) e 1 ml de ácido clorídrico (HCl) a 4 ml de amostra, cujo material particulado foi anteriormente remobilizado por agitação, procedendo-se à digestão num digestor micro-ondas de alta pressão *Anton Paar Multiwave PRO* (Figura 3.13).



Figura 3.13: Digestor microondas de alta pressão do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

3.3.1. Análises Químicas

Foram analisados em todas as amostras recolhidas os teores nos metais pesados mais relevantes, neste caso o zinco (Zn), o níquel (Ni), o cádmio (Cd), o cobalto (Co), o crómio (Cr), o cobre (Cu), o chumbo (Pb) e o arsénio (As) (este último correspondendo a um metaloide). Sendo estes os principais contaminantes associados à presença e funcionamento da unidade industrial. Foram ainda determinados os teores em ferro (Fe) e manganês (Mn), elementos bastante abundantes na geologia local, sendo essa uma característica típica de solos e ambientes sedimentares tropicais.

3.3.1.1. Digestão Parcial – Extracção por *Aqua Regia*

O método de digestão parcial através de extracção por *Aqua Regia* é largamente utilizado considerando-se o mais eficaz para a determinação do conteúdo quase total de metais nos solos e sedimentos (Gaudino *et al.*, 2007). O objectivo principal consiste na determinação do grau de contaminação das amostras, através da solubilização das fracções biodisponíveis por adição ácida

e sem destruição dos minerais silicatados. O processo de digestão parcial foi executado com 0,5 g de amostra (seca e moída previamente) 5 ml de ácido nítrico (HNO_3) e 3 ml de ácido clorídrico (HCl), adotando-se a metodologia da EPA (*United States Environmental Protection Agency*) para digestão parcial de sedimentos em microondas (U.S.EPA, 2007), sendo a digestão realizada num digestor de microondas de alta pressão *Anton Paar Multiwave PRO* (Figura 3.13).

A análise dos extractos obtidos foi realizada através de espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES), os elementos metálicos existentes em concentrações mais elevadas foram lidos em extractos diluídos (1:50), os restantes em extractos sem diluição e o teor em arsénio (As) das amostras com menor concentração deste elemento, com recurso a nebulizador ultrassónico acoplado ao ICP-OES (Figura 3.14).

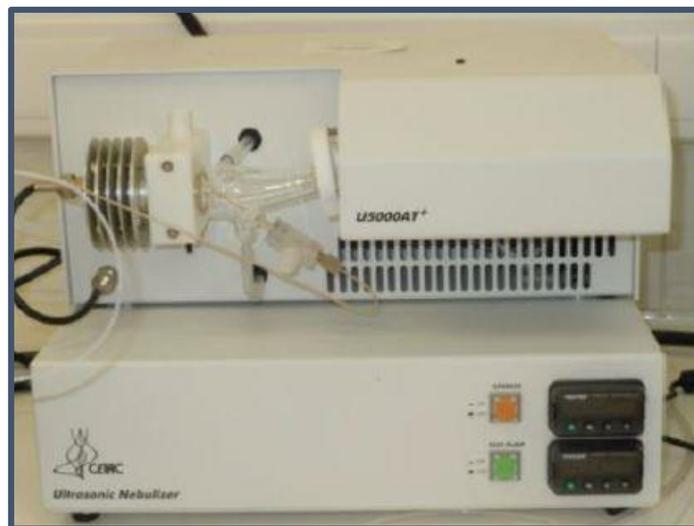


Figura 3.14: Nebulizador ultrassónico acoplado ao ICP-OES do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

3.3.1.2. Extracção Sequencial

A extracção sequencial fraciona gradualmente os elementos metálicos associados as fases orgânicas e minerais, permitindo a sua quantificação em fases distintas e a avaliação da sua biodisponibilidade e mobilidade associada as condições físico-químicas do meio, possibilitando assim a determinação da perigosidade ambiental na área em estudo (Sahuquillo *et al.*, 2003).

São encontrados na bibliografia diversos métodos de extracção sequencial, no entanto, um dos mais referidos e utilizados é o método de Tessier *et al.*, (1979). Método no qual são identificadas as principais formas em que os metais se podem encontrar:

- Em fracções solúveis e adsorvidos em partículas orgânicas ou inorgânicas como catiões de troca;
- Ligados a matéria orgânica;
- Precipitados em óxidos, hidróxidos ou carbonatos;
- No interior da estrutura dos minerais silicatados.

De acordo com a metodologia de Tessier *et al.*, (1979) os metais podem ser facilmente separados a partir da agitação prolongada e sequencial com soluções extractantes específicas, com poder de solubilização progressivamente mais forte.

O processo de extracção sequencial adoptado pelo Laboratório de Biogeoquímica Ambiental é o método utilizado pelo Laboratório de Geoquímica da Universidade de Aveiro, que consiste num método modificado ao modelo clássico de Tessier (1979) (Cardoso F. *et al.*, 1998; Fonseca *et al.*, 2012). Este método é constituído por cinco etapas:

- ❖ Solubilização das fracções mais solúveis (existentes em solução e como catiões de troca) e ligadas a carbonatos;

Pesou-se 1g de cada amostra e colocou-se num frasco com tampa, adicionando-se 20 ml de acetato de amónio 1M ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) com um pH de aproximadamente 4,5. As amostras foram levadas a agitar num agitador orbital (*Edmund Bühler GmbH SM-30*) durante 640 minutos (10h:40 min) em agitação contínua. No final deste período as amostras foram centrifugadas (centrífuga *Rotanta 460R, Hettich Zentrifugem*), sendo filtrado o sobrenadante para um frasco de polietileno. O filtrado foi refrigerado até leitura por espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES) (Figura 3.15), enquanto que o resíduo sólido foi seco em estufa ventilada (*Beschickung –Loading Modell 100-800 Memmert*) e pesado.



Figura 3.15: Espectrómetro de emissão óptica por fonte indutiva de plasma (ICP-OES) do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

❖ Solubilização de metais ligados a óxidos de manganês;

Ao resíduo da fase anterior adicionou-se 20 ml de Cloridrato de Hidroxilamina ($\text{NH}_2\text{OH HCl}$) 0,05M numa solução de ácido nítrico 0,026M num frasco com tampa. As amostras foram levadas a agitar durante 10 horas em agitação contínua à temperatura ambiente. Tal como na fase anterior as amostras foram, depois de finda a agitação, centrifugadas e filtradas, tendo o sobrenadante sido refrigerado em frascos de polietileno até leitura por espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES), enquanto que o resíduo sólido foi seco em estufa ventilada (*Beschickung –Loading Modell 100-800 Memmert*) e pesado.

❖ Solubilização dos metais ligados a óxidos de ferro amorfos;

Ao resíduo da fase anterior adicionou-se 40 ml de solução de reagente de Tamm (mistura de ácido oxálico ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) e oxalato de amónio ($\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_4$)) num frasco com tampa. As amostras foram levadas a agitar durante 10 horas em agitação contínua à temperatura ambiente e em ambiente escuro. Tal como na fase anterior as amostras foram, depois de finda a agitação, centrifugadas, tendo-se filtrado o sobrenadante para copos de vidro ou teflon.

A utilização do reagente Tamm nas determinações analíticas por espectrofotometria provoca uma depressão do sinal, devendo ser posteriormente destruído após a extracção segundo um método desenvolvido por Cardoso Fonseca (Bolle *et al.*, 1988). Desta forma, a solução obtida após centrifugação das amostras foi transferida para copos de vidro de 250 ml ao qual se adicionou

20 ml de *Aqua Regia* (solução ácida na proporção de 3:1 de ácido nítrico (HNO_3) e ácido clorídrico (HCl)). Esta solução foi aquecida em banho de areia a uma temperatura de 50°C até ocorrer a evaporação completa da solução. Adicionou-se, seguidamente, ao resíduo da evaporação 3 ml de peróxido de hidrogénio aquecendo-se novamente até evaporação total. A este resíduo foi adicionado 25 ml de água acidificada com ácido nítrico (pH entre 2,5 – 3). Esta solução final foi refrigerada até leitura por espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES). O resíduo sólido foi seco em estufa ventilada e pesado.

❖ Solubilização dos metais ligados a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos:

Ao resíduo da fase anterior adicionou-se 20 ml de peróxido de hidrogénio (H_2O_2) a 35%, sendo a adição feita em pequenas quantidades de forma a evitar uma forte efervescência. As amostras foram colocadas em banho de areia, a uma temperatura de 60°C , adicionando-se mais peróxido de hidrogénio (H_2O_2) (cerca de 2 ml), agitando e deixando evaporar, repetindo-se o processo até não ocorrer efervescência nas amostras. No resíduo seco, após a adição e evaporação do peróxido de hidrogénio, adicionou-se 10 ml de acetato de amónio 1M ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) com pH 4,5 em frasco fechado levando-se a agitar, em agitador orbital, durante uma hora. Centrifugaram-se as amostras e filtrou-se o sobrenadante refrigerando-o em frascos de polietileno até leitura por espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES). O resíduo sólido foi seco em estufa ventilada e pesado.

❖ Solubilização dos metais ligados a óxidos e hidróxidos de ferro cristalinos:

O resíduo sólido proveniente da etapa anterior foi colocado em recipientes resistentes a altas temperaturas, marcando-se 40 ml em cada recipiente. Adicionou-se 40 ml de reagente Tamm e colocaram-se os recipientes com as amostras numa câmara com radiação ultravioleta. A câmara existente no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental possui 6 lâmpadas com 300 W cada, com dois interruptores de forma a se poderem ligar/desligar 3 lâmpadas de cada vez. (Figura 3.16) as amostras ficaram sob essa radiação durante 10 horas, sendo agitadas manualmente durante esse período e adicionado reagente Tamm de acordo com o perdido por evaporação, perfazendo os 40 ml iniciais. Findo este período as amostras foram centrifugadas e filtradas para copos de vidro ou teflon.



Figura 3.16: Câmara de radiação ultravioleta (UV) presente no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

À semelhança da fracção extraída com reagente Tamm no escuro, devido à depressão de sinal provocada por este reagente nas determinações analíticas por espectrofotometria, a solução obtida após centrifugação das amostras foi sujeita ao mesmo tratamento descrito para a fracção dos metais ligados aos óxidos de ferro amorfos, tendo a solução final sido refrigerada até leitura por espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES).

3.3.1.3. Análise Elementar de CHNS

A percentagem de Carbono (C), Azoto (N) e Enxofre (S) nas amostras foi determinada através de análise elementar (*Elementar CHNS vario Micro Cube*) através de combustão a alta temperatura, com alteração do estado físico da amostra (fase sólida para fase gasosa) (Figura 3.17). A separação dos gases é realizada pelo sistema TPD (*Temperature Programmed Desorption*) e a detecção por um sensor DCT (*Detector de Condutividade Térmica*). As amostras foram previamente quarteadas e moídas em moinho de ágata, para que os resultados obtidos sejam reprodutíveis, dada a pequena porção de amostra utilizada na leitura (cerca de 20 mg).



Figura 3.17: Analisador elemental do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

3.3.1.4. Ensaio de Lixiviação

O ensaio de lixiviação realizado nas aluviões da área em estudo teve como principal objectivo a determinação da fracção metálica que poderia ser extraída por acção da água, sendo o lixiviante uma solução aquosa com pH adaptado ao encontrado na área (cerca de 6,4-6,5, adaptado de Fia *et al.*, 2013). Assim, o ensaio foi realizado por agitação contínua das amostras secas e destorroadas em água ultra-pura com pH ajustado a cerca de 6,5. A agitação foi contínua até 48 horas, tendo sido retiradas sub-amostras após 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação, procedendo-se a uma imediata filtragem. Foram posteriormente lidos quer o pH destas sub-amostras, quer a sua condutividade eléctrica, o teor em sulfatos, sendo o teor em metais e elementos alcalino-terrosos lidos em ICP-OES.

3.3.1.5. Determinação do Fósforo Total

A determinação da concentração em fósforo das amostras foi realizada de acordo com o seguinte procedimento: (1) pesagem de 1 g de amostra moída para um cadinho de porcelana, (2) queima em mufla (*Nabertherm LE 14/11/P300*) da amostra à temperatura de 550°C durante duas horas (Figura 3.18). Esta queima permitiu a mineralização do fósforo orgânico e, portanto, a sua conversão a fósforo inorgânico, (3) extracção, através da agitação contínua em agitador orbital

durante 18 horas com ácido sulfúrico (H_2SO_4) 1M, (4) separação do extracto por centrifugação após a agitação, sendo estas amostras lidas por espectroscopia de absorção molecular UV/Visível (*Thermo Scientific Evolution 201*) (Figura 3.18), pelo método do ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) – molibdato de amónio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$), adaptado de Murphy & Riley (1962).



Figura 3.18: Mufla do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora (imagem superior) e diferentes etapas do ensaio de determinação de fósforo total.

3.3.1.6. Determinação do Teor em Sulfatos

A determinação da concentração em sulfatos das amostras foi determinada através do seguinte procedimento: (1) pesagem de 5 g de amostra seca para *erlenmeyer* de 150 ml, após passagem por um crivo de malha 1mm, (2) adição de 12,5 ml da solução extractora (39,0 g de acetato de amónio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) a 1000 ml com solução de ácido acético (CH_3COOH) 0,25 N (14,33 ml de ácido acético + H_2O /1000 ml)) e agitação durante 30 minutos, (3) adição de 0,125 g de carvão activado, previamente lavado com a solução extractora, e agitação durante três minutos, (4) filtração da amostra e pipetagem de 10 ml do filtrado para balão volumétrico de 50 ml, (5) adição de 1 ml da solução “semente” ácida (solução de ácido clorídrico (HCl) 6N (501,6 ml de HCl 37% em 1000 ml) contendo 20 mg/l de enxofre como sulfato de potássio (K_2SO_4) (0,1087 g de K_2SO_4 e dissolver a 1000 ml com HCl 6N) agitação, adição de 0,5 g de cloreto de bário (BaCl_2) e colocação em repouso aproximadamente durante 1 minuto, (6) agitação até dissolução dos cristais de cloreto de bário e aferição do balão a 50 ml com água supra-pura e, (7) após cerca de oito minutos determinação das concentrações de sulfato através de espectroscopia

de absorção molecular UV/Visível (*Thermo Scientific Evolution 201*) a 420 nm (nanómetros) (Figura 3.19).

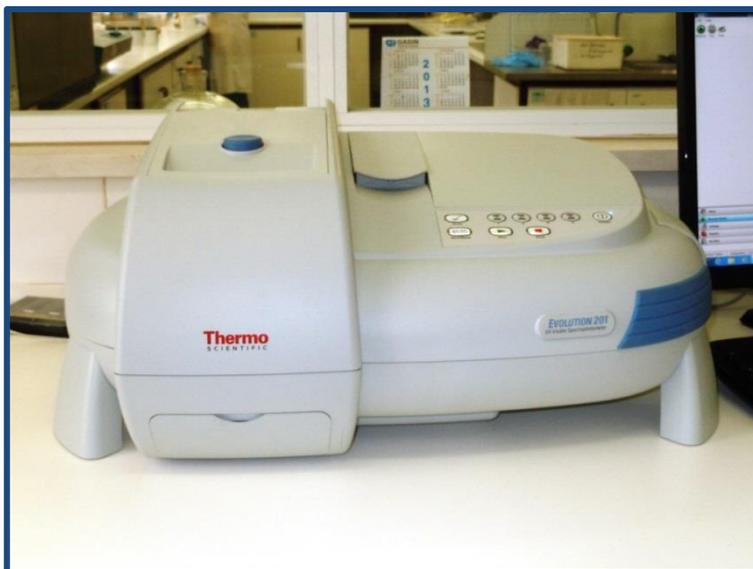


Figura 3.19: Espectrómetro de absorção molecular UV/Visível do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

3.3.1.7. Determinação do Teor em Metais em Diferentes Fracções Granulométricas

De forma a avaliar a influência de diferentes classes dimensionais na concentração de metais pesados, procedeu-se à análise do teor dos elementos metálicos estudados (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Co, Ni e As) em três fracções diferentes das amostras aluvionares ($> 63 \mu\text{m}$, $63\text{-}2 \mu\text{m}$, $< 2 \mu\text{m}$). A separação foi realizada por centrifugação (centrífuga *Rotanta 460R*, *Hettich Zentrifugem*) de acordo com o período de tempo e velocidade, adaptada à centrífuga utilizada, de acordo com a *Lei de Stokes*. Cada fracção granulométrica obtida foi digerida em solução bi-ácida por *Aqua Regia* ($\text{HNO}_3\text{:HCl}$) em digestor de micro ondas de alta pressão *Anton Paar Multiwave PRO* (Figura 3.17), mediante o mesmo procedimento descrito na digestão por *Aqua Regia* das amostras aluvionares, sendo que aqui o volume da relação de ácido nítrico e clorídrico foi adaptada à massa da amostra, que tratando-se de fracções granulométricas foi por vezes inferior a 0,5 g (descritas no método inicial de *Aqua Regia*). A análise do teor em metais foi determinada através de espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES).

3.3.2. Análises Físicas

3.3.2.1. Granulometria da Fracção Arenosa

A análise granulométrica da fracção grosseira foi realizada na porção $> 63 \mu\text{m}$, inicialmente separada por via húmida aquando da determinação da granulometria da fracção fina. Para tal foram utilizados peneiros granulométricos (*ASTM E11* marca *Retsch*) compreendidos no intervalo entre 2 mm e $< 63 \mu\text{m}$ ($> 2,0 \text{ mm}$; $> 1,40 \text{ mm}$; $> 1,00 \text{ mm}$; $> 710 \mu\text{m}$; $> 500 \mu\text{m}$; $> 355 \mu\text{m}$; $> 250 \mu\text{m}$; $> 180 \mu\text{m}$; $> 125 \mu\text{m}$; $> 90 \mu\text{m}$; $> 63 \mu\text{m}$), montados num agitador automático de peneiros (*AS200 Control* marca *Retsch*) (Figura 3.20) por via seca. Cada fracção separada por amostra foi cuidadosamente retirada do crivo correspondente e pesada de forma a ser possível o seu tratamento estatístico e granulométrico.



Figura 3.20: Agitador de peneiros (direita) e peneiros utilizados (esquerda) no ensaio, existentes no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental de Universidade de Évora.

O tratamento estatístico dos resultados foi realizado através de (1) construção de curvas cumulativas para um estudo granulométrico mais completo e a fim de se obterem os dados necessários ao cálculo de alguns parâmetros estatísticos caracterizadores do tipo de transporte e sedimentação dos materiais e (2) cálculo dos parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) de forma a se obterem comparações numéricas em sedimentos distribuídos ao longo de cada área estudada.

Para cada valor calculado, foram utilizados termos descritivos baseados nas designações e respetivos limites de valores, indicados em Folk e Ward (1957) e McMannus (1988). Os parâmetros utilizados são parâmetros gráficos, calculados a partir da resolução de fórmulas onde

entram valores percentuais directamente extraídos das curvas de frequência cumulativa, correspondendo ao diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose. Assim de acordo com McMannus (1988):

- ❖ O **diâmetro médio** (\emptyset_m) representa a melhor medida da dimensão média de uma amostra, sendo calculado a partir da média da dimensão das partículas distribuídas em 3 valores percentuais de acordo com a seguinte expressão:

$$\emptyset_m = \frac{(\emptyset_{16} + \emptyset_{50} + \emptyset_{84})}{3}$$

- ❖ O **desvio padrão** (σ) é uma medida do grau de dispersão das partículas em relação ao diâmetro médio, o que define o grau de calibração do sedimento de acordo com a seguinte expressão:

$$\sigma = \left[\frac{(\emptyset_{84} - \emptyset_{16})}{4} + \frac{(\emptyset_{95} - \emptyset_{5})}{6,6} \right]$$

Classificando-se segundo a escala do tipo geométrico proposta por Folk e Ward, (1957) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Classificação do tipo geométrico de grãos proposta por Folk e Ward, (1957).

Designação da Classe	Folk e Ward, 1957 (\emptyset)
Muito Bem Calibrada	< 0,35
Bem Calibrada	0,36 - 0,50
Moderadamente Bem Calibrada	0,51 - 0,071
Moderadamente Calibrada	0,72 - 1,00
Mal Calibrada	1,01 - 2,00
Muito Mal Calibrada	2,01 - 4,00
Extremamente Mal Calibrada	> 4,00

- ❖ A **assimetria** representa a distorção de uma distribuição granulométrica em relação ao seu ponto médio. Qualquer tendência da distribuição para se desviar da distribuição normal, conduz a diferenças mais ou menos acentuadas entre a mediana e o diâmetro médio. A assimetria adquire um valor positivo ou negativo consoante na amostra existe material mais fino ou mais grosseiro do que numa distribuição normal. Esta assimetria é representada por uma distribuição com pontas assimétricas que se estendem em direção, respectivamente, aos valores granulométricos mais positivos ou negativos (em termos de escala Ø), sendo calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$Assimetria = \frac{[\emptyset 16 + \emptyset 84 - (2 \times \emptyset 50)]}{2 \times (\emptyset 84 - \emptyset 16)} + \frac{[\emptyset 5 + \emptyset 95 - (2 \times \emptyset 50)]}{2 \times (\emptyset 95 - \emptyset 5)}$$

Classificando-se segundo a escala de assimetria proposta por Folk e Ward, (1957) (Tabela 3.2).

Tabela 2.2: Classificação do tipo de assimetria proposta por Folk e Ward, (1957).

Designação	Folk e Ward, 1957 (Ø)
Assimetria Negativa Marcada	- 1,00 a - 0,29
Assimetria Negativa	- 0,30 a - 0,11
Assimétrica	- 0,10 a 0,10
Assimetria Positiva	0,11 a 0,30
Assimetria Positiva Marcada	0,29 a 1,00

- ❖ A **curtose**, com menor significado granulométrico comparativamente aos restantes parâmetros, caracteriza uma distribuição em cume ou plana, quando comparada com uma distribuição normal. É dada pela razão entre a forma das pontas ou caudas da distribuição e a sua zona central, estando portanto o seu valor relacionado com o desvio padrão. Assim, curvas muito planas de sedimentos mal calibrados ou com curvas de frequência bimodais, são geralmente platicúrticas; curvas em cume de distribuições muito bem calibradas na parte central são, por outro lado, leptocúrticas, sendo calculada segundo a expressão:

$$Curtose Gráfica = \frac{\emptyset 95 - \emptyset 5}{2,44 \times (\emptyset 75 - \emptyset 25)}$$

Classificando-se segundo a escala de curtose proposta por Folk e Ward, (1957) (Tabela 3.3).

Tabela 3.3: Classificação do tipo de curtose proposta por Folk e Ward, (1957).

Designação da Classe	Folk e Ward, 1957 (ϕ)
Muito Platicúrtica	< 0,67
Platicúrtica	0,68 - 0,90
Mesocúrtica	0,91 - 1,11
Leptocúrtica	1,12 - 1,50
Muito Leptocúrtica	1,51 - 3,00
Extremamente Leptocúrtica	> 3,01

3.3.2.2. Classificação Textural das Amostras

Para a determinação das principais fracções granulométricas (areia, silte e argila) e classificação textural dos materiais sedimentares, foi colocada uma porção de cada amostra, original, entre 30 g a 100 g a reagir com peróxido de hidrogénio (H_2O_2), inicialmente diluído com uma concentração de 30 volumes, adicionando-se gradualmente essa solução às amostras à medida que a efervescência ia diminuindo de intensidade e aumentado progressivamente a sua concentração até ao estado puro com a concentração de 130 volumes. Este processo permitiu destruir a matéria orgânica existente nas amostras de forma a se poderem efectuar todas as posteriores análises. Finda a destruição da matéria orgânica das amostras, estas foram secas em banho de areia (*Harry Gestigker GmbH, Düsseldorf*) para posterior corte granulométrico a 2 mm, recorrendo a um crivo com a mesma malha do corte, e seguidamente novo corte a 63 μ m com novo crivo adequado.

Devido à granularidade em geral muito fina das amostras, este processo de separação foi realizado por via húmida, por se verificar uma elevada agregação após aquecimento, aliando-se ao facto de que segundo McManus (1988), as partículas de dimensão argilosa, fracção dominante em quase todas as amostras, poderem tornar-se estruturalmente alteradas quando sujeitas a temperaturas elevadas. As fracções retidas nos crivos foram secas e o seu peso registado, correspondendo às fracções balastro (> 2 mm) e areia (entre 2 mm e 63 μ m) que foram reservadas para posterior análise. A fracção inferior a 63 μ m foi reservada para posterior pipetagem, recorrendo-se a uma pipeta de Andersen (*Eijkelkamp, Agrisearch Equipment*) (Figura 3.21).

A fracção silto-argilosa foi, numa primeira fase, desfloculada com hexametáfosfato ((NaPO₃)₆) de sódio 0,1M. Procedeu-se à colheita das fracções silte + argila e argila após agitação da amostra segundo a *Lei de Stokes*, sendo as duas fracções secas a 105°C e pesadas. Com os valores das massas relativas a cada fracção, efectuaram-se os cálculos de modo a determinar as proporções silte (entre 63 e 2 µm) e argila (< 2 µm) e permitir a classificação das amostras por representação num diagrama triangular de *Shepard* (Pettijohn, 1975).



Figura 3.21: Pipeta de Andersen do Laboratório de Geociências da Universidade de Évora.

3.3.2.3. Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade

A densidade de amostras sólidas (densidade aparente – D_{ap}) é dada pela razão entre a massa da amostra pelo volume que esta ocupa. Por seu lado, a densidade das partículas (D_{part}) refere-se apenas à parte sólida da amostra, excluindo os poros e a percentagem em água. A densidade das partículas resulta então apenas da composição química da amostra e da estrutura dos minerais que a compõem.

A porosidade (P (%)) é dada pela relação entre a densidade aparente (D_{ap}) e a densidade das partículas (D_{part}), através da relação:

$$P (\%) = 1 - \left(\frac{D_{ap}}{D_{part}} \right) \times 100$$

A determinação da densidade aparente das amostras seguiu o seguinte procedimento: (1) colocação da amostra num copo de pequena dimensão e volume conhecido, (2) secagem do conjunto (copo + amostra) em estufa ventilada a 105°C e (3) pesagem após 24 horas, sendo a densidade aparente (D_{ap}) dada por:

$$D_{ap} = \frac{m (\text{seca a } 105^{\circ}\text{C})}{v_{copo}}$$

A densidade das partículas foi determinada pelo aquecimento e fervura de um balão volumétrico com uma massa de amostra conhecida, previamente seca a 105°C, em água destilada (Figura 3.22). Processo que permitiu a libertação do ar existente nos poros das amostras, levando à determinação da densidade das partículas a partir da relação:

$$D_{part} = \frac{m (\text{seca a } 105^{\circ}\text{C})}{v_{particulas}}$$



Figura 3.22: Ensaio de determinação da densidade das partículas.

3.3.2.4. Condutividade Hidráulica Saturada (Permeabilidade)

A condutividade hidráulica de um solo ou de um material sedimentar é a propriedade que expressa e classifica a dinâmica da água no mesmo. O conhecimento desta propriedade é essencial para estudos relacionados com o movimento subterrâneo da água, tais como o transporte de nutrientes ou elementos contaminantes, assim como a prevenção dos seus potenciais impactos no ambiente. Consiste num dos principais parâmetros intervenientes na determinação da capacidade de drenagem de um solo dependendo maioritariamente da sua textura e estrutura (Gonçalves *et al.*, 2013).

A determinação da condutividade hidráulica saturada foi realizada no permeâmetro (*Eijkelkamp Soil & Water*) existente no laboratório de Geociências da Universidade de Évora (Figura 3.23) segundo o seguinte procedimento: (1) colocação das amostras em anéis de corte, sendo que para as amostras com textura fina a sua introdução foi realizada através de cravação do anel na respectiva amostra, (2) saturação das amostras por capilaridade durante 24 horas, (3) introdução dos anéis no permeâmetro, (4) passagem de água pela amostra e contabilização da quantidade de água por unidade de tempo (um minuto) após estabilização do caudal de ensaio, processo repetido seis vezes tendo-se considerado o volume mais estável de água por unidade de tempo medido e (5) medição e registo de todos os parâmetros.

A determinação da condutividade hidráulica saturada (K_s) foi calculada segundo a relação:

$$K_s = \frac{V \times \phi RH}{A \times t \times h} \text{ (m/seg)}$$

Em que,

ϕRH – Comprimento do anel (m);

A – Área da secção do anel (m^2);

t – Tempo (s);

V – Volume constante de água que atravessa a amostra no intervalo de tempo considerado;

h (h_1-h_2) – Diferença de carga entre o tanque do permeâmetro e o interior do anel, onde h_1 – diferença de carga entre o tanque do permeâmetro e o interior do anel no início da leitura e h_2 - diferença de carga entre o tanque do permeâmetro e o interior do anel no final da leitura.



Figura 3.23: Amostras analisadas em anéis para determinação da permeabilidade e Permeâmetro do Laboratório de Geociências da Universidade de Évora.

3.3.3. Análises Mineralógicas

3.3.3.1. Estudo Mineralógico Através de Difracção de Raios-X

O estudo mineralógico através de difracção de raios-X foi realizado em amostras que foram sujeitas a duas etapas de pré-tratamento: (1) remoção de compostos orgânicos que quando presentes em teores significativos, podem produzir bandas de difracção que eventualmente provocam interferências nos difractogramas de raios-X, aumentando o fundo e "mascarando" por vezes picos correspondentes a determinados minerais argilosos. Essa remoção fez-se utilizando o método clássico de adição de peróxido de hidrogénio. A separação das partículas pertencentes à classe dimensional das argilas foi iniciada por uma separação prévia das fracções grosseira (arenosa) e fina (silto-argilosa), através de uma crivagem do material, por via húmida, por meio de um crivo de malha 63 µm (limite inferior das areias) (2) separação da fracção argilosa baseada na *Lei de Stokes*, aplicada à sedimentação de partículas por centrifugação. A velocidade e o tempo de rotação foram calculados mediante as características específicas da centrífuga utilizada (*Rotanta 460R, Hettich Zentrifugene*) assim como a quantidade de suspensão usada nos tubos. A separação da fracção argilosa fez-se por ciclos sucessivos de centrifugação, sempre antecedida de dispersão da amostra em ultra-sons. A fracção argilosa de cada amostra foi utilizada na produção de um agregado orientado, montado sobre uma lâmina de vidro. A análise da fracção argilosa e da amostra global foi realizada no Laboratório *HERCULES - Herança Cultural, Estudos e Salvaguarda*, através de um difractómetro de raios-X (*Bruker D8 DISCOVER* com arquitetura *DAVINCI*) (Figura 3.24). Cada lâmina foi sujeita a duas passagens sucessivas no difractómetro de raios-X: a primeira em estado natural (seca a temperatura ambiente), a segunda após glicolação, que consistiu em encerrar cada amostra em ambiente saturado de glicerol, num exsiccador, durante 24 horas a em estufa a 60°C, seguido da secagem da lâmina à temperatura ambiente (Figura 3.25).



Figura 3.24: Difractómetro de Raios-X do Laboratório Hércules - Herança Cultural, Estudos e Salvaguarda da Universidade de Évora.

As condições de análise foram as seguintes: ampola de cobre (Cu), varrimento de 3° a 75° , com passos de $0,05^\circ$ em 2θ e 1s de contagem por ponto. Foi usado um detector linear *Lynxeye* e um espelho *Gobel*.

A identificação e caracterização dos minerais argilosos baseou-se principalmente nos métodos propostos por Brown *et al.*, (1980), Longstaffe (1981), Velde (1995) e, sobretudo, Moore *et al.*, (1989), tendo-se feito a identificação através do *software X'Pert Highscore*. A análise dos restantes minerais, particularmente de minerais primários, óxidos e sulfuretos associados aos elementos metálicos em estudo, foi realizada em amostras mais globais, representadas pela fracção inferior a $63\ \mu\text{m}$, o que corresponde, nos materiais sedimentares às fracções siltosa e argilosa. Estas amostras foram reduzidas a pó e colocadas em porta-amostra (Figura 3.25) que foi directamente colocado no difractómetro. As condições de trabalho para este tipo de amostras foram as seguintes: ampola de Cu, varrimento de 3° a 75° , com passos de $0,05^\circ$ em 2θ e 1s de contagem por ponto. Foi usado um detector linear *Lynxeye*. A identificação destas fases minerais fez-se com base no *software X'Pert Highscore*.

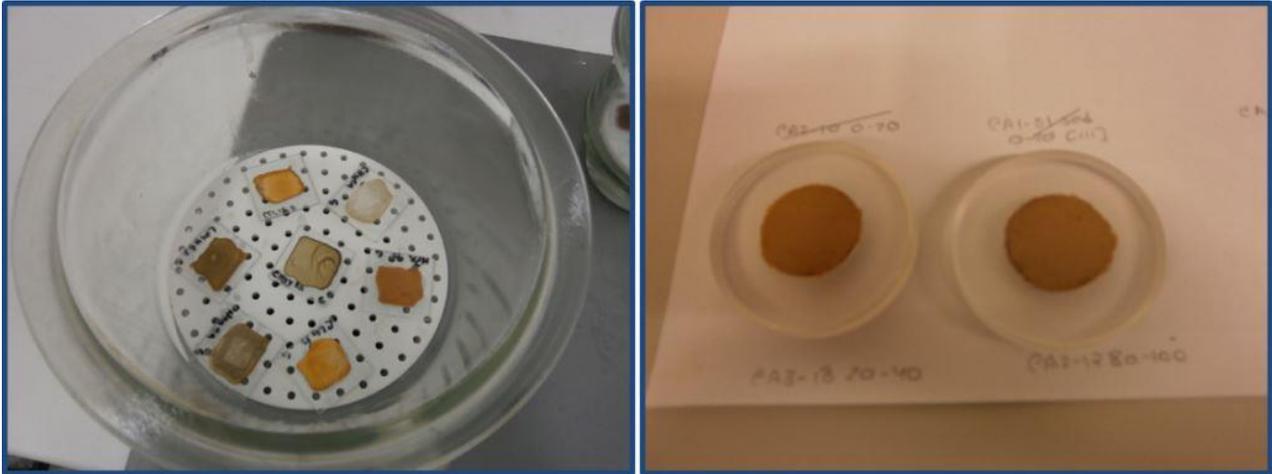


Figura 3.25: Lâminas de argila após glicolação (direita) e amostras em pó ($< 63 \mu\text{m}$) em porta amostra (esquerda) para análise DRX.

Tendo em conta distintos pontos de interesse dos minerais argilosos dentro da fracção mineral, o seu estudo nas aluviões em diferentes fracções consistiu (1) na identificação dos principais grupos de minerais e de estruturas interestratificadas e, sempre que possível, na distinção de variedades, (2) na caracterização dos graus de cristalinidade, da composição química e de alguns aspectos estruturais e (3) na determinação da percentagem relativa de cada grupo mineral. Estes parâmetros foram obtidos através de uma análise exaustiva por difractometria de raios-X (DRX).

Esta quantificação foi realizada tendo em consideração que não existem verdadeiras análises quantitativas em minerais argilosos (Thorez, 1976; Lopez G. *et al.*, 1996), considerando-se assim os métodos propostos por diversos autores em análises por DRX, nos quais se incluem os de Chamley, 1971; Verrecchia *et al.*, 1996; Brattli 1997; Martin-Garcia *et al.*, 1997; Moore *et al.*, 1997; Van Keer *et al.*, 1998; Hillier (1996a, 1996b, 1995), correspondendo apenas a análises semi-quantitativas, onde as percentagens fornecidas ocorrem com alguns erros dependentes de vários factores (nos quais se incluem, a qualidade do difractograma, a maior ou menor cristalinidade dos minerais, a sobreposição de reflexões, etc.). Assim, dever-se-ão encarar estes valores como uma aproximação das proporções relativas das várias espécies minerais existentes nas amostras. A análise semi-quantitativa realizada neste trabalho, baseada na relação entre a intensidade dos máximos de difracção específicos de cada mineral e os respectivos teores, seguiu os princípios gerais propostos por Moore *et al.*, (1997) e Hillier (1996a, 1996b, 1995).

A análise semi-quantitativa por difracção de raios-X é um processo complexo requerendo atenção a muitos detalhes, tendo desde há longa data sido objecto de inúmeras discussões. As técnicas clássicas (Lopez Galindo *et al.*, 1996) têm provado a sua eficácia na semi-quantificação dos minerais, embora o grau de precisão varie consideravelmente, dependendo de erros inerentes ao processo e erros causados pela relativa complexidade do conjunto mineralógico (Moore *et al.*, 1997). Qualquer que seja a técnica utilizada, a estimativa semi-quantitativa dos minerais argilosos baseia-se na relação directa entre a intensidade de certos máximos de difracção específicos para cada espécie mineral e os teores das mesmas. Contudo, esta intensidade não depende apenas do teor de cada mineral, mas também da sua composição química. (por ex. o teor em Fe da clorite interfere na intensidade dos seus picos de difracção) e da orientação da amostra (Gomes, 1988; Moore *et al.*, 1997). Dada a influência que os defeitos estruturais e a dimensão do grão podem ter na intensidade dos máximos de difracção dos minerais argilosos, é corrente a utilização das áreas dos picos em vez das suas alturas, na estimativa das respectivas proporções (Gomes, 1988).

❖ Cálculo da Área das Reflexões

A área da reflexão seleccionada para cada mineral, foi obtida por multiplicação da sua altura pela largura a meia altura. As áreas dos picos foram determinadas pela multiplicação da altura do pico pela largura a meia altura, (Moore *et al.*, 1997), sendo este o método clássico considerado como o mais rápido, eficaz e com maior eliminação de erros, fornecendo assim os valores mais próximos da realidade. Para cada fase mineral, a escolha da reflexão a usar no cálculo semi-quantitativo, baseou-se principalmente na sua intensidade e individualização relativamente às reflexões dos restantes minerais. Contudo, de modo a diminuir os erros inerentes a este processo analítico, (1) evitou-se o cálculo quantitativo com base em reflexões situadas nas zonas dos ângulos mais baixos, onde existem maiores interferências, (2) seleccionaram-se picos o mais próximo possível nos registos, evitando assim diferenças acentuadas na orientação preferencial dos minerais, (3) todas as medições foram feitas no mesmo difractograma, obtido a partir de amostras glicoladas e (4) o fundo de cada registo foi limitado por linhas direitas sob a base de cada pico. Na preparação das amostras e seguindo os critérios propostos por Moore *et al.*, (1997), houve o cuidado de a amostra ter dimensão e espessura suficientes na lâmina, por forma a ser atingida pelos feixes correspondentes aos mais baixos e mais altos ângulos de difracção.

A área dos picos relativos à clorite e caulinite foi medida em conjunto nas reflexões Cl(004) e C(002) situadas, respectivamente, a 3,58 Å e 3,54 Å. A área da clorite foi deduzida a partir da sua determinação no pico Cl(001) a 14 Å, ou no pico Cl(003) a 4,7 Å tendo-se posteriormente multiplicado o valor destas áreas pelo quociente dos respectivos factores de intensidade, Cl(004) / Cl(001) no primeiro caso e Cl(003) / Cl(001) no segundo – método proposto por Moore *et al.*, (1997). Em amostras com maior quantidade de caulinite, foi adaptada

uma técnica proposta por Hillier (1996a, 1996b, 1995), que consiste na dedução à área do conjunto $C(004) + C(002)$, da área do pico $C(003)$ a $2,39 \text{ \AA}$, após multiplicação pelo quociente dos respectivos factores intensidade ($C(002) / C(003)$).

❖ Cálculo dos Factores Intensidade

Os factores intensidade foram baseados na intensidade unitária de um mineral seleccionado como base de normalização. Neste estudo foi tomado como referência a reflexão $I(003)$, à qual se atribuiu o factor 1. O cálculo destes factores é baseado no pressuposto que a intensidade das reflexões $(00l)$ estão relacionadas com o teor do mineral na mistura (Moore *et al.*, 1997). Os factores intensidade utilizados neste trabalho foram maioritariamente extraídos de Moore *et al.*, (1997) para as condições de radiação $\text{CuK}\alpha$. Dada a necessidade de, em alguns casos, se utilizarem reflexões não apresentadas por estes autores, os factores intensidade correspondentes foram obtidos por extrapolação (Fonseca *et al.*, 2007) a partir dos valores propostos por Hillier (1996a, 1996b, 1995) para as condições de radiação $\text{CoK}\alpha$ (Tabela 3.4).

No cálculo semi-quantitativo das estruturas interestratificadas irregulares seleccionaram-se, sempre que possível, os picos com a menor interferência relativamente aos minerais simples e cuja posição é independente da composição química e da taxa de interestratificação. Para a determinação da área correspondente, a individualização destes picos por eliminação de sobreposições com reflexões de outros minerais, fez-se segundo métodos descritos por Moore *et al.*, (1997).

Tabela 3.4: Factores intensidade usados no cálculo semi-quantitativo dos minerais argilosos nas aluviões, para condições de radiação CuK α . (Valores extraídos de Fonseca et al., 2007)

Mineral	Reflexão	Factor de Intensidade
Illite	(001)	1,3
	(002)	0,48
	(003)	1
Clorite	(001)	0,96
	(002)	4,6
	(003)	1,12
	(004)	4,6
Caulinite	(001)	3,18
	(002)	2,18
	(003)	0,21
Goethite	-	10,4
Gibbsite	-	13
Vermiculite	(001)	5,2
Interestratificados		
Clorite	(004)/(001)	4,8
Caulinite	(002)/(003)	10,4

3.3.3.2. Estudo Petrográfico e Mineralógico da Fracção Arenosa

O estudo petrográfico e mineralógico da fracção arenosa foi realizado após a identificação dos principais contaminantes na área em estudo, seleccionando-se assim 12 amostras apresentando teores mais elevados em Zn (0.07 – 15.19%) e Fe (0.25 – 15.31%). Este estudo foi realizado pela Prof. Dr.^a Isabel Ribeiro da Costa, docente da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e membro da equipa do projecto onde se insere este trabalho.

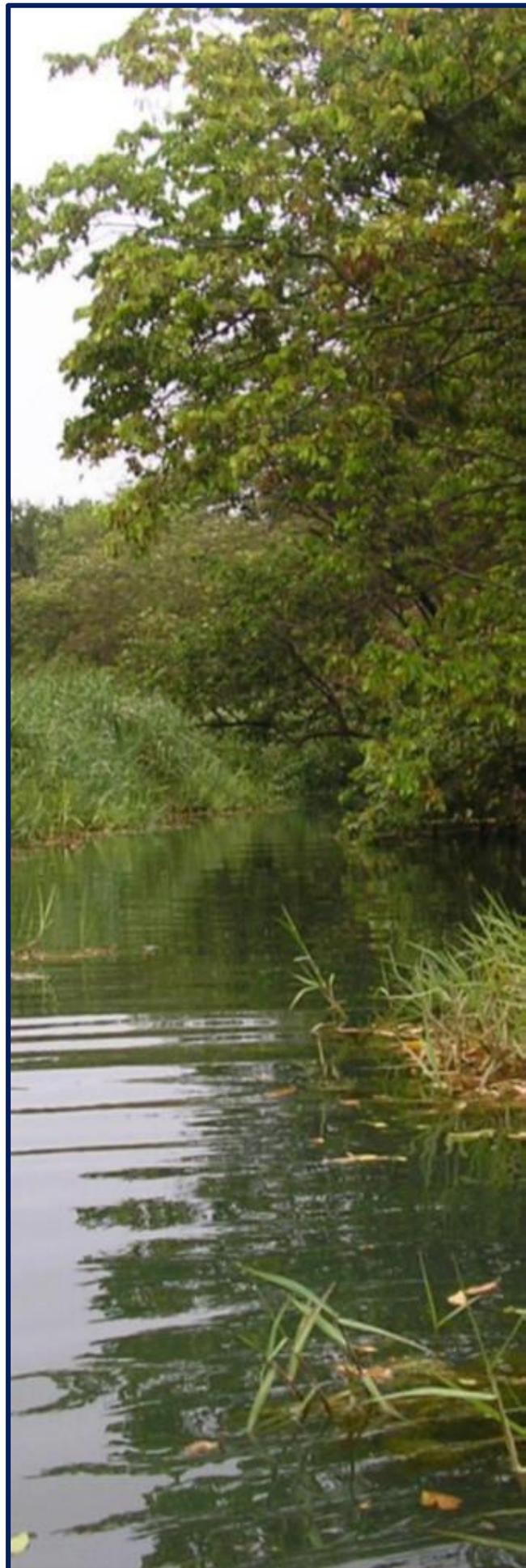
O estudo foi realizado mediante observação das fases minerais em lâmina polida através de microscopia óptica e, de forma a complementar o estudo petrográfico, foi realizada a identificação das fases minerais presentes nas amostras com recurso a micro-sonda electrónica (*JEOL JXA-8500*) – (Figura 3.26), nas instalações de S. Mamede de Infesta do LNEG (*Laboratório Nacional de Energia e Geologia*).

A identificação expedita das fases minerais observadas foi efectuada em modo de dispersão de energias (EDS), e a análise quantitativa das fases mais relevantes foi realizada em modo de dispersão de comprimentos de onda (WDS). Para alguns dos casos obtiveram-se também imagens de alta-resolução (electrões retro-difundidos) de forma a ilustrar alguns detalhes mineralógicos.



Figura 3.26: Micro-sonda electrónica presente nas instalações de S. Mamede de Infesta do LNEG, utilizada no estudo petrográfico.

4 Resultados



4. Resultados

Considerando o elevado número de amostras recolhidas durante as quatro campanhas de amostragem optou-se por apresentar primeiramente os resultados obtidos, e um primeiro tratamento estatístico, reservando-se a discussão, correlação entre resultados laboratoriais e compreensão do comportamento geoquímico dos elementos metálicos para o capítulo seguinte, o que permitirá a ponderação da/s estratégia/a de remediação da zona em estudo.

A mobilidade, solubilização e deposição/precipitação de metais é afetada por diversos factores, tais como o pH, o Eh (potencial redox), a temperatura e distintos processos biológicos. Estes factores, mediante complexas reacções químicas, determinam as formas químicas em que os metais se encontram ou são introduzidos no meio (especiação geoquímica de metais). As características físicas do meio, tais como a granulometria (heterogeneidade textural), a composição mineralógica, o teor em matéria orgânica da matriz do solo/sedimento, a interação de fluídos (água intersticiais, subterrâneas e superficiais) com as partículas sólidas e a actividade orgânica, são também parâmetros relevantes no comportamento geoquímico e mobilidade de metais. Mediante as condições do meio em que se encontram, estes parâmetros podem variar tanto espacialmente como temporalmente, influenciando directamente a solubilidade e biodisponibilidade dos elementos metálicos (Siegel, 2002). Torna-se assim, indispensável a caracterização física e química em estudos de avaliação do grau de contaminação através de metais pesados (seu impacto num meio), e de avaliação das medidas mais adequadas para a reabilitação da zona em estudo.

4.1. Análises Químicas

4.1.1. Parâmetros Físico-Químicos (pH, Eh e Condutividade Eléctrica)

O pH (potencial de hidrogénio), o Eh (potencial de oxidação/redução) e a condutividade eléctrica correspondem aos parâmetros físico-químicos geralmente lidos *in-situ*. O pH representa a concentração de iões de H⁺, indicando condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, mas também em materiais sólidos associando os seus valores à dissolução das rochas, à absorção de gases da atmosfera, à oxidação da matéria orgânica e à fotossíntese. O destaque para o pH refere-se à sua grande influência em processos físico-químicos e biológicos que ocorrem nos corpos hídricos. De forma geral, o pH determina o equilíbrio dos compostos químicos, uma vez que a sua alteração afeta o comportamento/mobilidade dos elementos metálicos (Ribeiro, 2010).

O potencial de oxidação/redução (Eh) corresponde à tendência de uma espécie química ganhar ou perder electrões, sendo reduzida ou oxidada, respectivamente. Quando aplicada a sistemas naturais, nomeadamente águas, sedimentos ou solos, permite inferir a disponibilidade de electrões nesses sistemas, possibilitando uma rápida caracterização do grau redução do sistema e compreender a estabilidade dos compostos que regulam a disponibilidade de nutrientes e metais (DeLaune *et al.*, 2005).

A condutividade eléctrica é determinada pelas substâncias dissolvidas que se dissociam em aniões e catiões, referindo-se assim, à capacidade de conduzir a corrente eléctrica. São diversos os factores que podem influenciar a composição iónica, logo, a condutividade eléctrica em corpos hídricos, dependendo de diversos parâmetros tais como a geologia da bacia de drenagem, a sua vulnerabilidade para meteorizar, a temperatura do meio e o sistema pluviométrico. As diferenças geoquímicas dos afluentes de um rio principal podem ser avaliadas facilmente com recurso a medidas de condutividade eléctrica, podendo-se assim inferir sobre as principais fontes dos materiais dissolvidos na coluna de água desse curso principal. Assim, águas muito puras são resistentes à corrente eléctrica apresentando condutividades eléctricas baixas, sendo este um parâmetro importante para a identificação de fontes poluidoras (Ribeiro, 2010).

4.1.1.1. Águas Superficiais

Todos os valores referentes as leituras dos parâmetros físico-químicos nas águas recolhidas nas campanhas de Novembro de 2013 e Março de 2014 encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabelas AI.2 e AI.3).

Não existindo valores de referência na legislação Brasileira relativamente à condutividade, adoptaram-se os valores de referência admitidos pela *Norma Comunitária Europeia* de acordo com a Directiva 98/83/CE, deceto-lei nº 243 de 2001. Assim a condutividade é admitido como valor máximo recomendável (VMR) $2,5 \text{ mS/cm}^{-1}$ (Mendes, B. *et al.*, 2004).

A tabela 4.1 sintetiza os dados de alguns parâmetros estatísticos nexos analisados na coluna de água, permitindo caracterizar o ambiente, com pH aproximadamente neutro, oxidante (Eh) e apresentando condutividades eléctricas médias abaixo do limite considerado ($2,5 \text{ mS/cm}^{-1}$) e superiores ao mesmo no seu valor máximo na época das chuvas (Março de 2014) e superiores ao VMR ($2,5 \text{ mS/cm}^{-1}$) na época seca (Novembro de 2013). O ambiente caracteriza-se, assim por um meio oxigenado, onde o pH das águas apresenta variações sazonais muito pequenas e o material dissolvido presente depende directamente do influxo pluvial.

Tabela 4.1: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH, Eh e Condutividade Eléctrica medidos nas amostras recolhidas na coluna de água do córrego Consciência, nas campanhas de Novembro de 2013 e Março de 2014.

Novembro
2013

Amostra	pH	Eh	Cond. Eléctrica (mS.cm ⁻¹)
Máximo	9,96	303,0	20,50
Mínimo	5,00	86,0	0,70
Média	6,66	193,0	6,10
Mediana	6,67	209,0	1,70

Março
2014

Amostra	pH	Eh	Cond. Eléctrica (mS.cm ⁻¹)
Máximo	7,24	175,0	0,51
Mínimo	6,17	44,0	0,02
Média	6,63	120,6	0,20
Mediana	6,56	135,0	0,18

4.1.1.2. Águas Intersticiais

Foram ainda determinados os valores de pH das águas intersticiais das aluviões que possuíam elevado teor em humidade, encontrando-se nas tabelas 4.2 e 4.3 os valores correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos, determinados a partir dos dados totais representados em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.4).

Nas amostras de água intersticial, recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 não se realizaram medições de condutividade eléctrica, no entanto, comparando os valores de pH nas áreas A1, A2 e A3, não se verificam, em termos médios, diferenças muito significativas nestes valores entre os dois períodos sazonais, verificando-se apenas um ligeiro aumento no valor do pH na área A3 na campanha de Março de 2014. No que se refere aos valores da condutividade eléctrica, medidos nas amostras da campanha de Março de 2014, verificam-se valores superiores ao VMR (2,5 mS/cm⁻¹) na área A2 e inferiores ao mesmo nas áreas A1 e A3. Os valores medidos podem estar relacionados com o elevado teor em metais presentes neste local, sob a forma dissolvida.

Tabela 4.2: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH medidos nas amostras de águas intersticiais das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

Set/Nov 2013		pH			pH
Área A1		N = 59	Área A3		N = 6
Máximo	7,74	Máximo	6,57		
Mínimo	1,36	Mínimo	6,28		
Média	5,19	Média	6,43		
Mediana	6,37	Mediana	6,43		
Área A2		N = 3			
Máximo	6,07				
Mínimo	5,64				
Média	5,90				
Mediana	5,99				

Tabela 4.3: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH e condutividade eléctrica medidos nas amostras de águas intersticiais das aluviões recolhidas nas campanhas de Março de 2014.

Março 2014		pH	Cond. Eléctrica (mS.cm ⁻¹)			pH	Cond. Eléctrica (mS.cm ⁻¹)
Área CA1		N = 64		Área CA3		N = 6	
Máximo	7,48	6,78	Máximo	7,74	1,28		
Mínimo	3,74	0,16	Mínimo	6,55	0,26		
Média	6,36	1,07	Média	7,04	0,69		
Mediana	6,65	0,44	Mediana	6,97	0,75		
Área CA2		N = 1					
	4,98	2,75					

4.1.1.3. Aluviões

Determinaram-se ainda os valores de pH e Eh das aluviões, encontrando-se todos os valores analisados em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.5). Nas tabelas 4.4 e 4.5 estão representados os valores correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos.

Nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 verifica-se que os valores de pH máximos são essencialmente neutros (área A1 e A3) ou quase neutros nas áreas A0 e A2, verificando-se valores mínimos ácidos em todas as áreas (com pH da ordem dos 5) e valores médios em todas as áreas, ligeiramente ácidos ou muito perto do neutro (Tabela 4.4). Nas campanhas de Março e Setembro de 2014 verificaram-se igualmente valores máximos neutros (área A2 e A3) e alcalinos na área CA1, valores mínimos ácidos em todas as áreas, sendo os valores médios e medianos, valores pouco ácidos (área A2) ou muito perto do neutro (áreas A1 e A3) (Tabela 4.5). Os valores de Eh indicam a presença de um ambiente oxidante, quer nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, quer na campanha de Março de 2014, destacando-se os valores mínimos redutores nas campanhas de Setembro e Novembro 2013 na área CA1 e, na campanha de Março de 2014 nas áreas A1 e A3, registando-se uma notória diminuição dos valores de Eh neste período da campanha.

Tabela 4.4: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH e Eh medidos nas aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

Set/Nov 2013	pH	Eh (mV)		pH	Eh (mV)
Área A0		N = 11	Área A2		N = 19
Máximo	6,32	309	Máximo	6,60	320
Mínimo	4,99	71	Mínimo	5,48	132
Média	5,67	163	Média	6,14	231
Mediana	5,53	138	Mediana	6,12	226
Área A1		N = 105	Área A3		N = 23
Máximo	7,48	554	Máximo	7,45	359
Mínimo	4,84	-142	Mínimo	4,66	3
Média	5,94	153	Média	6,16	237
Mediana	5,87	134	Mediana	6,24	240

Tabela 4.5: Valores máximos, mínimos, médios e medianos para o pH e Eh medidos nas aluviões recolhidas nas campanhas de Março e Setembro de 2014.

Mar/Set 2014	pH	Eh (mV)		pH	Eh (mV)
Área A1		N = 78	Área A3		N = 7
Máximo	8,67	329	Máximo	6,82	228
Mínimo	3,08	-170	Mínimo	5,87	-98
Média	6,21	22	Média	6,40	35
Mediana	6,38	-31	Mediana	6,32	7
Área A2		N = 7			
Máximo	6,56	363			
Mínimo	4,28	102			
Média	5,55	218			
Mediana	5,87	226			

4.1.2. Química da Fracção Dissolvida

4.1.2.1. Águas Superficiais

A química da fracção dissolvida foi determinada através da leitura em ICP-OES das águas, previamente acidificadas em campo, após a sua filtração. Todos os resultados provenientes dessa análise encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.6), sendo que a análise estatística de alguns parâmetros se encontram nas tabelas 4.6 e 4.7 de acordo com as épocas sazonais em que foram recolhidas.

Da comparação entre os resultados obtidos nas duas épocas sazonais pode-se observar uma notória diminuição da concentração, na maioria dos elementos, na campanha de Março de 2014, podendo este efeito estar associado à diluição destes elementos devido ao aumento pluviométrico e afluência de água. Ocorrem, no entanto exceções, sendo o caso do cobre que aumenta a sua concentração média e máxima relativamente às campanhas de Setembro e Novembro de 2013, assim como o potássio que, possuindo um valor máximo muito elevado ($40,502 \text{ mg.l}^{-1}$), influencia na média do elemento nesta campanha que se sobrepõe ao valor médio determinado para as campanhas de 2013. Tratando-se de um comportamento de um elemento isolado, poder-se-á considerar como um valor pontual da amostra recolhida e não do comportamento geoquímico geral do elemento.

Tabela 4.6: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fracção dissolvida das águas recolhidas em Setembro e Novembro de 2013.

	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
Al (mg.l⁻¹)	0,403	< 0,001	0,211	0,170
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l⁻¹)	191,211	5,874	31,257	13,439
Cd (mg.l⁻¹)	0,674	0,010	0,199	0,058
Co (mg.l⁻¹)	0,191	< 0,001	0,048	0,017
Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,004	0,004	0,004
Fe (mg.l⁻¹)	1,2622	< 0,001	0,486	0,273
K (mg.l⁻¹)	13,523	1,370	5,098	3,741
Mg (mg.l⁻¹)	394,606	2,185	42,260	12,685
Mn (mg.l⁻¹)	31,274	< 0,001	3,585	1,176
Na (mg.l⁻¹)	41,284	2,846	7,442	5,010
Ni (mg.l⁻¹)	0,152	< 0,001	0,067	0,032
Pb (mg.l⁻¹)	0,022	< 0,001	0,022	0,022
Zn (mg.l⁻¹)	321,228	< 0,001	33,772	2,565

Tabela 4.7: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fração dissolvida das águas recolhidas em Março de 2014.

	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
Al (mg.l⁻¹)	0,092	< 0,001	0,054	2,445
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l⁻¹)	20,712	0,003	8,082	4,681
Cd (mg.l⁻¹)	0,032	< 0,001	0,011	0,356
Co (mg.l⁻¹)	0,010	< 0,001	0,005	< 0,001
Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l⁻¹)	0,101	< 0,001	0,032	1,878
Fe (mg.l⁻¹)	14,875	< 0,001	5,392	3,841
K (mg.l⁻¹)	40,502	0,001	5,595	0,811
Mg (mg.l⁻¹)	31,227	0,048	8,880	1,648
Mn (mg.l⁻¹)	2,042	< 0,001	0,576	0,496
Na (mg.l⁻¹)	5,909	0,005	4,060	2,879
Ni (mg.l⁻¹)	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l⁻¹)	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l⁻¹)	22,469	0,004	4,305	3,841

4.1.2.2. Águas Intersticiais

Foram também determinados os teores em elementos dissolvidos nas águas intersticiais dos depósitos aluvionares. Os valores totais dessa determinação encontram-se em Anexo (Anexo AI -Tabela AI.7), sendo apresentados seguidamente nas tabelas 4.8, 4.9 e 4.10 alguns parâmetros estatísticos calculados com base nos resultados obtidos para as águas intersticiais recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e na tabela 4.10 os parâmetros correspondentes à campanha de Março de 2014.

Tabela 4.8: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A0 e A1.

Set/Nov 2013	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A0 N = 6					Área A1 N = 71			
Al (mg.l ⁻¹)	0,280	0,122	0,164	0,145	Al (mg.l ⁻¹)	1,498	0,001	0,170	0,065
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	As (mg.l ⁻¹)	0,028	< 0,01	0,017	0,012
Ca (mg.l ⁻¹)	11,089	< 0,001	3,966	2,198	Ca (mg.l ⁻¹)	528,533	< 0,001	79,854	14,818
Cd (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	Cd (mg.l ⁻¹)	3,238	< 0,001	0,750	0,367
Co (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	Cr (mg.l ⁻¹)	1,323	< 0,001	0,162	0,033
Cu (mg.l ⁻¹)	0,021	0,006	0,013	0,012	Cu (mg.l ⁻¹)	3,325	< 0,001	0,225	0,013
Fe (mg.l ⁻¹)	9,680	0,209	2,667	1,067	Fe (mg.l ⁻¹)	295,655	< 0,001	16,603	1,543
K (mg.l ⁻¹)	2,852	0,613	1,527	1,478	K (mg.l ⁻¹)	27,490	0,183	6,705	6,762
Mg (mg.l ⁻¹)	4,708	0,628	1,799	1,472	Mg (mg.l ⁻¹)	1589,032	0,574	138,844	15,074
Mn (mg.l ⁻¹)	0,637	0,182	0,432	0,481	Mn (mg.l ⁻¹)	140,351	0,015	15,176	1,400
Na (mg.l ⁻¹)	7,197	3,195	4,853	4,619	Na (mg.l ⁻¹)	145,478	1,341	18,395	7,626
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	Ni (mg.l ⁻¹)	0,631	< 0,001	0,147	0,068
Pb (mg.l ⁻¹)	0,007	< 0,001	0,004	0,003	Pb (mg.l ⁻¹)	1,280	< 0,001	0,157	0,088
Zn (mg.l ⁻¹)	1,816	0,245	1,015	1,024	Zn (mg.l ⁻¹)	733,820	0,081	95,028	2,283

Tabela 4.9: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A2 e A3.

Set/Nov 2013	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A2 N = 9					Área A3 N = 9			
Al (mg.l ⁻¹)	3,498	0,011	0,749	0,190	Al (mg.l ⁻¹)	0,005	< 0,001	0,005	0,005
As (mg.l ⁻¹)	0,053	< 0,01	0,045	0,045	As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	553,435	276,996	394,917	414,211	Ca (mg.l ⁻¹)	505,029	4,596	116,133	67,493
Cd (mg.l ⁻¹)	2,436	< 0,001	0,813	0,731	Cd (mg.l ⁻¹)	6,311	0,013	1,034	0,362
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	Co (mg.l ⁻¹)	0,035	0,035	0,035	0,035
Cr (mg.l ⁻¹)	1,379	< 0,001	0,364	0,048	Cr (mg.l ⁻¹)	0,139	< 0,001	0,067	0,070
Cu (mg.l ⁻¹)	0,527	0,008	0,130	0,029	Cu (mg.l ⁻¹)	0,060	0,004	0,029	0,028
Fe (mg.l ⁻¹)	29,301	0,029	7,010	0,726	Fe (mg.l ⁻¹)	5,053	< 0,001	3,536	3,536
K (mg.l ⁻¹)	60,610	12,730	22,644	19,120	K (mg.l ⁻¹)	23,745	3,182	7,566	5,534
Mg (mg.l ⁻¹)	1753,112	409,773	885,742	645,701	Mg (mg.l ⁻¹)	223,846	13,859	50,163	28,948
Mn (mg.l ⁻¹)	176,558	28,273	78,838	54,928	Mn (mg.l ⁻¹)	45,066	4,521	19,816	18,423
Na (mg.l ⁻¹)	217,900	60,630	108,279	94,086	Na (mg.l ⁻¹)	60,577	0,112	21,129	17,787
Ni (mg.l ⁻¹)	0,721	0,147	0,390	0,376	Ni (mg.l ⁻¹)	0,181	< 0,001	0,041	0,019
Pb (mg.l ⁻¹)	0,689	0,049	0,301	0,184	Pb (mg.l ⁻¹)	104,347	104,347	104,347	104,347
Zn (mg.l ⁻¹)	743,418	57,260	327,913	280,119	Zn (mg.l ⁻¹)	223,997	6,790	47,723	29,083

Tabela 4.10: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos químicos presentes na fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões recolhidas na campanha de Março de 2014, nas áreas A1, A2 e A3.

Março 2014	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área CA1 N = 64					Área CA3 N = 6			
Al (mg.l⁻¹)	1,935	< 0,001	0,190	0,097	Al (mg.l⁻¹)	0,178	< 0,001	0,159	0,176
As (mg.l⁻¹)	1,310	< 0,01	0,448	0,434	As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l⁻¹)	490,093	1,818	70,006	26,391	Ca (mg.l⁻¹)	158,748	6,435	80,674	92,101
Cd (mg.l⁻¹)	2,990	< 0,001	0,293	0,020	Cd (mg.l⁻¹)	0,031	< 0,001	0,031	0,031
Co (mg.l⁻¹)	0,926	< 0,001	0,050	0,011	Co (mg.l⁻¹)	0,025	0,001	0,015	0,016
Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l⁻¹)	0,399	< 0,001	0,044	0,012	Cu (mg.l⁻¹)	0,014	< 0,001	0,014	0,014
Fe (mg.l⁻¹)	14,129	< 0,001	2,080	0,692	Fe (mg.l⁻¹)	1,744	0,031	0,443	0,185
K (mg.l⁻¹)	384,391	0,959	13,112	6,024	K (mg.l⁻¹)	27,515	3,013	13,156	9,209
Mg (mg.l⁻¹)	1021,280	1,729	111,634	16,051	Mg (mg.l⁻¹)	171,910	2,689	52,171	38,445
Mn (mg.l⁻¹)	61,803	0,003	9,428	5,406	Mn (mg.l⁻¹)	8,134	0,380	3,621	2,375
Na (mg.l⁻¹)	571,339	5,211	61,692	10,858	Na (mg.l⁻¹)	718,105	3,597	174,130	16,373
Ni (mg.l⁻¹)	0,293	< 0,001	0,144	0,159	Ni (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l⁻¹)	0,658	< 0,001	0,131	0,030	Pb (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l⁻¹)	892,207	0,015	70,163	0,661	Zn (mg.l⁻¹)	1,858	0,171	0,757	0,584
Área CA2 N = 1									
Teores Obtidos									
Al (mg.l⁻¹)	< 0,001	Fe (mg.l⁻¹)	68,603						
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	K (mg.l⁻¹)	8,340						
Ca (mg.l⁻¹)	201,669	Mg (mg.l⁻¹)	279,840						
Cd (mg.l⁻¹)	0,017	Mn (mg.l⁻¹)	16,475						
Co (mg.l⁻¹)	0,269	Na (mg.l⁻¹)	71,425						
Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	Ni (mg.l⁻¹)	0,144						
Cu (mg.l⁻¹)	0,031	Pb (mg.l⁻¹)	0,010						
		Zn (mg.l⁻¹)	94,610						

Observando os valores obtidos para as campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas em estudo, relativamente à área considerada como *background* geoquímico (área A0), verifica-se um enriquecimento médio em cádmio, crómio, cobre, manganês e em elementos alcalinos (potássio e sódio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio). Destacam-se ainda, em todas

as áreas elevados valores médios em zinco e, na área A3, também em chumbo. O arsénio ocorre apenas, com teores significativos, nas águas intersticiais das aluviões das áreas A1 e A2.

Comparando os valores do material dissolvido das águas intersticiais das aluviões das campanhas de Setembro e Novembro de 2013 com a campanha de Março de 2014, é possível verificar que o cobalto e os elementos alcalinos e alcalino terrosos tendem a aumentar na campanha de Março, enquanto a maioria dos metais (cádmio, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) apresentam teores médios mais elevados nas campanhas do período pós-seca (Setembro e Novembro de 2013).

Esta tendência para o aumento dos teores em elementos alcalinos e alcalino terrosos nas águas intersticiais na campanha pós-chuva (Março de 2014), poder-se-á dever à dissolução das camadas ricas em sulfatos formadas durante a época seca próximas do córrego Consciência (Figura 4.1), ou ao efeito de diluição, fornecendo assim uma adição sazonal destes elementos.



Figura 4.1: Acumulação de sulfatos junto ao córrego Consciência (Época Seca).

4.1.3. Avaliação do Grau de Contaminação através de Digestão Parcial (Aqua Regia)

4.1.3.1. Aluviões

Os teores obtidos no processo de digestão parcial referente a todas as amostras analisadas encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.8), apresentando-se em seguida os valores máximos, mínimos, médios e medianos resultantes da análise dos dados totais para as campanhas de Setembro e Novembro de 2013 (Tabelas 4.11 e 4.12), Março e Setembro de 2014 (Tabela 4.13).

Comparando os valores das campanhas de Setembro e Novembro de 2013 das restantes áreas relativamente à área A0 (área considerada como *background* geoquímico), podemos observar teores médios mais elevadas em todas as áreas em arsénio, cádmio, cobre, manganês, níquel, chumbo e zinco, e inferiores em cobalto e ferro na área A1 mas superiores nas restantes áreas (A2 e A3). Nas campanhas de Março e Setembro de 2014, correspondentes à época pós-chuva, verifica-se em média elevados teores, relativamente à área A0, em arsénio, cádmio, cobre, cobalto, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco nas três áreas estudadas, à excepção de cobalto e do ferro que apresentam valores médios inferiores na área A3. O teor em crómio apresenta-se em média inferior em todas as áreas, comparativamente aos valores apresentados na área A0.

Tabela 4.11: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A0 e A1.

Set/Nov 2013	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A0 N = 11					Área A1 N = 116			
As (mg.kg ⁻¹)	10,35	< 0,25	5,88	6,57	As (mg.kg ⁻¹)	212,61	< 0,25	27,22	17,47
Cd (mg.kg ⁻¹)	2,00	< 0,025	0,54	0,18	Cd (mg.kg ⁻¹)	207,22	< 0,025	15,96	9,68
Co (mg.kg ⁻¹)	10,93	3,28	6,84	6,88	Co (mg.kg ⁻¹)	28,55	2,17	6,56	5,40
Cr (mg.kg ⁻¹)	152,76	17,07	67,23	70,38	Cr (mg.kg ⁻¹)	70,44	5,69	36,50	35,84
Cu (mg.kg ⁻¹)	178,16	13,05	60,97	33,02	Cu (mg.kg ⁻¹)	527,02	14,74	121,26	86,47
Fe (mg.kg ⁻¹)	70848,34	20640,29	43612,52	46903,72	Fe (mg.kg ⁻¹)	163074,72	14,74	9751,94	88,41
Mn (mg.kg ⁻¹)	355,12	50,37	146,27	144,96	Mn (mg.kg ⁻¹)	3026,81	56,46	426,82	300,56
Ni (mg.kg ⁻¹)	9,43	4,83	6,79	6,85	Ni (mg.kg ⁻¹)	22,72	5,90	12,96	12,50
Pb (mg.kg ⁻¹)	14,19	4,76	9,31	11,00	Pb (mg.kg ⁻¹)	2763,11	< 0,025	205,27	60,17
Zn (mg.kg ⁻¹)	116,27	32,44	59,17	57,43	Zn (mg.kg ⁻¹)	47947,24	55,90	5535,55	1525,43

Tabela 4.12: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A2 e A3.

Set/Nov 2013	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A2 N = 21					Área A3 N = 23			
As (mg.kg⁻¹)	1892,20	< 0,25	226,98	61,45	As (mg.kg⁻¹)	52,87	< 0,25	16,66	15,78
Cd (mg.kg⁻¹)	159,69	2,83	34,63	31,62	Cd (mg.kg⁻¹)	44,79	0,73	22,21	23,72
Co (mg.kg⁻¹)	25,38	2,69	8,81	6,44	Co (mg.kg⁻¹)	32,16	2,54	8,52	6,57
Cr (mg.kg⁻¹)	60,48	< 0,025	30,60	26,78	Cr (mg.kg⁻¹)	131,66	23,21	42,11	35,88
Cu (mg.kg⁻¹)	3246,94	14,90	613,32	257,73	Cu (mg.kg⁻¹)	367,83	19,11	155,39	145,26
Fe (mg.kg⁻¹)	231499,91	1473,98	103928,80	75247,32	Fe (mg.kg⁻¹)	81619,97	23218,90	45890,96	41645,12
Mn (mg.kg⁻¹)	4944,89	73,78	818,23	193,16	Mn (mg.kg⁻¹)	2239,84	103,98	684,38	465,46
Ni (mg.kg⁻¹)	42,19	7,89	18,18	17,19	Ni (mg.kg⁻¹)	17,76	6,92	11,46	9,85
Pb (mg.kg⁻¹)	3997,06	4,80	1344,87	1081,80	Pb (mg.kg⁻¹)	556,17	6,21	191,88	107,75
Zn (mg.kg⁻¹)	65720,57	557,33	29949,80	28175,47	Zn (mg.kg⁻¹)	18065,55	207,14	5720,60	2992,69

Quando comparados os valores médios por área nas duas campanhas sazonais (Setembro e Novembro de 2013 - pós-seca e Março e Setembro de 2014 - pós chuva) verifica-se que os teores analisados em cobre, cobalto, ferro, chumbo e zinco para a área A1 da campanha pós-chuva são superiores aos analisados na campanha pós-seca na mesma área. Assim, e sendo a área A1 a que apresenta maior variabilidade sazonal nos elementos metálicos mencionados, verifica-se nas restantes áreas uma maior homogeneidade sazonal média dos elementos analisados, à excepção do crómio e do ferro na área A3 da época pós-chuva relativamente à mesma área na época pós-seca.

Esta homogeneidade sazonal nos teores dos metais pode ser explicada pelo facto de, durante o ano de amostragem, não terem sido registadas valores de pluviosidade normais, tendo a precipitação ocorrido intensamente num curto período de tempo durante o mês de Dezembro, tendo sido registadas temperaturas muito elevadas seguindo-se de um período de seca intenso (INMET, 2016), o que poderá ter influenciado o comportamento dos metais analisados. Assim, os elevados valores determinados na área A1 na campanha de pós-chuva, poderão dever-se à lixiviação, associada à precipitação intensa em curto período, dos principais elementos metálicos, associados a fases mais solúveis, das áreas a montante (A2 e A3), sendo que o período de seca intenso, que se seguiu, contribuiu para a deposição destes elementos, associados a fases dissolvidas ou particuladas, nas aluviões próximas do córrego, aumentando assim os teores em metais nestas amostras.

Tabela 4.13: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões recolhidas nas campanhas de Março e Setembro de 2014 para as áreas A1, A2 e A3.

Mar/Set 2014	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A1 N = 76					Área A2 N = 6			
As (mg.kg ⁻¹)	134,40	< 0,25	37,29	23,24	As (mg.kg ⁻¹)	24,74	< 0,25	18,41	20,91
Cd (mg.kg ⁻¹)	211,88	< 0,025	19,06	9,11	Cd (mg.kg ⁻¹)	38,37	8,06	20,42	11,15
Co (mg.kg ⁻¹)	23,58	2,25	9,67	8,08	Co (mg.kg ⁻¹)	19,74	6,45	9,39	7,95
Cr (mg.kg ⁻¹)	75,79	15,88	33,52	33,48	Cr (mg.kg ⁻¹)	64,64	35,53	54,98	54,49
Cu (mg.kg ⁻¹)	672,30	35,98	244,63	208,34	Cu (mg.kg ⁻¹)	275,04	108,76	172,76	120,74
Fe (mg.kg ⁻¹)	181738,31	14943,85	56088,20	38138,64	Fe (mg.kg ⁻¹)	128951,29	23339,02	58185,53	54496,80
Mn (mg.kg ⁻¹)	2307,55	65,85	573,89	511,35	Mn (mg.kg ⁻¹)	1278,89	87,58	560,46	210,61
Ni (mg.kg ⁻¹)	35,05	6,48	15,84	15,03	Ni (mg.kg ⁻¹)	26,16	11,96	18,95	20,75
Pb (mg.kg ⁻¹)	6103,96	1,53	1153,69	270,28	Pb (mg.kg ⁻¹)	757,07	9,91	304,95	12,93
Zn (mg.kg ⁻¹)	43490,80	47,81	11747,09	7614,37	Zn (mg.kg ⁻¹)	15943,99	382,03	5983,22	534,27
	Área A3 N = 7								
As (mg.kg ⁻¹)	76,07	< 0,25	27,54	12,44					
Cd (mg.kg ⁻¹)	21,64	4,04	10,29	8,22					
Co (mg.kg ⁻¹)	9,16	3,70	5,45	4,88					
Cr (mg.kg ⁻¹)	34,39	23,41	28,88	30,06					
Cu (mg.kg ⁻¹)	533,01	42,53	131,32	69,47					
Fe (mg.kg ⁻¹)	39855,20	13947,34	23173,29	21308,28					
Mn (mg.kg ⁻¹)	913,76	138,12	330,70	263,49					
Ni (mg.kg ⁻¹)	16,00	6,15	9,34	8,97					
Pb (mg.kg ⁻¹)	1068,08	11,86	186,22	42,12					
Zn (mg.kg ⁻¹)	15393,78	363,52	3195,09	1324,65					

4.1.3.2. Fracções Granulométricas ($>63 \mu\text{m}$, $63-2 \mu\text{m}$, $< 2 \mu\text{m}$)

Os teores totais obtidos no processo de digestão parcial referente as fracções granulométricas ($> 63 \mu\text{m}$, $63-2 \mu\text{m}$, $< 2 \mu\text{m}$) determinados para as amostras que apresentaram elevados teores em metais após a sua digestão parcial, encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.9, AI.10 e AI.11). Assim, foram escolhidas para esta análise duas amostras da área A0 (CA0-2B e CA0-3A), de forma a garantir a representação do *background* geoquímico, seis amostras da área A1 (CA1-14, CA1-21 (lixiviada), CA1-22, CA1-23, CA1-32 e CA1-33), três amostras da área A2 (CA2-10, CA2-10A e CA2-12) e uma amostra da área A3 (CA3-18), correspondendo estas amostras às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 à excepção da amostra CA2-10A recolhida na campanha de Março de 2014. As tabelas 4.14 a 4.22 apresentam os valores máximos, mínimos, médios e medianos resultantes da análise dos dados totais obtidos para cada fracção granulométrica para as amostras referentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e de Março de 2014.

Comparando os teores obtidos para a fracção $> 63 \mu\text{m}$ nas áreas A1, A2 e A3, relativamente aos teores da área A0, verifica-se que nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 se encontram valores médios superiores em arsénio, cádmio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco. Já na campanha de Março de 2014 apenas o ferro, o manganês e o zinco ultrapassam os valores médios destes elementos na área A0. Este decréscimo dos teores nos restantes elementos poder-se-á dever à lixiviação provocada pela precipitação, mais notória nesta fracção granulométrica uma vez que os elementos associados a sulfuretos, óxidos de manganês e óxidos de ferro ocorrem geralmente como partículas da dimensão da areia ou em películas que revestem a superfície de grãos minerais de quartzo ou outro mineral de dimensão arenosa, o que torna mais facilitada a sua dissolução.

Na fracção $63 \mu\text{m} - 2 \mu\text{m}$ observa-se um aumento médio nos teores de arsénio, cádmio, cobalto (A1 e A3), cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco em todas as áreas na época pós-seca e pós-chuva, à excepção do cobalto e do níquel no segundo período. É no entanto notório o enriquecimento em manganês, chumbo e zinco nas duas épocas sazonais comparativamente com os seus teores na área A0, na mesma fracção granulométrica. Relativamente à última fracção analisada, inferior a $2 \mu\text{m}$, verifica-se, em média, um enriquecimento relativamente à área *background* em todos os elementos analisados nas duas épocas sazonais consideradas, à excepção do crómio na área A2 nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

Os elevados teores em metais encontrados nas fracções granulométricas mais finas (argilosas) permitem perceber que estes se encontram preferencialmente em formas solúveis ou como catiões de troca à superfície dos minerais argilosos, ou ainda, associados às partículas de mais fina dimensão, de óxidos de ferro e de manganês.

Tabela 4.14: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A0 e A1.

Set/Nov 2013	Fracção > 63 µm					Fracção > 63 µm			
	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A0 N = 4					Área A1 N = 23			
As (mg.kg ⁻¹)	5,27	0,83	2,41	1,77	As (mg.kg ⁻¹)	57,78	< 0,25	26,52	21,64
Cd (mg.kg ⁻¹)	88,54	7,69	32,79	17,47	Cd (mg.kg ⁻¹)	141,36	0,85	33,25	20,19
Co (mg.kg ⁻¹)	48,72	2,10	17,19	8,96	Co (mg.kg ⁻¹)	73,98	2,13	21,96	14,75
Cr (mg.kg ⁻¹)	242,89	23,42	133,71	134,27	Cr (mg.kg ⁻¹)	109,74	19,64	37,31	30,18
Cu (mg.kg ⁻¹)	297,34	193,49	235,84	226,27	Cu (mg.kg ⁻¹)	675,26	78,40	308,79	301,61
Fe (mg.kg ⁻¹)	90398,03	9235,46	36750,23	23683,71	Fe (mg.kg ⁻¹)	329962,79	6025,09	78643,58	53079,46
Mn (mg.kg ⁻¹)	421,82	80,77	184,45	117,59	Mn (mg.kg ⁻¹)	8903,24	65,57	1574,23	777,00
Ni (mg.kg ⁻¹)	48,53	6,99	21,51	15,26	Ni (mg.kg ⁻¹)	35,85	3,96	18,21	16,88
Pb (mg.kg ⁻¹)	80,16	37,57	57,93	57,00	Pb (mg.kg ⁻¹)	1706,79	17,93	655,15	526,56
Zn (mg.kg ⁻¹)	352,61	138,97	234,65	223,52	Zn (mg.kg ⁻¹)	82856,01	278,15	17404,06	9682,10

Tabela 4.15: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A2 e A3.

Set/Nov 2013	Fracção > 63 µm					Fracção > 63 µm			
	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A2 N = 10					Área A3 N = 4			
As (mg.kg ⁻¹)	806,62	12,88	247,31	90,88	As (mg.kg ⁻¹)	30,51	11,47	17,29	13,58
Cd (mg.kg ⁻¹)	134,94	< 0,025	30,50	18,04	Cd (mg.kg ⁻¹)	55,51	19,24	37,66	37,95
Co (mg.kg ⁻¹)	265,98	0,50	67,45	14,49	Co (mg.kg ⁻¹)	70,69	5,70	31,22	24,24
Cr (mg.kg ⁻¹)	65,69	20,02	44,31	44,72	Cr (mg.kg ⁻¹)	116,53	26,62	51,88	32,19
Cu (mg.kg ⁻¹)	8722,40	188,51	2558,66	795,12	Cu (mg.kg ⁻¹)	459,46	155,53	241,43	175,36
Fe (mg.kg ⁻¹)	345531,98	25491,43	145066,67	142962,47	Fe (mg.kg ⁻¹)	97002,11	13408,93	36742,32	18279,12
Mn (mg.kg ⁻¹)	12272,84	146,44	2418,65	379,98	Mn (mg.kg ⁻¹)	1731,09	402,39	993,99	921,24
Ni (mg.kg ⁻¹)	66,44	16,55	33,84	29,11	Ni (mg.kg ⁻¹)	21,59	8,27	12,94	10,96
Pb (mg.kg ⁻¹)	9678,13	492,96	3448,45	3051,86	Pb (mg.kg ⁻¹)	1095,20	213,21	474,91	295,60
Zn (mg.kg ⁻¹)	135630,40	9361,94	48450,77	16760,04	Zn (mg.kg ⁻¹)	11919,26	3800,24	6818,25	5776,75

Tabela 4.16: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63µm das aluviões correspondentes à campanha de Março de 2014 para a área A2.

Março 2014	Fracção > 63 µm			
	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A2		N = 3	
As (mg.kg⁻¹)	19,21	6,89	11,30	7,79
Cd (mg.kg⁻¹)	35,73	18,88	26,87	26,00
Co (mg.kg⁻¹)	10,85	10,46	10,63	10,58
Cr (mg.kg⁻¹)	103,80	36,27	66,26	58,71
Cu (mg.kg⁻¹)	234,28	140,58	201,33	229,12
Fe (mg.kg⁻¹)	106070,82	21812,52	68434,30	77419,57
Mn (mg.kg⁻¹)	1104,10	952,98	1026,90	1023,63
Ni (mg.kg⁻¹)	16,71	12,14	13,67	12,15
Pb (mg.kg⁻¹)	630,66	523,85	566,35	544,53
Zn (mg.kg⁻¹)	27314,83	7278,06	14201,67	8012,13

Tabela 4.17: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção >63 – 2 µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A0 e A1.

Set/Nov 2013	Fracção 63 - 2 µm				Fracção 63 - 2 µm				
	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	
	Área A0		N = 4		Área A1		N = 23		
As (mg.kg⁻¹)	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	As (mg.kg⁻¹)	74,84	< 0,25	19,33	12,91
Cd (mg.kg⁻¹)	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	Cd (mg.kg⁻¹)	21,91	0,21	9,79	9,40
Co (mg.kg⁻¹)	14,90	9,78	12,86	13,39	Co (mg.kg⁻¹)	39,21	3,72	14,54	13,25
Cr (mg.kg⁻¹)	72,25	56,26	63,37	62,48	Cr (mg.kg⁻¹)	75,01	46,27	61,37	63,11
Cu (mg.kg⁻¹)	94,51	78,87	86,72	86,75	Cu (mg.kg⁻¹)	633,67	123,86	258,11	208,28
Fe (mg.kg⁻¹)	36251,60	27211,68	32249,17	32766,69	Fe (mg.kg⁻¹)	118801,72	22670,69	43670,23	39815,19
Mn (mg.kg⁻¹)	413,23	71,29	230,15	218,03	Mn (mg.kg⁻¹)	2405,84	109,18	651,82	587,07
Ni (mg.kg⁻¹)	35,82	26,26	31,44	31,84	Ni (mg.kg⁻¹)	44,68	25,56	33,80	33,68
Pb (mg.kg⁻¹)	29,49	22,12	25,50	25,20	Pb (mg.kg⁻¹)	2234,52	110,12	549,76	319,56
Zn (mg.kg⁻¹)	222,10	111,87	164,52	162,05	Zn (mg.kg⁻¹)	49999,83	1144,91	9889,97	5444,80

Tabela 4.18: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63 – 2µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A2 e A3.

Set/Nov 2013	Fracção 63 - 2 µm				Fracção 63 - 2 µm				
	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	
	Área A2		N = 10		Área A3		N = 4		
As (mg.kg ⁻¹)	892,24	17,12	202,03	53,30	As (mg.kg ⁻¹)	30,67	7,57	21,51	23,90
Cd (mg.kg ⁻¹)	50,72	6,47	19,71	13,15	Cd (mg.kg ⁻¹)	30,94	27,29	29,76	30,41
Co (mg.kg ⁻¹)	33,66	2,71	12,82	8,95	Co (mg.kg ⁻¹)	22,91	9,44	15,06	13,94
Cr (mg.kg ⁻¹)	66,04	43,62	53,83	51,79	Cr (mg.kg ⁻¹)	64,00	52,07	58,89	59,76
Cu (mg.kg ⁻¹)	3173,56	246,36	929,82	365,44	Cu (mg.kg ⁻¹)	412,59	204,52	287,02	265,49
Fe (mg.kg ⁻¹)	123060,22	52691,96	81673,66	74551,30	Fe (mg.kg ⁻¹)	54817,42	29909,15	40948,93	39534,57
Mn (mg.kg ⁻¹)	4759,96	51,99	1116,96	79,70	Mn (mg.kg ⁻¹)	956,63	613,56	793,66	802,23
Ni (mg.kg ⁻¹)	51,56	32,02	42,05	42,98	Ni (mg.kg ⁻¹)	34,61	24,05	29,91	30,48
Pb (mg.kg ⁻¹)	3762,89	927,15	2058,95	1745,67	Pb (mg.kg ⁻¹)	1004,16	298,85	558,15	464,79
Zn (mg.kg ⁻¹)	63913,95	10907,50	31648,69	23610,34	Zn (mg.kg ⁻¹)	15741,32	6422,75	9881,85	8681,66

Tabela 4.19: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção > 63 - 2µm das aluviões correspondentes à campanha de Março de 2014 para a área A2.

Março 2014	Fracção 63 - 2 µm			
	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A2		N = 3	
As (mg.kg ⁻¹)	17,65	8,14	11,80	9,59
Cd (mg.kg ⁻¹)	44,83	30,33	36,61	34,66
Co (mg.kg ⁻¹)	10,45	9,70	10,06	10,02
Cr (mg.kg ⁻¹)	84,92	50,67	66,88	65,05
Cu (mg.kg ⁻¹)	277,40	226,85	246,29	234,62
Fe (mg.kg ⁻¹)	46709,62	39178,52	42999,36	43109,94
Mn (mg.kg ⁻¹)	1122,88	895,46	1005,81	999,10
Ni (mg.kg ⁻¹)	31,05	23,24	26,81	26,15
Pb (mg.kg ⁻¹)	1171,07	644,40	893,46	864,92
Zn (mg.kg ⁻¹)	14056,62	13428,03	13656,55	13485,02

Tabela 4.20: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção < 2µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A0 e A1.

Set/Nov 2013	Fracção 2 µm					Fracção 2 µm			
	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A0 N = 4					Área A1 N = 23			
As (mg.kg ⁻¹)	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	As (mg.kg ⁻¹)	140,71	< 0,25	45,09	26,94
Cd (mg.kg ⁻¹)	21,61	21,61	21,61	21,61	Cd (mg.kg ⁻¹)	66,73	< 0,025	28,45	27,81
Co (mg.kg ⁻¹)	27,91	10,49	20,18	21,16	Co (mg.kg ⁻¹)	61,84	14,07	27,79	23,49
Cr (mg.kg ⁻¹)	96,47	42,95	75,64	81,57	Cr (mg.kg ⁻¹)	127,73	62,26	100,50	99,87
Cu (mg.kg ⁻¹)	138,35	78,06	108,10	285,91	Cu (mg.kg ⁻¹)	1366,26	133,43	387,12	246,97
Fe (mg.kg ⁻¹)	58348,28	23340,33	42352,01	43859,71	Fe (mg.kg ⁻¹)	62850,33	25496,55	48006,82	47822,91
Mn (mg.kg ⁻¹)	639,38	64,27	349,13	346,44	Mn (mg.kg ⁻¹)	3493,00	293,25	853,71	575,47
Ni (mg.kg ⁻¹)	50,18	17,59	35,29	36,69	Ni (mg.kg ⁻¹)	67,04	33,41	54,74	55,09
Pb (mg.kg ⁻¹)	62,19	22,77	40,33	38,19	Pb (mg.kg ⁻¹)	3621,24	111,07	703,22	431,62
Zn (mg.kg ⁻¹)	323,45	196,77	262,30	264,49	Zn (mg.kg ⁻¹)	23155,71	2986,49	9924,10	8143,46

Tabela 4.21: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção < 2µm das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 para as áreas A2 e A3.

Set/Nov 2013	Fracção 2 µm					Fracção 2 µm			
	Máximo	Mínimo	Média	Mediana		Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A2 N = 10					Área A3 N = 4			
As (mg.kg ⁻¹)	1918,33	11,06	470,89	92,09	As (mg.kg ⁻¹)	78,71	52,54	63,43	61,24
Cd (mg.kg ⁻¹)	192,51	7,43	44,81	19,35	Cd (mg.kg ⁻¹)	186,14	44,40	82,19	49,11
Co (mg.kg ⁻¹)	62,47	14,50	27,49	19,12	Co (mg.kg ⁻¹)	43,54	25,33	34,17	33,91
Cr (mg.kg ⁻¹)	97,54	43,56	74,77	74,92	Cr (mg.kg ⁻¹)	121,80	113,39	117,78	117,96
Cu (mg.kg ⁻¹)	4952,57	190,68	1438,69	343,37	Cu (mg.kg ⁻¹)	655,64	420,69	501,28	464,40
Fe (mg.kg ⁻¹)	76915,29	7852,69	49878,75	57497,14	Fe (mg.kg ⁻¹)	65162,86	58138,69	62590,86	63530,95
Mn (mg.kg ⁻¹)	3927,14	96,74	1252,70	447,11	Mn (mg.kg ⁻¹)	1528,53	1064,14	1256,79	1217,25
Ni (mg.kg ⁻¹)	58,19	38,32	49,36	50,73	Ni (mg.kg ⁻¹)	67,58	58,72	62,49	61,83
Pb (mg.kg ⁻¹)	4616,11	1000,20	2761,51	2593,93	Pb (mg.kg ⁻¹)	1133,66	484,53	687,25	565,40
Zn (mg.kg ⁻¹)	35000,63	12470,34	17968,14	16241,92	Zn (mg.kg ⁻¹)	15203,34	8077,93	10810,18	9979,71

Tabela 4.22: Teores máximos, mínimos, médios e medianos dos metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metaloides (arsénio) resultantes da digestão parcial da fracção < 2µm das aluviões correspondentes à campanha de Março de 2014 para a área A2.

Março 2014	Fracção 2 µm			
	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A2		N = 3	
As (mg.kg⁻¹)	44,09	22,17	33,15	33,19
Cd (mg.kg⁻¹)	67,43	51,53	57,74	54,27
Co (mg.kg⁻¹)	25,02	17,89	21,29	20,97
Cr (mg.kg⁻¹)	141,73	100,15	115,82	105,59
Cu (mg.kg⁻¹)	411,83	301,84	351,07	339,53
Fe (mg.kg⁻¹)	58465,42	50824,15	53592,49	51487,90
Mn (mg.kg⁻¹)	1463,74	1050,30	1194,79	1070,32
Ni (mg.kg⁻¹)	56,35	47,52	52,17	52,63
Pb (mg.kg⁻¹)	926,46	738,02	814,50	779,03
Zn (mg.kg⁻¹)	14847,69	13152,00	13829,47	13488,73

4.1.4. Avaliação do Grau de Contaminação através de métodos de Extracção Sequencial

O método de extracção sequencial possibilita a identificação das fases minerais e/ou orgânicas em que se encontram os principais elementos metálicos, permitindo assim a avaliação da sua mobilidade natural (solubilidade) no meio, e assim prever a sua biodisponibilidade e adsorção por parte das plantas e organismos vivos, o nível de contaminação e, portanto, a sua perigosidade ambiental. As cinco fases de extracção consideradas foram identificadas por: #1 – fracção solúvel ligada a catiões de troca; #2 – fracção ligada a óxidos de manganês; #3 – fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4 – fracção correspondente aos metais ligados a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; e #5 – fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Encontra-se em Anexo (Anexo AI - Tabelas AI.12 a AI.21) os resultados totais correspondentes aos elementos analisados para cada uma das fracções extraídas, das amostras consideradas nesta determinação. Na tabela 4.23 observam-se os valores percentuais máximos, mínimos, médios e medianos extraídos para cada um dos elementos analisados.

De acordo com a tabela 4.23, verifica-se que em média o cádmio, o manganês o chumbo e o zinco são os elementos que representam maior mobilidade e, portanto, maior perigo, estando principalmente associados à fracção mais solúvel e aos óxidos de manganês o qual, mediante valores baixos de pH apresenta elevada solubilidade. De salientar ainda o caso do arsénio que

apresenta valores médios de aproximadamente 40% na fase mais solúvel. Associado a óxidos de ferro amorfos (#3) e cristalinos (5#), preferencialmente aos cristalinos de estrutura mais estável, encontram-se o crómio, o cobre, o ferro e o níquel, deduzindo-se assim uma maior estabilidade no meio, independentemente das suas elevadas concentrações (ferro, crómio e cobre). Os sulfuretos destes metais (4#) possuem expressão média pouco significativa no geral, destacando-se apenas o crómio, o níquel e o chumbo, podendo as reduzidas percentagens estar relacionadas com a não existência de condições redutora suficientes que promovam a redução dos sulfatos e a sua transformação em sulfuretos.

Tabela 4.23: Teores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem extraída para cada elemento metálico (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) e metaloide (As) nas diferentes fases da extração sequencial.

	#1 (%)	#2 (%)	#3 (%)	#4 (%)	#5 (%)		#1 (%)	#2 (%)	#3 (%)	#4 (%)	#5 (%)
As						Fe					
Máximo	93,25	65,49	92,80	5,13	97,71	Máximo	19,68	21,50	42,85	12,13	97,58
Mínimo	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	Mínimo	0,02	0,20	1,59	0,09	27,08
Média	40,88	12,64	44,88	1,85	48,10	Média	2,47	3,12	10,02	2,41	81,99
Mediana	31,67	7,41	43,31	0,41	46,67	Mediana	1,17	2,33	7,76	1,15	85,01
Cd						Mn					
Máximo	99,63	81,07	51,28	71,41	92,82	Máximo	82,36	85,01	63,43	57,17	77,22
Mínimo	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	Mínimo	2,04	< 1	< 1	0,02	0,66
Média	59,77	16,21	9,60	13,67	25,53	Média	36,83	36,59	12,44	4,05	18,99
Mediana	61,25	13,54	7,12	9,06	14,33	Mediana	33,76	33,29	7,26	1,57	16,44
Co						Ni					
Máximo	79,68	96,94	53,66	29,61	83,08	Máximo	73,26	45,56	54,49	76,84	90,86
Mínimo	< 1	7,19	< 1	< 1	< 1	Mínimo	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Média	25,69	50,23	14,76	7,15	22,87	Média	27,48	12,79	15,60	18,59	44,43
Mediana	23,54	45,42	13,23	4,98	18,23	Mediana	27,96	11,22	12,70	14,57	44,44
Cr						Pb					
Máximo	18,99	34,86	67,93	57,93	97,94	Máximo	71,92	95,08	82,94	27,61	70,52
Mínimo	< 1	0,04	0,72	0,88	< 1	Mínimo	0,68	< 1	0,93	< 1	1,96
Média	3,54	7,04	9,55	12,23	73,21	Média	30,65	25,07	15,87	5,34	24,85
Mediana	2,29	3,15	7,83	9,38	76,36	Mediana	30,99	18,18	14,31	3,32	19,04
Cu						Zn					
Máximo	46,97	34,63	50,24	45,67	96,25	Máximo	79,06	86,16	42,85	56,02	38,38
Mínimo	< 1	< 1	< 1	0,62	10,40	Mínimo	8,57	8,10	< 1	0,52	< 1
Média	12,13	15,83	18,48	8,47	46,35	Média	43,28	35,27	6,99	6,15	8,65
Mediana	9,61	17,01	16,99	5,44	44,33	Mediana	43,59	35,20	5,90	3,72	5,46

4.1.5. Avaliação da Biodisponibilidade dos Metais: Extração com Acetato de Amónio

Considerando-se que a primeira fracção da extração sequencial (#1 – fracção solúvel e fracção ligada aos catiões de troca), representa o estado mais móvel dos metais, logo a que representa uma maior perigosidade ambiental, foi realizada a extração com acetato de amónio para as restantes amostras de aluviões, não consideradas no processo total de extração sequencial, sendo o tratamento estatístico (Tabela 4.24) efetuado considerando todas as amostras aluvionares (valores obtidos na #1 da extração sequencial e restantes aluviões). Esta análise permitiu posteriormente comparar estes teores com os limites legais (CONAMA,2012) e com os teores extraídos no ensaio de lixiviação realizado. Em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.22) estão representados os teores totais obtidos na extração por acetato de amónio para os metais considerados.

Da análise estatística representada na tabela 4.24 pode-se perceber que os elementos que têm maior representação na fracção mais solúvel ou na mais facilmente trocável, considerando que o total dos elementos dissolvidos nesta fracção representa 100%, são o zinco, o chumbo e o cádmio. Destes elementos a partir dos dados obtidos através da metodologia da extração sequencial, pode-se verificar que apenas o zinco e o cádmio apresentam maior proporção nesta fracção mais lábil. Os restantes elementos ocorrem preferencialmente em associação com fracções mais estáveis (ver tabela 4.23), justificando-se os elevados teores que apresentam nesta fracção biodisponível, pelas altas concentrações naturais com que ocorrem nestes materiais.

Em anexo na tabela AI.22 (Anexo AI – Tabela AI.22) verifica-se que do total de metais extraídos na solução de acetato de amónio o Fe e o Mn são os que apresentam maior proporção, embora através dos processos de extração sequencial se tenha verificado a sua ocorrência em fases mais estáveis. Esta maior proporção reactivamente aos restantes elementos metálicos e As reflete o elevado teor natural destes elementos nos materiais aluvionares analisados.

Tabela 4.24: Teores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem extraída por acetato de amónio para cada elemento metálico contaminante (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) e metaloide (As). Considera-se 100% o total dos elementos extraídos nesta fracção.

	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
Aluviões N = 146				
As (%)	7,09	< 1	0,56	0,11
Cd (%)	8,82	< 1	0,50	0,26
Co (%)	0,75	< 1	0,10	0,06
Cr (%)	0,75	< 1	0,08	0,04
Cu (%)	8,05	< 1	0,70	0,70
Ni (%)	0,70	< 1	0,05	0,03
Pb (%)	23,04	0,09	3,28	2,30
Zn (%)	98,64	0,21	60,37	70,66

4.1.6. Ensaio de Lixiviação

Realizaram-se ensaios de lixiviação em catorze amostras aluvionares pertencentes às áreas A0, A1, A2 e A3. Como referido no Capítulo 3, cada amostra foi agitada continuamente com água ultra-pura a pH 6,5 (pH médio das precipitações locais), sendo retiradas sub-amostras após 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. Todos os resultados obtidos encontram-se em Anexo (Anexo AI -Tabelas AI.23 a AI.27). De forma a se poderem comparar os resultados obtidos, vão-se considerar os valores estatísticos (máximo, mínimo, média e mediana) relativos aos períodos de 1 hora e 24 horas de agitação, representados, de acordo com as áreas correspondentes nas tabelas 4.25 a 4.28.

Finda a primeira hora de agitação, é já possível identificar alguns contaminantes importantes na solução resultantes de um processo de lixiviação das aluviões, (cádmio, zinco e manganês), sendo estes os elementos que ocorrem nestes materiais sedimentares maioritariamente sob a forma solúvel, como tinham já sido identificados através do processo de extracção sequencial e da extracção com acetato de amónio. Estes teores são relativamente baixos na área A0, o que se relacionará directamente com a litologia presente. Verifica-se, no entanto, na área A2, um teor máximo de zinco de cerca de 81 mg.l⁻¹. Verificam-se ainda a presença pouco significativa de metais como o crómio, o cobre, o níquel, o chumbo nas águas de lixiviação após uma hora de agitação. Quando observados os valores correspondentes a vinte e quatro horas de agitação verifica-se o aumento da concentração na maioria dos elementos metálicos, o que seria esperado, com a excepção do potássio, o cálcio e o magnésio. Os resultados correspondentes a este período representam um processo de lixiviação mais intenso.

Tabela 4.25: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A0 e A1.

1h	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A0 N = 7			
Al (mg.l ⁻¹)	0,211	< 0,001	0,117	0,122
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	4,524	0,074	0,882	0,314
Cd (mg.l ⁻¹)	0,002	< 0,001	0,002	0,002
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	0,006	< 0,001	0,006	0,006
Fe (mg.l ⁻¹)	0,186	0,010	0,086	0,067
K (mg.l ⁻¹)	19,114	1,196	4,126	1,437
Mg (mg.l ⁻¹)	29,346	0,014	4,262	0,094
Mn (mg.l ⁻¹)	0,042	< 0,001	0,017	0,014
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	0,003	< 0,001	0,003	0,003
Zn (mg.l ⁻¹)	0,045	< 0,001	0,024	0,025

1h	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A1 N = 22			
Al (mg.l ⁻¹)	0,677	< 0,001	0,117	0,006
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	81,160	0,801	12,431	4,625
Cd (mg.l ⁻¹)	0,128	< 0,001	0,032	0,022
Co (mg.l ⁻¹)	0,034	< 0,001	0,012	0,005
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	0,432	< 0,001	0,058	0,021
K (mg.l ⁻¹)	11,352	1,211	3,302	2,352
Mg (mg.l ⁻¹)	42,050	0,276	6,335	1,424
Mn (mg.l ⁻¹)	2,743	0,013	0,624	0,378
Ni (mg.l ⁻¹)	0,113	< 0,001	0,033	0,009
Pb (mg.l ⁻¹)	0,020	< 0,001	0,011	0,011
Zn (mg.l ⁻¹)	46,592	0,279	5,720	3,886

Tabela 4.26: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A2 e A3.

1h	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A2 N = 18			
Al (mg.l ⁻¹)	0,032	< 0,001	0,015	0,011
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	337,349	9,086	51,745	17,367
Cd (mg.l ⁻¹)	0,961	< 0,001	0,139	0,066
Co (mg.l ⁻¹)	0,057	< 0,001	0,018	0,008
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	0,005	< 0,001	0,005	0,005
Fe (mg.l ⁻¹)	0,045	< 0,001	0,015	0,009
K (mg.l ⁻¹)	7,493	1,780	2,806	2,487
Mg (mg.l ⁻¹)	152,689	9,194	27,162	19,375
Mn (mg.l ⁻¹)	5,677	0,087	1,985	1,036
Ni (mg.l ⁻¹)	0,062	< 0,001	0,014	0,008
Pb (mg.l ⁻¹)	0,028	< 0,001	0,017	0,015
Zn (mg.l ⁻¹)	81,358	3,268	20,570	11,022

1h	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A3 N = 5			
Al (mg.l ⁻¹)	0,008	< 0,001	0,109	0,011
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	17,244	3,461	9,455	8,311
Cd (mg.l ⁻¹)	0,075	0,017	0,037	0,031
Co (mg.l ⁻¹)	0,001	< 0,001	0,001	0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	0,012	0,003	0,007	0,005
K (mg.l ⁻¹)	2,662	1,996	2,294	2,237
Mg (mg.l ⁻¹)	5,525	1,303	2,458	1,871
Mn (mg.l ⁻¹)	0,831	0,110	0,360	0,344
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l ⁻¹)	2,602	0,861	1,332	1,137

Tabela 4.27: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A0 e A1.

24h	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A0 N = 7			
Al (mg.l ⁻¹)	0,278	< 0,001	0,112	0,069
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	7,169	0,275	2,129	0,486
Cd (mg.l ⁻¹)	0,010	0,003	0,005	0,004
Co (mg.l ⁻¹)	0,007	0,005	0,005	0,005
Cr (mg.l ⁻¹)	0,005	0,001	0,003	0,002
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	0,962	0,013	0,220	0,122
K (mg.l ⁻¹)	26,498	1,127	8,064	1,883
Mg (mg.l ⁻¹)	48,639	0,063	12,751	0,142
Mn (mg.l ⁻¹)	0,036	0,001	0,018	0,017
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l ⁻¹)	0,083	0,016	0,053	0,061

24h	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A1 N = 22			
Al (mg.l ⁻¹)	3,385	< 0,001	0,596	0,063
As (mg.l ⁻¹)	0,013	< 0,01	0,013	0,013
Ca (mg.l ⁻¹)	129,631	1,191	18,528	4,836
Cd (mg.l ⁻¹)	0,170	0,006	0,042	0,025
Co (mg.l ⁻¹)	0,061	0,004	0,011	0,007
Cr (mg.l ⁻¹)	0,003	< 0,001	0,002	0,002
Cu (mg.l ⁻¹)	0,056	< 0,001	0,034	0,033
Fe (mg.l ⁻¹)	1,986	0,008	0,220	0,024
K (mg.l ⁻¹)	12,173	1,825	4,175	3,485
Mg (mg.l ⁻¹)	57,719	0,369	8,554	1,941
Mn (mg.l ⁻¹)	3,815	0,030	0,978	0,702
Ni (mg.l ⁻¹)	0,031	< 0,001	0,009	0,008
Pb (mg.l ⁻¹)	0,039	< 0,001	0,007	0,004
Zn (mg.l ⁻¹)	59,787	0,459	10,246	6,073

Tabela 4.28: Teores máximos, mínimos, médios e medianos de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A2 e A3.

24h	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A2 N = 18			
Al (mg.l ⁻¹)	0,052	< 0,001	0,039	0,042
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	641,800	11,254	98,355	23,770
Cd (mg.l ⁻¹)	1,284	0,022	0,209	0,100
Co (mg.l ⁻¹)	0,081	0,004	0,027	0,016
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	0,084	0,001	0,022	0,017
K (mg.l ⁻¹)	5,728	1,990	3,517	3,230
Mg (mg.l ⁻¹)	227,047	13,689	36,228	24,006
Mn (mg.l ⁻¹)	7,127	0,183	2,513	1,316
Ni (mg.l ⁻¹)	0,086	< 0,001	0,023	0,015
Pb (mg.l ⁻¹)	0,039	< 0,001	0,011	0,007
Zn (mg.l ⁻¹)	114,018	5,250	27,907	15,782

24h	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
	Área A3 N = 5			
Al (mg.l ⁻¹)	0,009	< 0,001	0,565	0,051
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	28,495	4,225	15,803	16,167
Cd (mg.l ⁻¹)	0,114	0,041	0,065	0,063
Co (mg.l ⁻¹)	0,008	0,005	0,006	0,005
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	0,025	0,004	0,010	0,005
K (mg.l ⁻¹)	4,533	2,126	3,008	2,459
Mg (mg.l ⁻¹)	8,108	1,370	3,558	2,470
Mn (mg.l ⁻¹)	1,884	0,159	0,777	0,700
Ni (mg.l ⁻¹)	0,005	< 0,001	0,005	0,005
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l ⁻¹)	3,223	1,355	1,915	1,454

4.1.7. Análise Elementar de Carbono (C), Azoto (N), Hidrogénio (H) e Enxofre (S)

Sendo a presente tese um trabalho que visa a identificação dos contaminantes presentes na área em estudo e a identificação/aplicabilidade de técnicas de remediação, torna-se importante também a determinação da concentração em nutrientes, especialmente o carbono e azoto, nas aluviões. A identificação destes nutrientes permite a detecção da influência de contaminações de origem antrópica, maioritariamente associadas a descargas de efluentes domésticos e a quantificação de compostos orgânicos que frequentemente se associam aos elementos metálicos, formando complexos com elevada solubilidade. Verificou-se ainda a necessidade de determinação do enxofre, na área em estudo, uma vez que uma parte dos minérios beneficiados na unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A., são de origem sulfureta.

Em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.28) estão representados os valores percentuais totais obtidos através da análise elementar. Nas tabelas 4.29 e 4.30 apresentam-se os valores máximos, mínimos, médios e medianos resultantes do tratamento estatístico dos resultados totais obtidos.

Verificam-se teores maioritariamente baixos em todos os elementos que quando comparados com os valores médios obtidos para a área A0, são superiores em todas as áreas independentemente da campanha de amostragem (pós-seca e pós-chuva). Destacam-se os valores de carbono nas áreas A1 e A3 nos dois períodos de amostragem com máximos de 4,1 % e 2,3% (Setembro e Novembro de 2013) e 2,6% e 4,3% (Março e Setembro de 2014) respectivamente. A percentagem em azoto é também significativa nas mesmas áreas com máximos de 11,2% e 7,4% na época pós-seca, sendo menor nas mesmas áreas para a época pós-chuva.

Tabela 4.29: Valores máximos, mínimos, médios e medianos obtidos por análise elementar para as aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

Set/Nov 2013	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]		C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
	Área A0 N = 11					Área A2 N = 20			
Máximo	1,16	0,55	0,06	0,03	Máximo	1,95	5,75	2,51	3,46
Mínimo	0,29	0,14	0,00	0,01	Mínimo	0,23	0,46	0,00	0,01
Média	0,63	0,36	0,02	0,02	Média	0,96	0,99	0,22	0,45
Mediana	0,75	0,35	0,01	0,02	Mediana	0,91	0,67	0,08	0,27
	Área A1 N = 106					Área A3 N = 24			
Máximo	4,10	0,97	11,23	0,42	Máximo	2,32	0,78	7,39	0,13
Mínimo	0,22	0,20	0,01	0,00	Mínimo	0,35	0,33	0,01	0,01
Média	1,15	0,62	0,22	0,06	Média	0,81	0,55	0,99	0,06
Mediana	0,97	0,62	0,07	0,04	Mediana	0,66	0,53	0,06	0,06

Tabela 4.30: Valores máximos, mínimos, médios e medianos obtidos por análise elementar para as aluviões recolhidas nas campanhas de Março e Setembro de 2014.

Mar/Set 2014									
	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]	
Área A1					Área A3				
N = 76					N = 8				
Máximo	2,56	1,02	0,14	0,47	Máximo	4,30	0,79	0,19	0,04
Mínimo	0,22	0,27	0,01	0,00	Mínimo	2,19	0,60	0,10	0,03
Média	1,02	0,65	0,07	0,08	Média	2,94	0,68	0,14	0,03
Mediana	0,98	0,68	0,06	0,07	Mediana	2,79	0,67	0,14	0,03
Área A2									
N = 76									
Máximo	1,39	0,82	0,09	1,00					
Mínimo	0,15	0,46	0,02	0,08					
Média	0,84	0,64	0,05	0,25					
Mediana	0,91	0,62	0,05	0,11					

4.1.8. Análise do Fósforo Total

A determinação do fósforo total permite, à semelhança dos elementos determinados por análise elementar, identificar possíveis fontes de contaminação, maioritariamente de origem antrópica, principalmente relacionadas com a prática agrícola e a utilização de fertilizantes em excesso, bem como quantificar um elemento que frequentemente se associa a constituintes metálicos. Assim, foram determinados para a área em estudo, os teores totais em fósforo presentes nas aluviões, nas águas intersticiais e na coluna de água (águas superficiais).

4.1.8.1. Aluviões

Em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.29) apresentam-se os valores percentuais totais do fósforo total. Na tabela 4.31 apresentam-se os valores máximos, mínimos, médios e medianos resultantes do tratamento estatístico dos resultados totais obtidos.

O teor médio em fósforo determinado nas aluviões não varia muito entre as áreas consideradas, quer na campanha de Setembro e Novembro de 2013 quer na de Março e Setembro de 2014, apresentando valores que variam entre 84 mg.kg⁻¹ e 137 mg.kg⁻¹ de fósforo. Entre as duas épocas de amostragem, não se verificam diferenças significativas no teor em fósforo, no entanto os teores em fósforo variam dentro de cada área, provavelmente associados à existência de diferentes tipos de vegetação. Para a época pós-seca obtiveram-se valores que variam entre 8 a 173 mg.kg⁻¹ na área A1, entre 42 e 151 mg.kg⁻¹ na área A2 e entre 19 a 155 mg.kg⁻¹ na área A3.

Tabela 4.32: Valores máximos, mínimos, médios e medianos de fósforo total para as águas intersticiais correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março e Setembro de 2014.

Set/Nov 2013	P (mg.l ⁻¹)		P (mg.l ⁻¹)	Mar/Set 2014	P (mg.l ⁻¹)		P (mg.l ⁻¹)
Área A0	N = 6	Área A2	N = 7	Área A1	N = 31	Área A3	N = 4
Máximo	0,89	Máximo	1,47	Máximo	5,87	Máximo	< 0,005
Mínimo	0,15	Mínimo	< 0,005	Mínimo	< 0,005	Mínimo	< 0,005
Média	0,39	Média	0,60	Média	1,16	Média	< 0,005
Mediana	0,27	Mediana	0,22	Mediana	0,59	Mediana	< 0,005
Área A1	N = 40	Área A3	N = 7	Área A2	N = 2		
Máximo	1,09	Máximo	< 0,005	Máximo	0,07		
Mínimo	< 0,005	Mínimo	< 0,005	Mínimo	< 0,005		
Média	0,43	Média	< 0,005	Média	0,07		
Mediana	0,36	Mediana	< 0,005	Mediana	0,07		

4.1.8.3. Águas Superficiais

Nas tabelas 4.33 e 4.34 apresentam-se os teores totais obtidos na determinação do fósforo total nas águas superficiais (coluna de água) e os máximos, mínimos, médios e medianos resultantes do tratamento estatístico dos resultados totais obtidos.

Para as águas superficiais (coluna de água) recolhidas ao longo do córrego Consciência mantiveram-se os teores relativamente baixos nos dois períodos sazonais, sendo o teor máximo observado na época pós-seca, ligeiramente superior ($0,55 \text{ mg.l}^{-1}$) ao observado na época pós-chuva, nas mesmas amostras ($0,40 \text{ mg.l}^{-1}$).

Tabela 4.33: Valores de fósforo total determinados nas águas superficiais (coluna de água) recolhidas na campanha de Novembro de 2013.

Amostra	Data	Hora de Recolha	T °C	Prof. (m)	P (mg.l^{-1})
CA1-14 Sup	11-11-2013	12:20	33,3	1	0,105
CA1-14 Sup	18-11-2013	08:20	22,6	1	< 0,005
CA1-24 Sup	11-11-2013	15:45	28,2	1	0,165
CA1-24 Fundo	11-11-2013	15:45	28,7	1	0,135
CA1-24	14-11-2013	13:40	25,1	1	0,35
CA1-26	11-11-2013	-	30,7	1-1,2	0,0875
CA1-28 Sup	11-11-2013	17:05	28,8	1,5	0,1175
CA1-28 Fundo	11-11-2013	17:05	28,7	1,5	0,1025
CA1-28 Sup	14-11-2013	14:05	24,8	1,5	0,48
CA1-29 Sup	11-11-2013	17:40	27	2	0,105
CA1-29 Fundo	11-11-2013	17:40	28,8	2	0,0775
CA1-29 Sup	14-11-2013	13:20	24,9	2	0,315
CA1-35	12-11-2013	16:00	32,6	0,8	0,5475
CA1-35	18-11-2013	08:50	23,9	0,8	0,235
CA1-47 Sup	14-11-2013	-	2,5	2,5	0,4525
Máximo	-	-	-	-	0,55
Mínimo	-	-	-	-	< 0,005
Média	-	-	-	-	0,23
Mediana	-	-	-	-	0,15

Tabela 4.34: Valores de fósforo total determinados nas águas superficiais (coluna de água) recolhidas na campanha de Março de 2014.

Amostra	Data	Hora de Recolha	T °C	Prof. (m)	P (mg.l ⁻¹)
CA1-14	11-03-2014	-	29,2	1	0,3375
CA1-26 Sup	12-03-2014	10:55	26,8	1	< 0,005
CA1-26 Fundo	12-03-2014	10:55	26,1	1	0,025
CA1-27 Sup	12-03-2014	10:05	26,4	2,4	< 0,005
CA1-27A	17-03-2017	08:38	24,9	2,4	0,275
CA1-29 Sup	12-03-2014	09:20	26,6	2,1	0,13
CA1-29 Fundo	12-03-2014	10:05	26,2	2,1	0,31
CA1-35 Sup	10-03-2014	15:20	28,9	1	0,3975
CA1-35	14-03-2014	09:30	25,1	1	0,2825
CA1-48	11-03-2014	10:30	25,1	1,2	0,3975
CA1-48	17-03-2014	09:00	24,7	-	< 0,005
CA1-49	11-03-2014	15:20	26,5	-	0,0675
CA1-49	17-03-2014	09:20	26,7	-	0,3025
CA1-50 Sup	12-03-2014	11:30	27,7	1,4	0,15
CA1-50 Sup	12-03-2014	11:30	27,7	1,4	< 0,005
Máximo	-	-	-	-	0,40
Mínimo	-	-	-	-	< 0,005
Média	-	-	-	-	0,24
Mediana	-	-	-	-	0,28

4.1.9. Análise de Sulfatos

O teor em sulfatos foi igualmente determinado nas amostras aluvionares, águas intersticiais, águas superficiais (coluna de água) e nos extractos resultantes dos ensaios de lixiviação. Esta determinação justificou-se primeiramente pelo facto de uma parte do minério beneficiado na unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A ser de origem sulfuretada mas, principalmente, por serem visíveis durante o período sazonal mais seco (Setembro e Novembro de 2013), depósitos de sulfatos precipitados quer nas margens do córrego Consciência quer nas planícies aluvionares, provenientes da oxidação química do minério sulfatado processado industrialmente.

4.1.9.3. Águas Superficiais

Nas tabelas 4.37 e 4.38 apresentam-se os teores totais de sulfatos nas águas superficiais (coluna de água) e os valores máximos, mínimos, médios e medianos para todas as campanhas de amostragem.

Para as águas superficiais (coluna de água) amostradas ao longo do córrego Consciência mantiveram-se os teores relativamente baixos nos dois períodos sazonais, sendo o teor máximo determinado na época pós-seca ligeiramente superior ($4,48 \text{ mg.l}^{-1}$) ao observado na época pós-chuva nas mesmas amostras ($3,46 \text{ mg.l}^{-1}$).

Tabela 4.37: Valores de sulfatos para as águas superficiais (coluna de água) amostradas na campanha de Novembro de 2013.

Amostra	Data	Hora de Recolha	T °C	Prof. (m)	Sulfatos (mg.l^{-1})
CA1-14 Sup	11-11-2013	12:20	33,3	1	3,66
CA1-14 Sup	18-11-2013	08:20	22,6	1	4,48
CA1-24 Sup	11-11-2013	15:45	28,2	1	1,26
CA1-24 Fundo	11-11-2013	15:45	28,7	1	1,97
CA1-24	14-11-2013	13:40	25,1	1	2,56
CA1-26	11-11-2013	-	30,7	1-1,2	1,18
CA1-28 Sup	11-11-2013	17:05	28,8	1,5	0,49
CA1-28 Fundo	11-11-2013	17:05	28,7	1,5	0,46
CA1-28 Sup	14-11-2013	14:05	24,8	1,5	0,41
CA1-29 Sup	11-11-2013	17:40	27	2	0,21
CA1-29 Fundo	11-11-2013	17:40	28,8	2	0,16
CA1-29 Sup	14-11-2013	13:20	24,9	2	0,42
CA1-35	12-11-2013	16:00	32,6	0,8	0,08
CA1-35	18-11-2013	08:50	23,9	0,8	0,42
CA1-47 Sup	14-11-2013	-	2,5	2,5	0,48
Máximo	-	-	-	-	4,48
Mínimo	-	-	-	-	0,08
Média	-	-	-	-	1,22
Mediana	-	-	-	-	0,48

Tabela 4.38: Valores de sulfatos para as águas superficiais (coluna de água) amostradas na campanha de Março de 2014.

Amostra	Data	Hora de Recolha	T °C	Prof. (m)	P (mg.l ⁻¹)
CA1-14	11-03-2014	-	29,2	1	3,46
CA1-26 Sup	12-03-2014	10:55	26,8	1	0,44
CA1-26 Fundo	12-03-2014	10:55	26,1	1	1,20
CA1-27 Sup	12-03-2014	10:05	26,4	2,4	0,31
CA1-27A	17-03-2017	08:38	24,9	2,4	0,46
CA1-29 Sup	12-03-2014	09:20	26,6	2,1	0,30
CA1-29 Fundo	12-03-2014	10:05	26,2	2,1	1,17
CA1-35 Sup	10-03-2014	15:20	28,9	1	0,08
CA1-35	14-03-2014	09:30	25,1	1	0,08
CA1-48	11-03-2014	10:30	25,1	1,2	0,13
CA1-48	17-03-2014	09:00	24,7	-	0,14
CA1-49	11-03-2014	15:20	26,5	-	0,08
CA1-49	17-03-2014	09:20	26,7	-	0,08
CA1-50 Sup	12-03-2014	11:30	27,7	1,4	1,04
CA1-50 Sup	12-03-2014	11:30	27,7	1,4	0,84
Máximo	-	-	-	-	3,46
Mínimo	-	-	-	-	0,08
Média	-	-	-	-	0,65
Mediana	-	-	-	-	0,31

4.1.9.4. Teor em Sulfatos nas Soluções Resultantes dos Ensaios de Lixiviação

Foram ainda determinados os teores em sulfatos nas soluções resultantes dos ensaios de lixiviação, de forma a se perceber de que forma o factor pluviométrico poderá influenciar a dissolução dos sulfatos presentes na área em estudo. Assim, encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.33) os resultados totais obtidos para a análise do teor em sulfatos nas soluções lixiviadas de acordo com as horas de agitação consideradas (1h, 3h, 18h, 24h e 48h). De forma a se poder estabelecer uma comparação entre os dados obtidos, ir-se-á apresentar os valores estatísticos (máximo, mínimo, média e mediana) correspondentes aos teores de sulfatos das soluções ao fim de 1 hora e vinte e 24 horas de agitação, representados, de acordo com as áreas correspondentes na tabela 4.39.

A análise das soluções resultantes dos ensaios de lixiviação revelou-se muito importante na identificação dos elementos em fases mais lábeis e, por sua vez, mais solúveis e sujeitos ao efeito da precipitação. Verificou-se logo após 1 hora de agitação, concentrações médias muito elevadas em sulfatos em todas as áreas, comparativamente com a área A0, tendo-se destacado como esperado, a área A2 o que é concordante com a presença de crostas sulfatadas na superfície aluvionar. Assim, os elevados teores obtidos estarão provavelmente relacionados com a dissolução das crostas sulfatadas devido somente à acção pluviométrica. Esta dissolução processa-se rapidamente, assim como o transporte de sulfatos, através das águas pluviais, muito elevado para zonas localizadas a montante.

Tabela 4.39: Valores máximos, mínimos, médios e medianos em sulfatos determinados nas soluções lixiviadas durante 1 hora e 24 horas de agitação.

1h	Sulfatos (mg.l ⁻¹)	Sulfatos (mg.l ⁻¹)	24h	Sulfatos (mg.l ⁻¹)	Sulfatos (mg.l ⁻¹)		
Área A0	N = 7	Área A2	N = 18	Área A0	N = 7	Área A2	N = 18
Máximo	37,52	Máximo	373,47	Máximo	0,78	Máximo	4,11
Mínimo	8,59	Mínimo	116,84	Mínimo	0,07	Mínimo	0,96
Média	13,92	Média	217,65	Média	0,24	Média	2,29
Mediana	9,82	Mediana	208,24	Mediana	0,08	Mediana	2,28
Área A1	N = 25	Área A3	N = 5	Área A1	N = 25	Área A3	N = 5
Máximo	248,82	Máximo	116,48	Máximo	3,04	Máximo	0,99
Mínimo	13,28	Mínimo	40,79	Mínimo	0,12	Mínimo	0,22
Média	82,45	Média	71,61	Média	0,84	Média	0,50
Mediana	38,76	Mediana	56,19	Mediana	0,36	Mediana	0,42

4.2. Análises Físicas

4.2.1. Análise Granulométrica

4.2.1.1. Granulometria da Fracção Arenosa

A análise granulométrica da fracção arenosa, realizada nas fracções de dimensão $> 63 \mu\text{m}$, permitiu determinar as percentagens das diferentes classes granulométricas da classe areia, presente nas amostras. Em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.34) encontram-se todas as percentagens determinadas nas diferentes fracções granulométricas consideradas, apresentando-se na tabela 4.40 as percentagens máximas, mínimas, médias e medianas.

Verificam-se, em média, percentagens mais elevadas das fracções arenosas mais finas ($> 500 \mu\text{m}$, $> 355 \mu\text{m}$, $> 250 \mu\text{m}$, $> 125 \mu\text{m}$ e $> 90 \mu\text{m}$) para todas as áreas, sendo os valores médios mais elevados encontrados na fracção $> 125 \mu\text{m}$ nas áreas A1, A2 e A3. Na área A1 verifica-se um ligeiro aumento da fracção arenosa mais grosseira ($> 1,40 \text{ mm}$, $> 1,00 \text{ mm}$ e $> 710 \mu\text{m}$), destacando-se nesta área, o teor médio obtido na fracção de dimensão $> 2,0 \text{ mm}$, correspondente a balastro. Assim, de acordo com a separação granulométrica realizada nas amostras aluvionares existe uma predominância geral das fracções mais finas da classe areia ($> 63 \mu\text{m}$), classificando-se as aluviões como amostras granulometricamente finas, relativamente à fracção de dimensão da areia.

Tabela 4.40: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem determinada nas fracções > 2,0 mm, >1,40 mm, >1,00mm, > 710 µm , >500 µm, > 355 µm, > 250 µm, > 180 µm, > 125 µm , > 90 µm.

Fracção > 63 µm (%)										
	>2,0 mm	>1,40 mm	>1,00 mm	>710 µm	>500 µm	>355 µm	>250 µm	>180 µm	>125 µm	>90 µm
Área A0 N = 11										
Máximo	40,81	7,29	4,78	3,30	9,22	22,26	10,97	11,91	26,96	23,26
Mínimo	-	-	-	0,03	0,14	0,91	0,41	0,34	0,43	0,23
Média	13,09	2,67	1,93	1,67	4,22	10,68	6,13	6,91	11,60	8,02
Mediana	9,03	2,13	1,61	1,68	3,80	10,03	6,92	6,70	8,02	3,13
Área A1 N = 127										
Máximo	44,25	8,02	5,72	6,98	9,10	12,29	12,37	15,27	29,69	20,76
Mínimo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	1,63	0,45	0,52	0,57	0,88	1,35	1,74	3,82	10,94	10,21
Mediana	-	0,03	0,07	0,09	0,20	0,43	0,84	3,54	10,14	9,65
Área A2 N = 20										
Máximo	22,35	2,05	2,94	3,39	3,54	6,12	10,91	14,25	15,62	13,93
Mínimo	-	-	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Média	4,14	0,81	0,89	0,96	1,21	1,57	2,27	3,20	5,55	5,50
Mediana	1,50	0,71	0,74	0,79	0,93	1,13	1,30	1,95	4,67	5,94
Área A3 N = 27										
Máximo	13,16	3,81	3,96	3,36	3,92	4,76	6,68	9,96	37,72	22,51
Mínimo	-	-	-	0,03	0,09	0,11	0,09	0,14	0,53	2,54
Média	1,65	0,57	0,60	0,61	0,78	1,05	1,60	3,81	13,20	12,17
Mediana	0,05	0,22	0,19	0,17	0,25	0,47	0,84	3,50	13,14	11,71

4.2.1.2. Classificação Textural das Amostras

A análise granulométrica em que assentou a classificação textural das amostras aluvionares permitiu determinar a percentagem da fracção arenosa, siltosa e argilosa existente na fracção < 63 µm. Os resultados e a classificação de acordo com o diagrama de *Shepard* encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.35), apresentando-se na tabela 4.41, divididos pelas áreas em estudo, os valores máximos, mínimos, médios e medianos.

As amostras aluvionares apresentam teores médios de areia relativamente elevados, na ordem dos 40 e 70% nas áreas A0 e A3 e mais reduzidos nas áreas A2 e A1, que rondam os 20 e 30%. Assim, verifica-se a predominância da fracção arenosa e siltosa, na ordem dos 30 e 40% nas áreas A1, A2 e A3, sendo as amostras maioritariamente classificadas como areia siltosa e silto arenosas, de acordo com a classificação de *Shepard* (1954). A fracção argilosa atinge a

percentagem média mais elevada na área A2, rondando os 20% nas restantes áreas à excepção da área A0.

Tabela 4.41: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem de areia, silte e argila da fracção < 63 µm das aluviões da área em estudo.

	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)		Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
	Área A0 N = 11				Área A2 N = 26		
Máximo	93,58	67,79	19,78	Máximo	81,52	75,37	64,81
Mínimo	31,20	3,93	1,01	Mínimo	1,66	2,44	0,42
Média	72,97	18,02	9,01	Média	29,55	42,32	28,13
Mediana	83,34	11,07	5,58	Mediana	22,68	45,10	25,07
	Área A1 N = 180				Área A3 N = 26		
Máximo	90,00	78,92	81,39	Máximo	77,37	51,59	46,02
Mínimo	1,64	2,01	2,51	Mínimo	13,56	12,48	6,42
Média	38,57	35,54	25,89	Média	47,46	29,82	22,72
Mediana	37,12	35,52	23,97	Mediana	46,49	29,13	19,23

4.2.2. Análise Granulométrica das Amostras com maior Índice de Contaminação

A separação em três classes granulométricas de algumas amostras aluvionares, que apresentaram concentrações mais elevadas em elementos contaminantes, teve como objectivo a determinação da fracção preferencialmente mais contaminada, como foi anteriormente analisado. Assim, a contabilização percentual das fracções granulométricas foi igualmente realizada, encontrando-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.36) as percentagens determinadas para cada fracção considerada. Na tabela 4.42 encontram-se os valores máximos, mínimos, médios e medianos percentuais de acordo com as áreas consideradas.

Da análise estatística realizada é visível o predomínio, nas amostras com maior índice de contaminação, da fracção > 63 µm nas áreas A0 e A1, na ordem dos 30 a 70% e da fracção < 63 µm - > 2 µm nas áreas A2 e A3 (30 a 40 %). Na fracção < 2 µm verificaram-se valores na ordem dos 20% nas áreas A2 e A3.

Tabela 4.42: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da percentagem determinada nas fracções > 63 µm, < 63 µm - > 2 µm e < 2 µm de acordo com a área, para as amostras aluvionares com maior índice de contaminação.

	>63 µm (%)	< 63 - > 2 µm (%)	< 2 µm (%)		>63 µm (%)	< 63 - > 2 µm (%)	< 2 µm (%)
	Área A0 N = 4				Área A2 N = 13		
Máximo	85,79	33,72	19,56	Máximo	69,44	51,95	37,35
Mínimo	56,89	8,29	1,76	Mínimo	0,57	8,09	11,88
Média	69,55	21,21	9,54	Média	17,82	38,05	21,77
Mediana	67,76	21,42	8,42	Mediana	11,62	38,54	20,73
	Área A1 N = 23				Área A3 N = 4		
Máximo	62,12	43,08	27,97	Máximo	48,56	50,88	23,64
Mínimo	7,09	17,49	7,06	Mínimo	29,31	30,14	18,45
Média	33,44	31,82	16,97	Média	36,19	41,64	20,73
Mediana	34,06	29,77	15,73	Mediana	33,44	42,76	20,41

4.2.3. Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade

Foi ainda determinada a porosidade, a densidade aparente e a densidade das partículas que compõem as aluviões da área em estudo. Em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.37) apresentam-se os valores totais, correspondentes a todas as amostras ensaiadas, encontrando-se na tabela 4.43 os valores máximos, mínimos, médios e medianos das percentagens calculadas para estes parâmetros físicos de acordo com as áreas amostradas.

As amostras da área A0 foram as que apresentaram, em média, maior densidade aparente, e por sua vez menores percentagens de porosidade que rondam os 30%. Contrariamente, as restantes áreas apresentam valores mais reduzidos de densidade aparente e, por sua vez, valores mais elevados de porosidade, rondando em média os 40%, atingindo o valor máximo na área A1 de aproximadamente 86%. Estes valores de porosidade deverão relacionar-se directamente com o grau de compactação e com a textura das amostras, sendo a porosidade tanto maior, quanto menores forem as partículas que compõem as amostras. Facto que se confirma com a predominância das fracções granulométricas mais finas nas áreas A1, A2 e A3, com destaque na A2 onde se encontram os valores médios de porosidade mais elevados.

Tabela 4.43: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da densidade aparente, densidade das partículas e porosidade das aluviões.

	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	Densidade partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)		Densidade aparente (g.cm ⁻³)	Densidade partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)
	Área A0 N = 11				Área A2 N = 26		
Máximo	2,19	2,84	36,60	Máximo	2,16	3,53	57,03
Mínimo	1,67	2,58	18,80	Mínimo	1,27	2,55	28,13
Média	1,91	2,69	29,05	Média	1,58	2,87	44,86
Mediana	1,83	2,68	31,25	Mediana	1,61	2,81	44,30
	Área A1 N = 175				Área A3 N = 30		
Máximo	2,21	3,42	85,73	Máximo	1,96	3,09	54,50
Mínimo	0,40	2,20	24,28	Mínimo	1,31	2,46	28,37
Média	1,50	2,73	44,52	Média	1,65	2,72	39,26
Mediana	1,54	2,69	42,37	Mediana	1,66	2,70	38,65

4.2.4. Condutividade Hidráulica Saturada (Permeabilidade)

A determinação da permeabilidade (condutividade hidráulica saturada) teve como objectivo a avaliação do risco de migração dos metais potencialmente tóxicos concentrados nas aluviões, em direcção aos aquíferos, sendo a avaliação realizada em condições de saturação em amostras perturbadas. O ensaio foi realizado apenas nas amostras que com quantidade suficiente à admitida para o preenchimento dos anéis do permeâmetro utilizado. Em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.38) encontram-se os dados gerais obtidos neste ensaio, apresentando-se na tabela 4.44 os valores máximos, mínimos, médios e medianos determinados de acordo com as áreas consideradas.

Nas aluviões, os valores da permeabilidade denotam um comportamento hidráulico médio semelhante nas áreas A0 e A2, diminuindo ligeiramente nas áreas A1 e A3. A permeabilidade média mais baixa foi determinada na área A3 que possui uma porosidade média que ronda os 40%. A permeabilidade mais elevada foi identificada na área A2 com valores de cerca 45%, sendo em geral a permeabilidade da área em estudo muito semelhante e encontrando-se nas mesmas ordens de grandeza. Este facto poderá estar também relacionado com as elevadas percentagem das fracções granulometricamente mais finas (silte e argila).

Tabela 4.44: Valores máximos, mínimos, médios e medianos da condutividade hidráulica saturada das aluviões.

	K_s (cm/dia)	K_s (m/s)		K_s (cm/dia)	K_s (m/s)
	Área A0 N = 7			Área A2 N = 21	
Máximo	614,62	7,11E ⁻⁰⁵	Máximo	630,38	7,30E ⁻⁰⁵
Mínimo	7,06	8,17E ⁻⁰⁷	Mínimo	0,31	3,63E ⁻⁰⁸
Média	204,08	2,36E ⁻⁰⁵	Média	218,11	2,52E ⁻⁰⁵
Mediana	52,97	6,13E ⁻⁰⁶	Mediana	149,90	1,73E ⁻⁰⁵
	Área A1 N = 79			Área A3 N = 19	
Máximo	630,38	7,30E ⁻⁰⁵	Máximo	417,80	4,84E ⁻⁰⁵
Mínimo	0,30	3,51E ⁻⁰⁸	Mínimo	0,52	6,07E ⁻⁰⁸
Média	116,36	1,35E ⁻⁰⁵	Média	107,94	1,25E ⁻⁰⁵
Mediana	67,57	7,82E ⁻⁰⁶	Mediana	43,36	5,02E ⁻⁰⁶

4.2.5. Petrografia e Mineralogia da Fracção Arenosa

A análise petrográfica e mineralógica da fracção arenosa teve como objectivo a identificação de possíveis fases minerais portadoras de metais contaminantes, nomeadamente o As, Cd, Pb e Zn. Para o efeito, foram seleccionadas 11 das amostras que apresentaram teores mais elevados em Zn (0,19 – 5,85%) e Fe (3,70 – 15,31%), apresentando-se os teores para as amostras consideradas na tabela 4.45 e o seu primeiro tratamento estatístico na tabela 4.46.

Tabela 4.45: Tipologia das aluviões estudadas para a petrografia e mineralogia da fracção arenosa e respectivos teores em S, Fe e Zn.

Amostra	Prof. (cm)	Zn (wt%)	Fe (wt%)	S (wt%)	Classificação Shepard
Área A1					
CA1-14	80-100	1,01	5,78	0,22	Areia Siltosa
CA1-26	0-20	1,34	4,37	0,32	Areia
CA1-29	0-5	0,19	3,70	0,94	Areia Siltosa
CA1-51	0-20	3,29	9,64	0,47	Areia
Área A2					
CA2-10	0-20	2,90	5,24	0,81	Silte Arenoso
	20-40	5,85	15,31	0,15	Silte Argiloso
CA2-12	20-40	2,22	8,92	0,37	Silte Argiloso
	40-60	2,82	7,26	0,36	Silte Argiloso
	60-80	2,20	7,48	0,4	Silte Argiloso
	80-100	2,40	7,52	0,48	Silte Argiloso
Área A3					
CA3-18	20-40	1,32	4,16	0,13	Silte Arenoso

Nestas amostras seleccionadas para os estudos mineralógicos, os teores em Zn e Fe são elevados (Tabela 4.46), particularmente nas áreas A1 e A2. Embora na área A3 tenha sido apenas considerada uma amostra, verifica-se igualmente valores médios relativamente elevados nestes elementos. O enxofre é uniformemente distribuído nas amostras correspondentes às áreas A1 e A2, decrescendo em média na amostra considerada na área A3.

Tabela 4.46: Teores máximos, mínimos, médios em zinco (Zn), ferro (Fe) e enxofre (S) determinados para as aluviões consideradas na análise petrográfica e mineralógica da fracção arenosa, por área.

	Zn (wt%)	Fe (wt%)	S (wt%)		Zn (wt%)	Fe (wt%)	S (wt%)
	Área A1 N = 4				Área A2 N = 7		
Máximo	3,29	9,64	0,94	Máximo	5,85	15,31	0,81
Mínimo	0,19	3,70	0,22	Mínimo	2,20	5,24	0,15
Média	1,46	5,87	0,49	Média	3,07	8,62	0,43
Mediana	1,18	5,08	0,40	Mediana	2,61	7,50	0,39

Zn (wt%)	Fe (wt%)	S (wt%)
Área A3		N = 1
1,32	4,16	0,13

Da análise realizada, foram identificados os principais minerais constituintes das amostras seleccionadas, estando esses resultados representados na Tabela 4.47. Assim, minerais como o quartzo e óxidos de ferro (magnetite, por vezes oxidada para hematite ou goethite) correspondem aos constituintes essenciais das aluviões estudadas, encontrando-se em muito menor proporção feldspatos (microclina e plagioclase sódica) e micas (moscovite e biotite ferrosa parcialmente cloritizada), e pontualmente minerais ocasionais como carbonatos, zircão, apatite monazite, rútilo e alguns sulfuretos. Foram ainda observados sulfatos de cálcio, de composição intermédia entre gesso e anidrite, apenas nas amostras superficiais (0-20 cm de profundidade) da amostra aluvionar CA2-10 (proveniente da área A2).

Tabela 4.47: Mineralogia típica das aluviões estudadas, ocorrência e abundância.

Minerais	Ocorrência	Abundância
Quartzo	-	+++
Magnetite	Hematite ou Goethite	+++
Feldspatos	Microclina e Plagiclase sódica	- - -
Micas	Moscovite e Biotite + + cloretizada	- - -
Carbonatos	Ocasional	- -
Zircão	-	- -
Apatite	-	- -
Monazite	-	- -
Rutílio	-	- -
Sulfuretos	-	- -
Sulfatos de Ca	Intermédia Gesso – Anidrite	- -

+++ : Maior abundância; - - - : Menor abundância; - - : Abundância pontual

Foram ainda identificados como potenciais contaminantes os minerais presentes na tabela 4.48. Verifica a presença de (1) alguma esfalerite (sulfureto de Zn) rica em Cd, encontrada apenas no sedimento superficial CA1-51 (proveniente da área A1), (2) inclusões pontuais de óxido de Zn noutros minerais, na amostra CA2-10 (proveniente da área A2), (3) ocorrência pontual de sulfatos de Cu (ou de Cu ± Zn), na amostra CA2-10 (área A2), (4) sulfatos de Pb associadas a material ferruginoso, em alguns níveis das aluviões CA2-10 e minerais de Willemite (silicato de Zn), de fase ubíqua em todas as amostras observadas, mais abundante nas amostras provenientes da área A2; estes minerais caracterizam-se, pela ocorrência frequente de inclusões de galena (sulfureto de Pb). O estudo petrográfico e mineralógico destas 11 amostras, permitiu identificar que o principal contaminante presente é a Willemite estando as proporções observadas petrograficamente, de modo geral, de acordo com os teores em zinco obtidos nas amostras (Tabela 4.46).

Tabela 4.48: Identificação dos minerais potencialmente contaminantes.

Mineral	Composição	Ocorrência	Distribuição	Amostra	Proveniência
Esfalerite	Sulfureto de Zn +++ em Cd	-	Pontual	CA1-51	Área A1
Óxidos de Zn	Zn	Inclusões em minerais	Pontual	CA2-10	Área A2
Sulfatos de Cu	Cu ou Cu ± Zn	-	Pontual	CA2-10	Área A2
Sulfatos de Pb	Pb	Inclusões associadas a material ferruginoso	Pontual	CA2-10	Área A2
Willemite	Silicato de Zn	Fase ubíqua com inclusões de galena (sulfureto de Pb)	Abundante	Todas	Áreas A1, A2 e A3

4.2.6. Mineralogia de Difrração de Raios-X

A análise mineralógica de difração de raios-x foi realizada em 18 amostras, distribuídas por diferentes profundidades, para a fracção < 2µm correspondente à fracção argilosa, sendo a análise realizada em lâmina normal e glicolada. Foi ainda realizada a análise da fracção < 63µm para 17 amostras (distribuídas por diferentes profundidades), sendo esta análise realizada na amostra moída montada em amostrador DRX para amostras sólidas. Da análise resultou a identificação dos principais minerais, estando presentes nas duas fracções consideradas minerais de argila (caulinite, ilite e esmectite), quartzo, óxidos de ferro (hematite, goethite e clorite), sulfatos de cálcio (gesso), hidróxidos de alumínio (gibbsite) e silicatos de zinco (Willemite). Os resultados e respetiva quantificação dos minerais identificados nas duas fracções granulométricas consideradas serão apresentados e discutidos no capítulo seguinte.

Identificaram-se assim, na generalidade das amostras, minerais do grupo dos minerais feldspáticos, em baixas concentrações (Tabela 4.49 e 4.50).

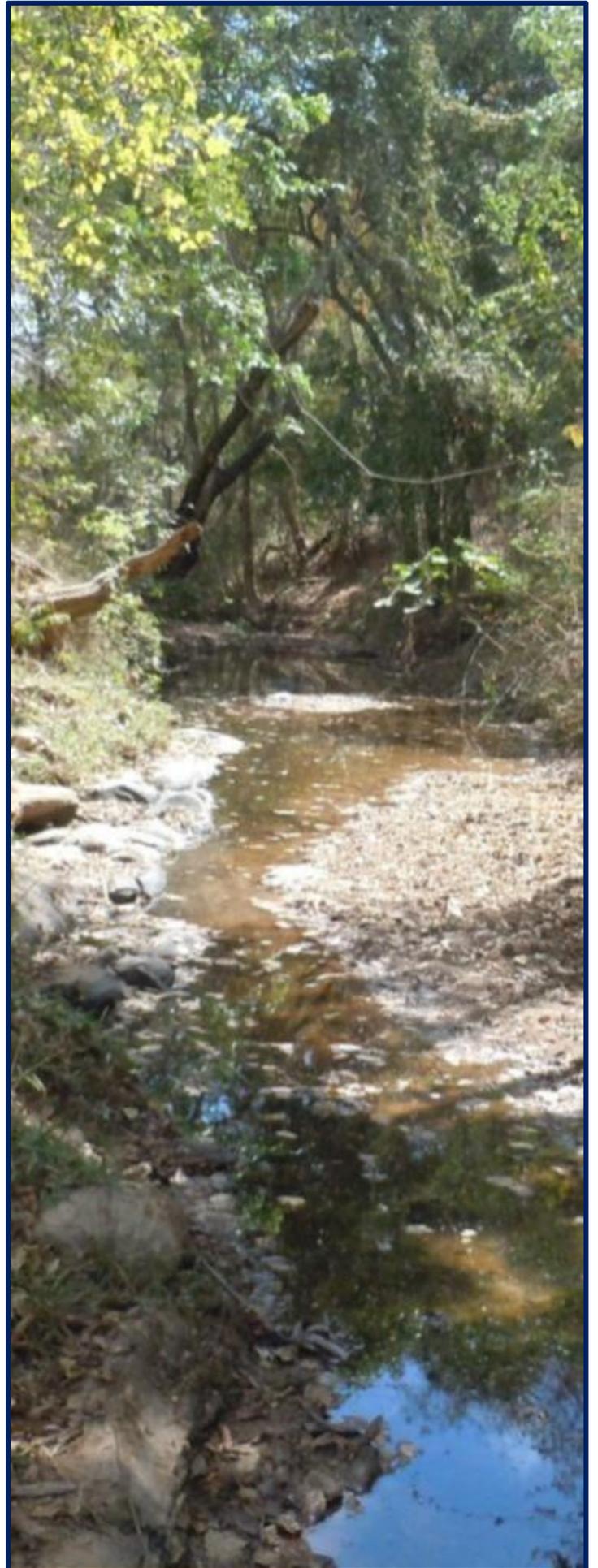
Tabela 4.49: Resultados qualitativos obtidos a partir da análise das amostras consideradas por difração de Raios-X da fracção mais global (inferior a 62 µm). + + + Muito Elevado; + + Elevado; + Moderado; - Reduzido; - - Vestigial; - - - Inexistente.

DRX em Pó (< 63 µm)											
Amostra DRX	Caulinite (C)	Clorite (Cl)	Esfalerite (Esf.)	Gesso (Gess)	Goethite (Goet)	Gibbsite (Gib)	Hematite (He)	Illite (il)	Jarosite (Ja)	Quartzo (Qz)	Willemite (Wil)
Área - A0											
CA0-3A 5-10	-	---	---	-	---	--	-	+	-	+++	---
Área - A1											
CA1-14 80-100	+	-	---	+	--	---	++	+	--	+++	--
CA1-14 60-80 [III]	+	+	---	+	--	--	--	++	-	+++	--
CA1-21 80-100	+	---	---	+	-	-	--	+	-	+++	--
CA1-22 80-100 [III]	+	--	---	+	-	--	-	+	-	+++	--
CA1-26 Sed.	-	-	---	+	---	---	++	++	-	+++	-
CA1-26 [III]	-	-	+	-	--	---	++	+	-	+++	-
CA1-27 5-10	++	---	---	+	+	---	---	++	--	+++	---
CA1-29 0-5	+	-	---	-	+	---	---	+	---	+++	--
CA1-32 60-70+	+	---	---	+	-	---	--	+	-	+++	---
CA1-51 [III]	-	-	---	+	-	---	++	+	---	+++	--
CA1-53 R. [III]	+	-	+	-	---	-	+	+	-	+++	--
Área - A2											
CA2-10 0-20	++ +	---	---	-	---	+	+	+	-	+++	--
CA2-10 20-40	-	--	---	+	-	-	++	+	-	+++	+
CA2-10 80-100	+	--	---	+	--	--	+	+	-	+++	-
CA2-12 20-40	+	---	---	+	-	+	++	+	---	+++	--
CA2-12 40-60	+	---	---	+	++	-	++	++	--	+++	-
CA2-12 60-80	++	-	---	+	++	+	++	+++	-	++	+
CA2-12 80-100	+	-	---	+	++	-	++	++	---	+++	-
Área - A3											
CA3-18 20-40	-	---	---	+	++	--	++	+	---	+++	--
CA3-18 80-100	+	---	---	+	--	--	-	+	--	+++	--
CA3-37 10-20	+	---	---	+	-	-	--	+	-	+++	---

Tabela 4.50: Resultados qualitativos obtidos a partir da análise das amostras consideradas por difracção de Raios-X da fracção mais global (inferior a 2 µm). +++ Muito Elevado; ++ Elevado; + Moderado; - Reduzido; - - Vestigial; - - - Inexistente.

Amostra DRX	Lâminas Fracção Argilosa (< 2 µm)									
	Caulinite (C)	Clorite (Ch)	Esfalerite (Esf.)	Gesso (Ges)	Gibbsite (Gib)	Goethite (Goet)	Hematite (He)	Ilite (il)	Quartzo (Qz)	Willemite (Wil)
Área - A0										
CA0-1A 10-20	++	-	---	---	+	+	---	+++	+++	+
CA0-3A 0-5	+	+	---	---	-	-	---	+++	+++	---
CA0-3A 10-15	++	++	---	---	-	---	---	+++	+	---
Área - A1										
CA1-13 0-20	+++	-	---	--	-	-	---	+++	+	--
CA1-14 0-5	+	-	---	--	--	---	--	+++	+	---
CA1-14 40-60	+++	+	---	---	-	-	---	+++	++	---
CA1-20 0-20	+++	-	-	--	---	+	---	+++	++	---
CA1-20 40-60	+++	-	---	--	-	-	---	+++	++	---
CA1-22 20-40	+++	-	---	--	+	+	---	+++	++	++
CA1-23 0-20	+++	+	-	--	-	-	---	+++	++	---
CA1-27 15-20	+++	++	---	--	+	+	---	++	+++	---
CA1-27 40-43 R.	+++	--	---	-	---	-	---	++	++	---
CA1-29 5-10	++	---	---	---	---	+	---	+++	+++	---
CA1-29 15-20	+++	--	---	--	-	-	---	+++	+	---
CA1-29 20-25	+++	-	---	---	--	+	---	+++	++	---
CA1-29 40-43	+++	--	---	--	---	---	---	++	+	---
CA1-32 10-20	+	---	---	--	---	--	---	++	++	---
CA1-32 60-70+	+	---	---	--	---	---	---	+++	+++	---
CA1-33 40-60	+++	-	---	--	-	-	---	+++	+	---
CA1-34 0-20	+++	+	--	--	---	+	---	+++	++	---
CA1-35 10-20	+++	-	---	--	---	-	---	+++	+	---
CA1-47 5-10	+++	+	---	-	--	--	---	+++	++	---
CA1-47 30-35	+++	-	---	-	-	-	---	+++	++	---
CA1-47 42-45 R.	+++	-	---	--	-	--	---	+++	++	---
Área - A2										
CA2-10 0-20	+++	-	---	-	---	-	---	+++	++	---
CA2-10 20-40	++	--	---	+	-	-	---	++	+++	---
CA2-10 40-60	+	---	---	-	-	-	-	++	+++	-
CA2-12 0-20	+++	-	---	--	---	-	---	+++	++	---
CA2-12 40-60	+++	-	---	--	---	-	---	+++	+	--
Área - A3										
CA3-18 0-20	++	-	---	--	-	-	--	+++	+	---
CA3-18 20-40	+++	--	---	-	---	+	-	+++	++	---
CA3-18 40-60	+++	-	---	---	+	---	---	+++	+	+
CA3-38 10-20	+++	--	---	---	---	-	---	+++	+	---
CA3-38 60-80	++	--	---	---	--	--	---	++	+++	---

5 Discussão



5. Discussão dos Resultados

De forma a simplificar a representação e comparação dos dados obtidos nos diferentes ensaios realizados, optou-se por dividir a discussão dos mesmos em dois grupos gerais. O primeiro correspondente aos ensaios químicos realizados e o segundo relativo aos ensaios físicos.

Os ensaios químicos encontram-se divididos em duas partes: uma primeira que abordará os resultados obtidos para as amostras de águas superficiais e intersticiais e uma segunda onde serão analisados os dados obtidos para as amostras aluvionares. Os ensaios físicos abordarão todos os resultados obtidos, através da análise de parâmetros físicos específicos, em todas as amostras aluvionares consideradas de acordo com o ensaio em análise.

5.1. Ensaio Químicos

Como ensaios químicos foram determinados os parâmetros físico-químicos (pH, Eh e condutividade) para todas as amostras de água de aluviões, assim como os seus teores em metais (determinados através da leitura directa nas águas), mediante aplicação de três métodos sendo (1) digestão por *Aqua Regia* (aluviões e fracção particulada nas águas superficiais), (2) especiação de metais através de extracção sequencial (aluviões) e (3) extracção por acetato de amónio (aluviões). Realizaram-se ainda ensaios de determinação de percentagem em carbono, azoto e enxofre nas amostras aluvionares, assim como os teores em sulfatos e fósforo total para todas as amostras consideradas (águas superficiais, intersticiais e aluviões). Foram ainda determinados os teores em metais nas amostras resultantes dos ensaios de lixiviação realizados em algumas aluviões assim como o seu teor em sulfatos.

Segue-se abaixo a discussão e representação gráfica dos parâmetros determinados e seu relacionamento, de acordo com os ensaios realizados.

5.1.1. Parâmetros Físico-Químicos (pH, Eh e Condutividade Eléctrica)

5.1.1.1. Águas Superficiais

A análise dos parâmetros físico-químicos nas águas superficiais permitiu observar características distintas nas amostras recolhidas nos dois períodos sazonais, embora apenas tenha sido recolhida uma amostra coincidente nas duas épocas (amostra CA1-14). Assim, de acordo com a figura 5.1 na campanha de Novembro de 2013 verificaram-se valores de pH que variam entre 5,00 (amostra CA1-24 Sup) e 9,96 (amostra CA1-47 Sup), com valores médios de 6.7. Na campanha de Março de 2014 o pH varia igualmente dentro da mesma ordem de grandeza com um mínimo de 6,17 (amostra CA1-26 Fundo) e máximo de 7,24 (amostra CA1-27A) e valor médio

de 6.6 (Anexo AI - Tabela AI.2 e AI.3; Figura 5.1). A variação sazonal dos valores de pH é portanto, em média, pouco significativa, sendo as amostras caracterizadas maioritariamente por um pH neutro ou perto do neutro, sendo raras as exceções a esse intervalo de valores.

O Eh (potencial de oxidação/redução) apresenta uma variação sazonal mais notória (Figura 5.1) com oscilações na campanha de Setembro de 2013 entre 86,0 mV (amostra CA1-29 Sup) e 303,0 mV (amostra CA1-28 Sup) e na campanha de Março de 2014 entre 44,0 mV (amostra CA1-50) e 175,0 mV (amostra CA1-49) (Anexo AI - Tabela AI.2 e AI.3; Figura 5.1). Estes valores reflectem assim uma maior oxidação nas amostras recolhidas na época seca (Novembro de 2013) sendo o seu perfil de variações concordante com a condutividade das amostras. Verificando-se aumentos proporcionais ao aumento da condutividade e diminuições do seu valor quando a condutividade é menor, como se pode observar por exemplo para as amostras CA1-28 Sup e CA1-29 Fundo na figura 5.1 – campanha de Novembro de 2013.

Relativamente à condutividade eléctrica os valores mais elevados registaram-se na época da seca (Novembro de 2014), contrariamente ao que ocorre na época das chuvas (Março de 2014) onde os valores se apresentam todos inferiores a 1 mS.cm⁻¹, valor inferior ao valor máximo recomendado (VMR) de 2,5 mS.cm⁻¹ (Mendes, B. *et al.*, 2004) (Figura 5.1). Ora sendo a condutividade eléctrica determinada pelas concentrações das substâncias dissolvidas seria de esperar maiores valores deste parâmetro na época seca, dado o aumento da evaporação e consequentemente uma maior concentração das substâncias dissolvidas, Na época das chuvas estas substâncias encontrar-se-ão mais diluídas, face ao maior afluxo de água.

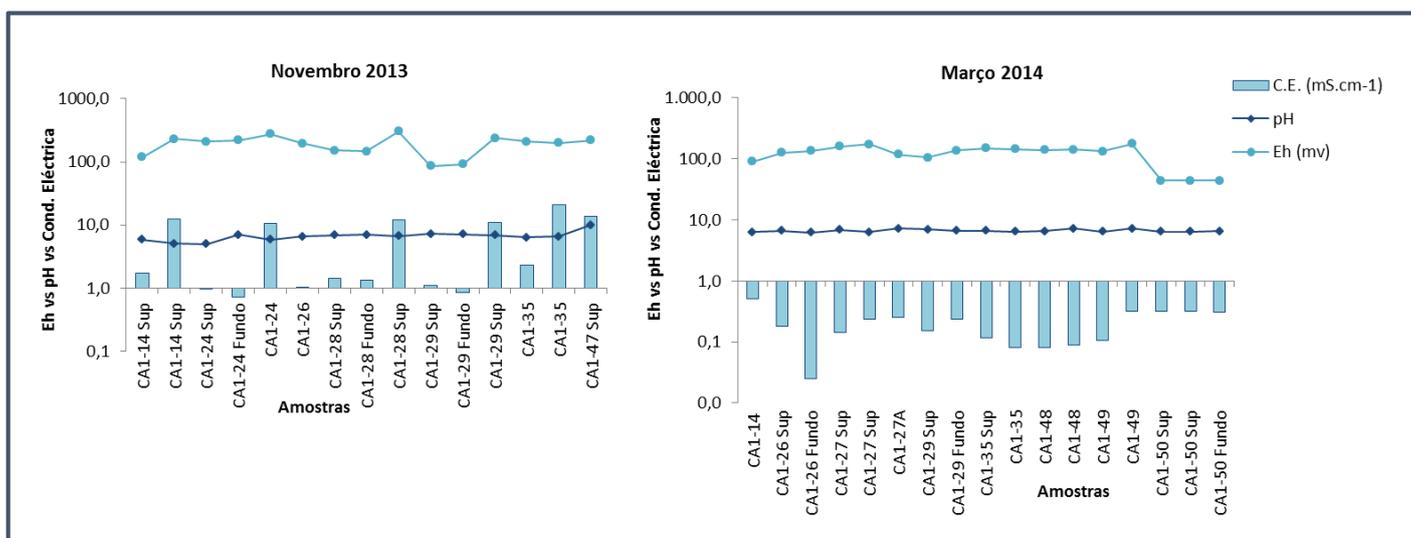


Figura 5.1: Parâmetros físico-químicos determinados nas águas superficiais recolhidas na época da seca (Novembro de 2013) e da chuva (Março de 2014).

5.1.1.2. Águas Intersticiais

Foram igualmente determinados os parâmetros físico-químicos nas águas intersticiais para as duas épocas sazonais, no entanto para as amostras recolhidas na época de Setembro e Novembro de 2013 apenas se analisaram os valores de pH, enquanto na época de Março de 2014 se determinaram os valores de pH e Condutividade Eléctrica (Figura 5.2 e 5.3).

Assim para a época da seca (Setembro e Novembro de 2013) verificaram-se valores de pH para a área A1 (Figura 5.2) que variam entre 1,36 (amostra CA1-35 60-80) e 7,74 (amostra CA1-29 20-25) (Anexo AI - Tabela AI.4; Figura 5.2), apresentando-se assim valores de pH que variam entre valores mais ácidos a neutros. Já nas áreas A2 e A3, para a mesma época sazonal, observaram-se valores de pH que variam entre 5,64 (mínimo, correspondente à amostra CA2-10 80-100) e 6,57 (amostra CA3-38 30-40) (Anexo AI - Tabela AI.4; Figura 5.2). Estes valores não variam muito entre si aparentando assim um pH de carácter pouco ácido muito próximo de neutro.

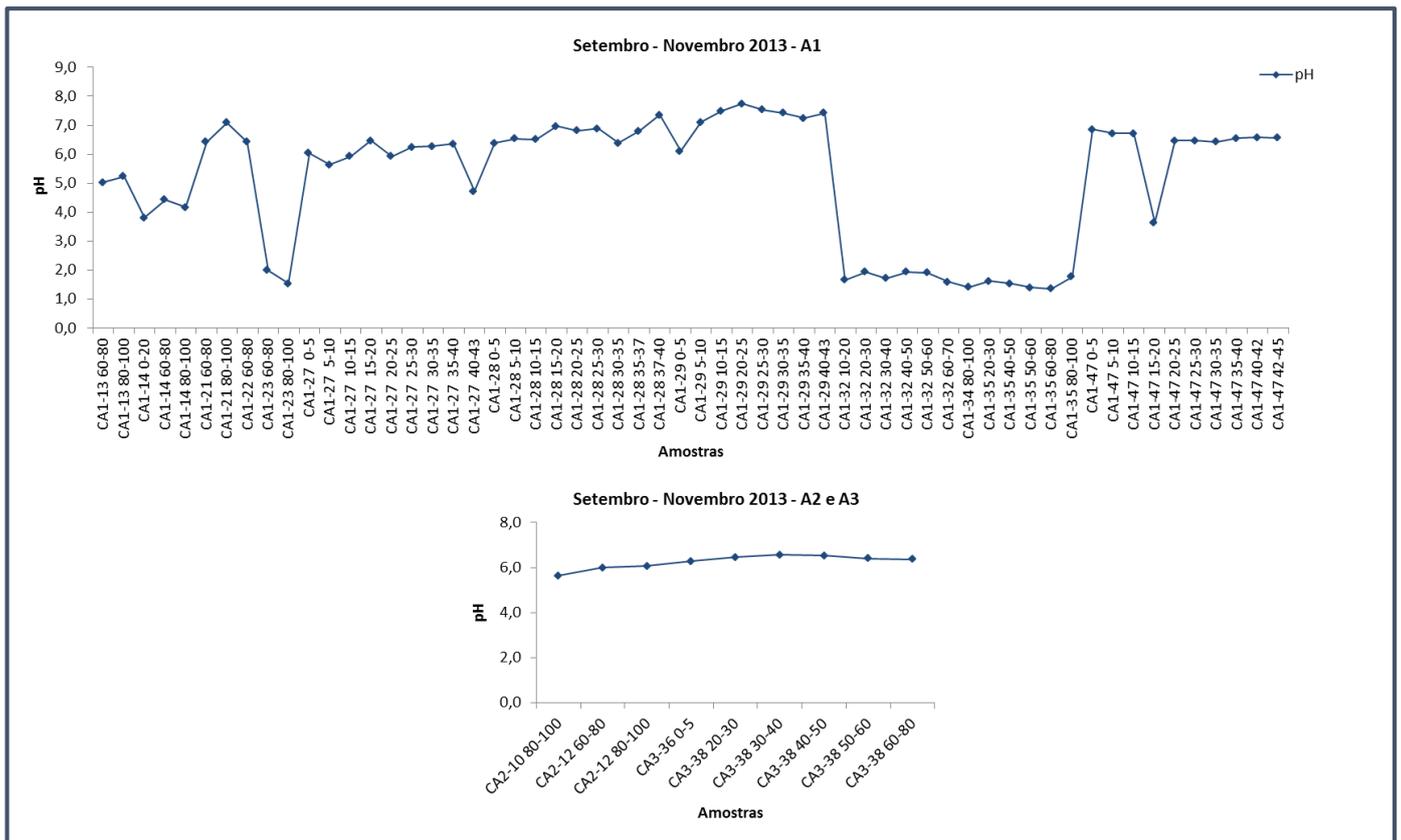


Figura 5.2: Parâmetros físico-químicos determinados nas águas intersticiais recolhidas na época da seca (Setembro - Novembro de 2013) nas áreas A1, A2 e A3.

Para a época da chuva (Março de 2014) verificaram-se valores de pH para a área que variam entre 3,74 (Anexo AI - Tabela AI.4; Figura 5.3), apresentando-se igualmente valores de pH com oscilações entre valores mais ácidos a neutros. Já nas áreas A2 e A3, para a época da chuva, observaram-se valores de pH compreendidos no intervalo entre 4,98 (amostra CA2-12 2,70m [III]) e 7,74 (amostra CA3-38 80-100 [III]) (Anexo AI - Tabela AI.4; Figura 5.3).

Nesta campanha foi ainda determinada a condutividade das amostras, verificando-se valores de condutividade em todas as áreas superiores aos encontrados na coluna de água do córrego, com ordem de grandeza inferior ao limite considerado na generalidade das amostras (VMR: 2,5 mS.cm⁻¹), possivelmente relacionando-se com o factor de diluição por acréscimo de águas pluviais nesta época (Figura 5.3). No entanto verifica-se uma excepção mais notória na amostra CA1-14 (para todas as suas profundidades analisadas) que apresenta valores de condutividade mais elevados e superiores ao VMR de 2,5 mS.cm⁻¹. Estes valores poder-se-ão relacionar com a posição de amostragem deste ponto, uma vez que se encontra muito perto da margem de cheia do córrego Consciência coincidindo ainda com uma zona de meandro (Figura 3.4) o que poderá influenciar a concentração de elementos dissolvidos nesse ponto.

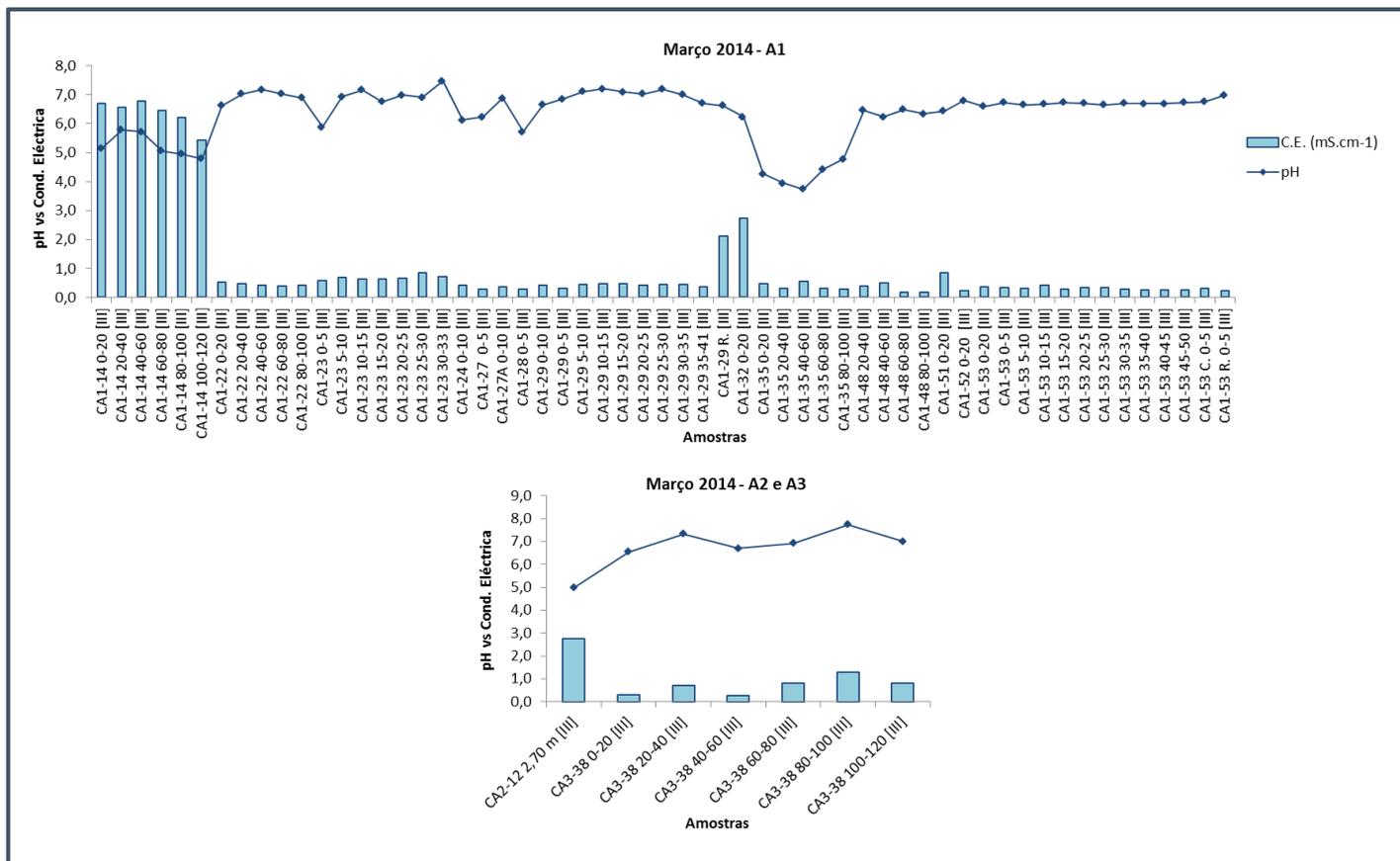


Figura 5.3: Parâmetros físico-químicos determinados nas águas intersticiais recolhidas na época da chuva (Março de 2014) nas áreas A1, A2 e A3.

5.1.1.3. Aluviões

Nas aluviões foram analisados como parâmetros físico-químicos os valores de pH e Eh nas duas épocas sazonais.

Em termos de pH não foram observadas diferenças significativas entre as duas épocas (Setembro - Novembro de 2013 e Março de 2014) nem entre as diferentes áreas analisadas, observando-se na campanha da seca (Setembro – Novembro de 2013) um mínimo de 4,66 (amostra CA3-17 20-40) e um máximo de 7,48 (amostra CA1- 30 0-20) e na campanha da chuva (Março de 2014) um mínimo de 3,08 (correspondente à amostra CA1-35 20-40 [III]) e um máximo de 8,67 (correspondente à amostra CA1-26 5-10 [III]) (Figura 5.4 e 5.5; Anexo AI - Tabela AI.5). O pH apresenta assim valores ácidos a neutros com algumas amostras a tenderem já para valores mais básicos.

Relativamente aos valores de Eh estes apresentam uma variação mais efectiva entre amostras da mesma área e no mesmo período sazonal como é exemplo a área A1 da campanha da seca (Setembro – Novembro 2013) (Figura 5.4). Apesar dessa variação os valores são essencialmente redutores, apresentando a mesma ordem de grandeza, sendo no entanto esse ambiente redutor mais expressivo na campanha de Março de 2014 (época da chuva) (Figura 5.5).

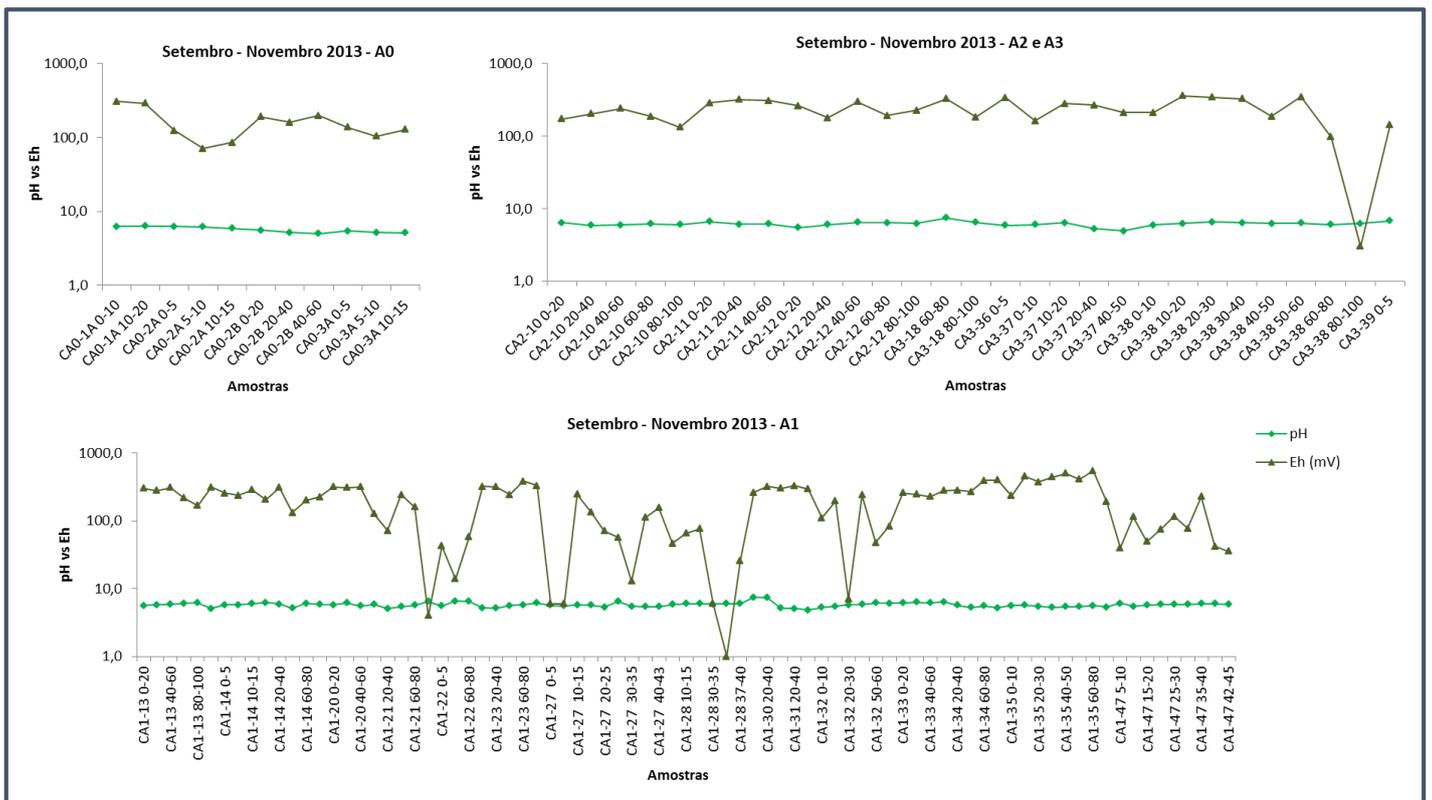


Figura 5.4: Parâmetros físico-químicos determinados nas aluviões recolhidas na época da seca (Setembro – Novembro de 2013) nas áreas A1, A2 e A3.

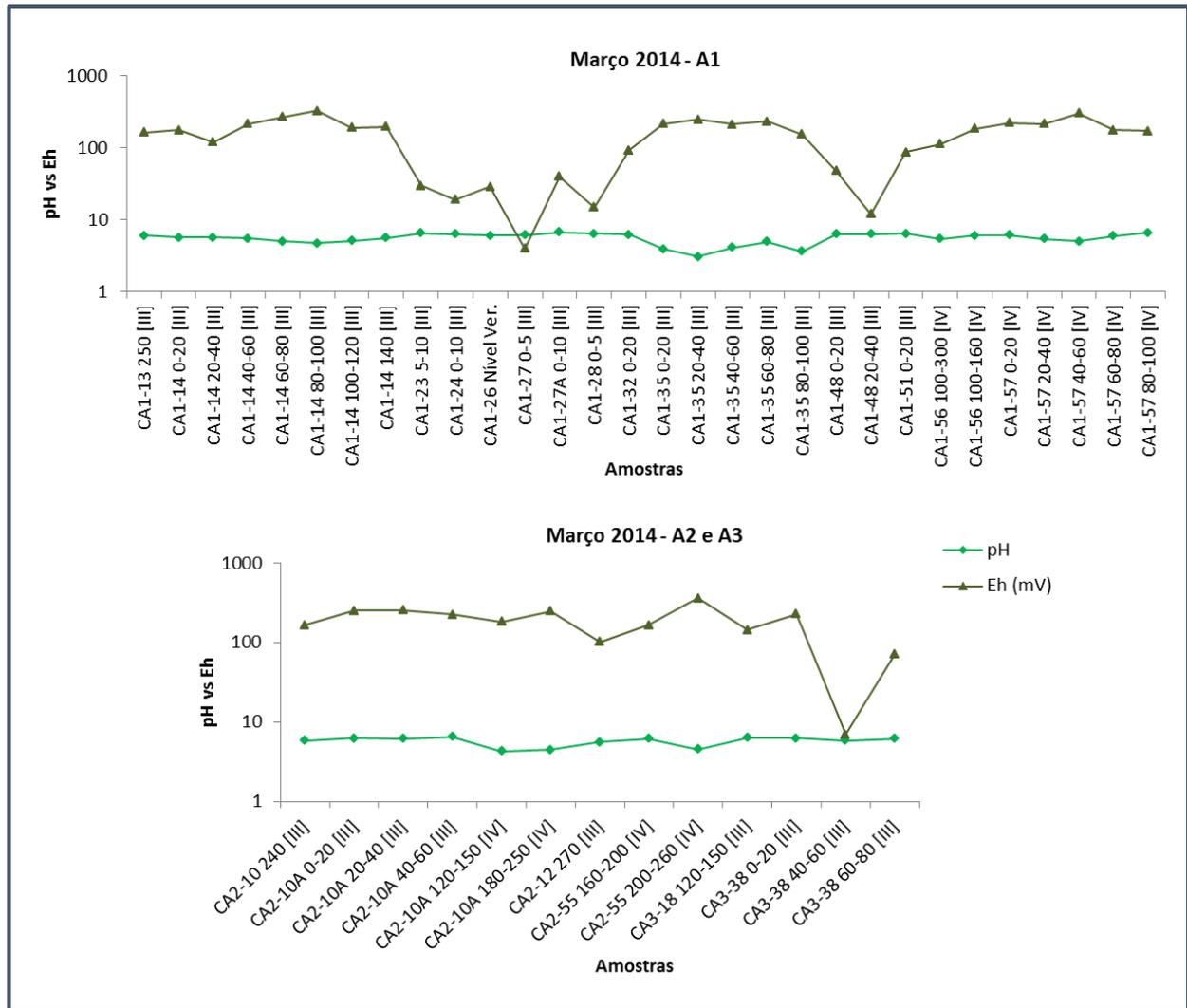


Figura 5.5: Parâmetros físico-químicos determinados nas aluviões recolhidas na época da chuva (Março de 2014) nas áreas A1, A2 e A3.

5.1.2. Química da Fracção Dissolvida

5.1.2.1. Águas Superficiais

A determinação do teor em elementos químicos dissolvidos foi realizada para a coluna de água nas campanhas de Novembro (2013) e Março (2014). Assim, de forma a compreender a variação sazonal química na coluna de água foram analisadas as amostras CA1-14, CA1-26 e CA1-35, correspondendo às amostras coincidentes nas duas campanhas consideradas. Os resultados totais obtidos para todas as águas analisadas encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.6).

Deste modo, todas as amostras (Figuras 5.6, 5.7 e 5.8) apresentam uma notória diminuição na concentração dos elementos químicos analisados no período pós-chuva (relativamente ao período pós-seca), podendo dever-se ao efeito de diluição por acção das águas pluviais. A amostra CA1-14 (Figura 5.6) corresponde à maior variação detetada seguindo-se da amostra CA1-33 (Figura 5.8) e por fim da amostra CA1-26 (Figura 5.7), onde os menores teores são encontrados na amostra recolhida mais superficialmente na campanha pós-chuva. Esta variação na amostra CA1-26 com valores mais elevados em profundidade, na época pós-seca, ocorre devido à constante troca de elementos químicos na interface sedimento-água. Assim verificam-se valores mais elevados de metais a maiores profundidades (Figura 5.7).

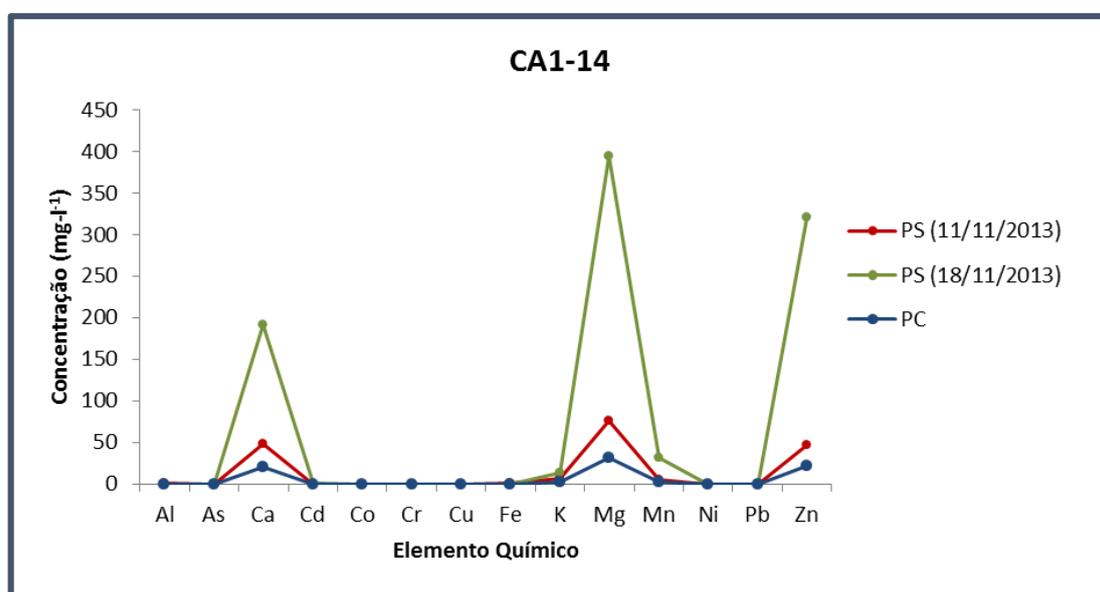


Figura 5.6: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (PS) e pós-chuva (PC) na coluna de água do ponto CA1-14.

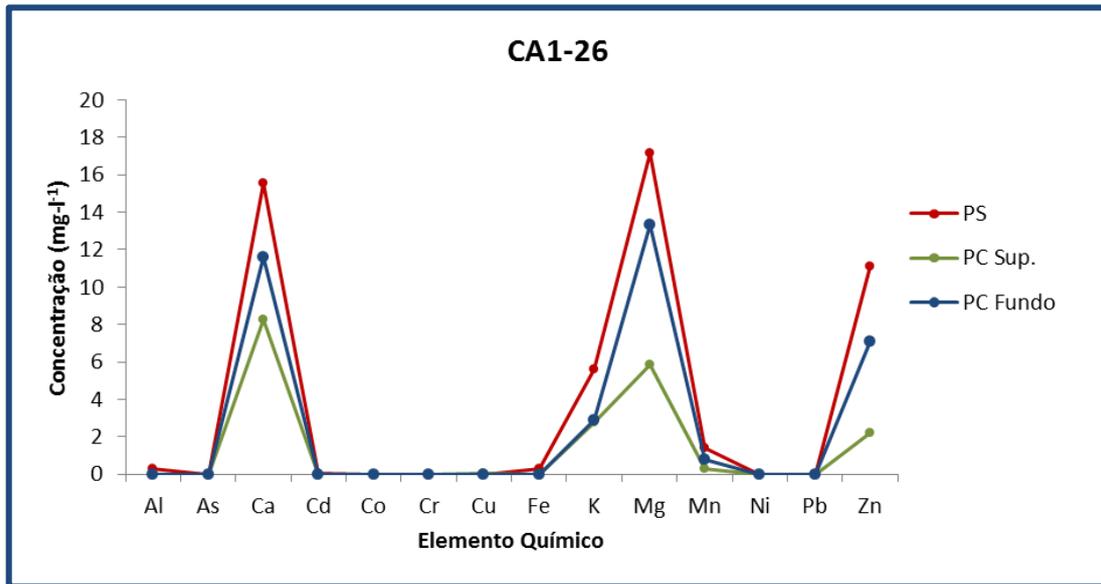


Figura 5.7: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (PS) e pós-chuva (PC) na coluna de água do ponto CA1-26.

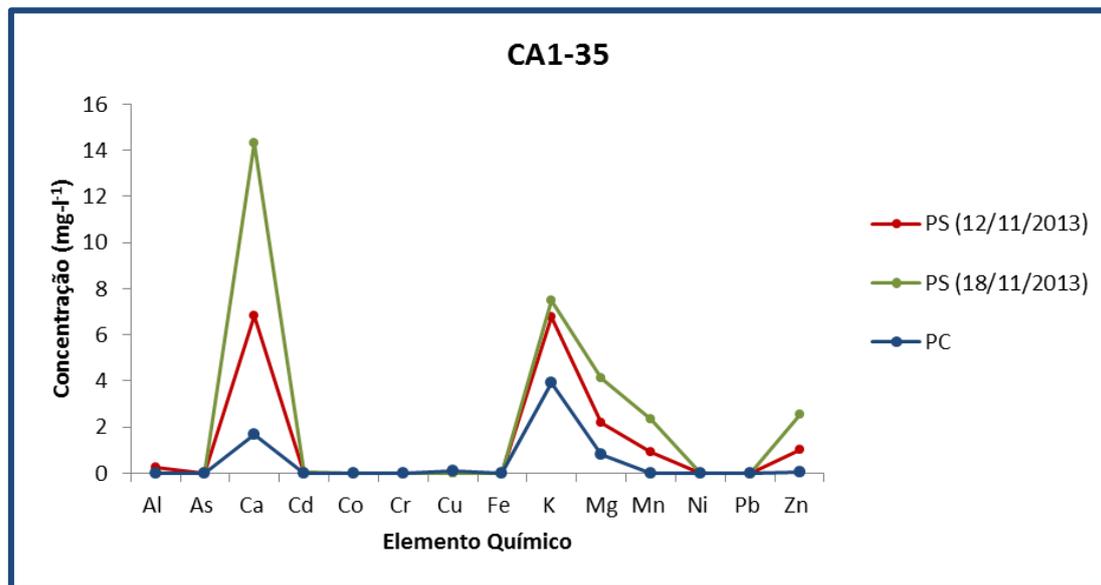


Figura 5.8: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (PS) e pós-chuva (PC) na coluna de água do ponto CA1-35.

Verifica-se ainda que os teores encontrados nas amostras CA1-26 e CA1-35 são significativamente mais baixos que em CA1-14. Uma das justificações para esta discrepância poderá ser a localização destes pontos, uma vez a amostra CA1-14 se encontra numa zona de meandro do córrego Consciência promovendo assim a acumulação de materiais sedimentares, por outro lado, as amostras CA1-26 e CA1-35 encontram-se ao longo da margem do leito do córrego Consciência e estão mais susceptíveis ao arraste de materiais e não à sua deposição, e ao acarreo de material da área A3 (relacionado com a confluência do córrego Consciência e o córrego Grotta Seca e com a localização próxima aos antigos depósitos de resíduos) e da área A2.

5.1.2.2. Águas Intersticiais

À semelhança da análise realizada nas águas superficiais, procedeu-se à comparação dos teores em metais pesados nas águas intersticiais extraídas nas diversas amostras aluvionares, apresentando-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.7) os resultados totais obtidos para todas as amostras analisadas. Para efeito de comparação dos elementos analisados entre amostras recolhidas na campanha pós-seca e pós-chuva, foram apenas consideradas as amostras cuja amostragem de água intersticial foi realizada nas aluviões replicadas nos dois períodos de forma contínua em profundidade. Assim consideraram-se as amostras CA1-14, CA1-22 (Figura 5.9), CA1-29, CA1-35 (Figura 5.10) e CA3-38 (Figura 5.11).

De uma forma geral, através da análise das figuras, não se verificam padrões comuns entre as amostras, no entanto em cada uma ocorrem diferenças significativas entre as duas estações, sendo que os teores tendem, no geral, a diminuir, nas camadas mais superficiais, na estação das chuvas. Este comportamento relaciona-se provavelmente com o efeito de diluição provocado pelas águas pluviais e sua infiltração proveniente do aumento do caudal do córrego Consciência e conseqüente arraste de metais para zonas mais profundas, promovendo, assim o aumento do teor em metais na época das chuvas em profundidade.

Pelo contrário na época da seca verifica-se, no geral, um aumento da concentração de metais nas camadas mais superficiais e conseqüente diminuição em profundidade, facto este que se poderá dever à evaporação da água existente nos materiais sedimentares e conseqüente arraste de metais de zonas mais profundas para as camadas mais superficiais.

A amostra CA1-35 (Figura 5.10) difere um pouco do comportamento geral, podendo-se verificar para a profundidade 20 a 14 cm um decréscimo da concentração de metais nas duas estações (seca e chuva). Esta variação poderá estar relacionada com o aumento da porosidade e permeabilidade (determinada em laboratório Anexo AI – Tabelas AI.37 e AI.38) nesta camada, levando a uma maior diluição e transporte dos elementos metálicos, uma vez que não se verificaram alterações significativas nos teores determinados através da digestão parcial (*Aqua Regia*).

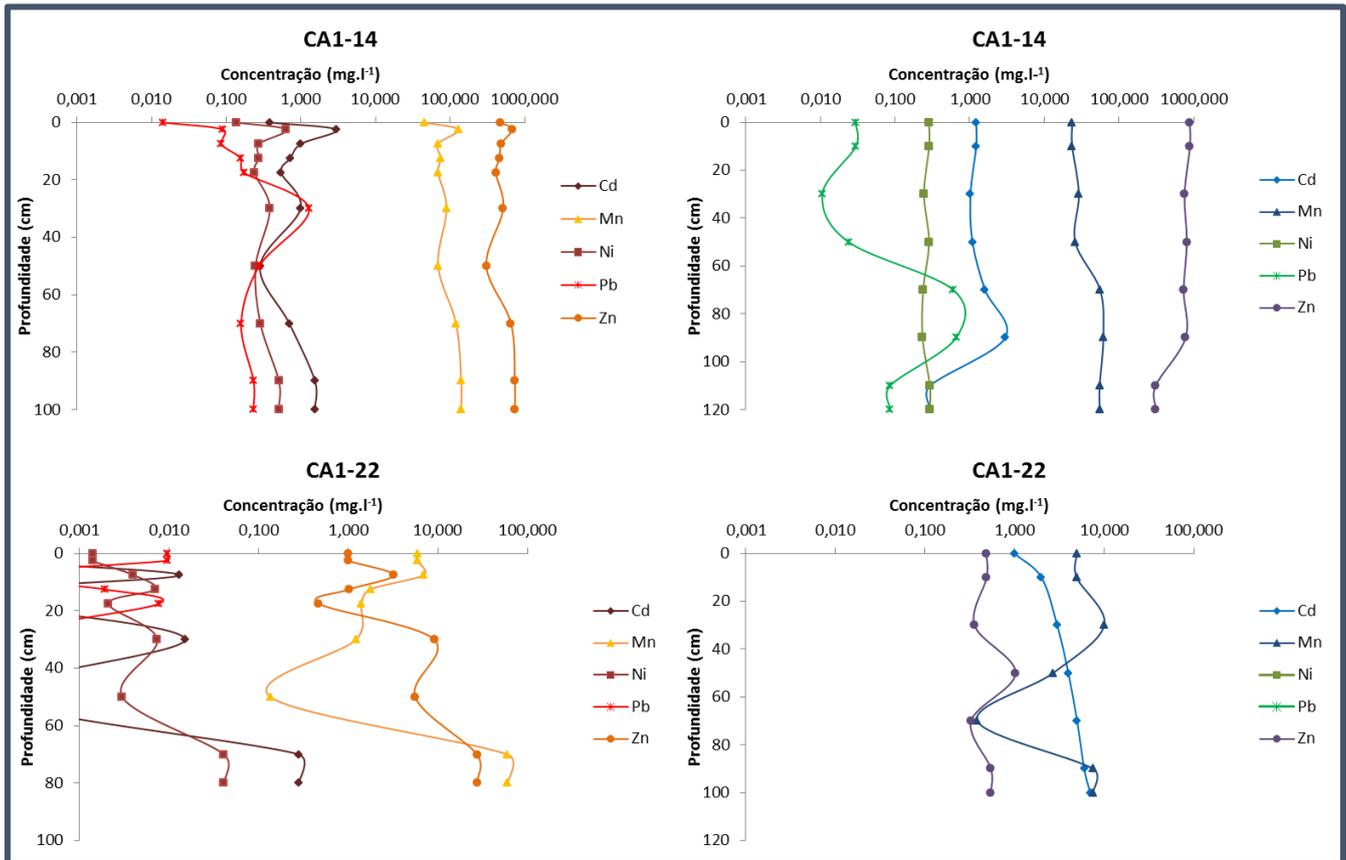


Figura 5.9: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais das amostras CA1-14 e CA1-22. À esquerda encontram-se as amostras correspondentes à época seca, e à direita encontram-se as amostras correspondentes à época das chuvas.

Na ausência de legislação específica, os teores dos metais nas águas intersticiais podem ser comparados com os valores de prevenção para as águas subterrâneas (COPAM, 2011), atingindo, na maioria das vezes, valores superiores aos legalmente admitidos. Assim, obtiveram-se teores superiores aos admitidos em todos os elementos analisados quer na época seca quer na época da chuva. Para o cádmio identificaram-se teores máximos na ordem dos 3 mg.l⁻¹ (amostra CA1-14), sendo o seu limite legal de 0,005 mg.l⁻¹ (correspondendo a cerca de 600 vezes mais o teor legal admitido). Na mesma amostra foram ainda identificados os teores máximos analisados em manganês com 140,35 mg.l⁻¹ (época seca) e 61,80 mg.l⁻¹ (época da chuva), quando o seu valor

admitido é de 0,400 mg.l⁻¹, níquel com 0,63 mg.l⁻¹ (época seca) e 0,29 mg.l⁻¹ (época da chuva), sendo o valor admitido de 0,020 mg.l⁻¹, chumbo com 1,28 mg.l⁻¹ (época seca) e 0,66 mg.l⁻¹ (época da chuva), quando o seu valor admitido é de 0,010 mg.l⁻¹. À semelhança do cádmio, o zinco (principal contaminante da área em estudo) representa sérios problemas ambientais, possuindo nesta amostra teores 900 vezes superiores ao legalmente admitido, sendo as concentrações na época seca de 733,82 mg.l⁻¹ e na época das chuvas de 892,21 mg.l⁻¹, quando o maior valor admitido é de 1,050 mg.l⁻¹. Todos os valores obtidos na análise de elementos metálicos nas águas intersticiais e utilizados para a construção dos presentes gráficos, encontram-se em Anexo (Anexo I - Tabela AI.7).

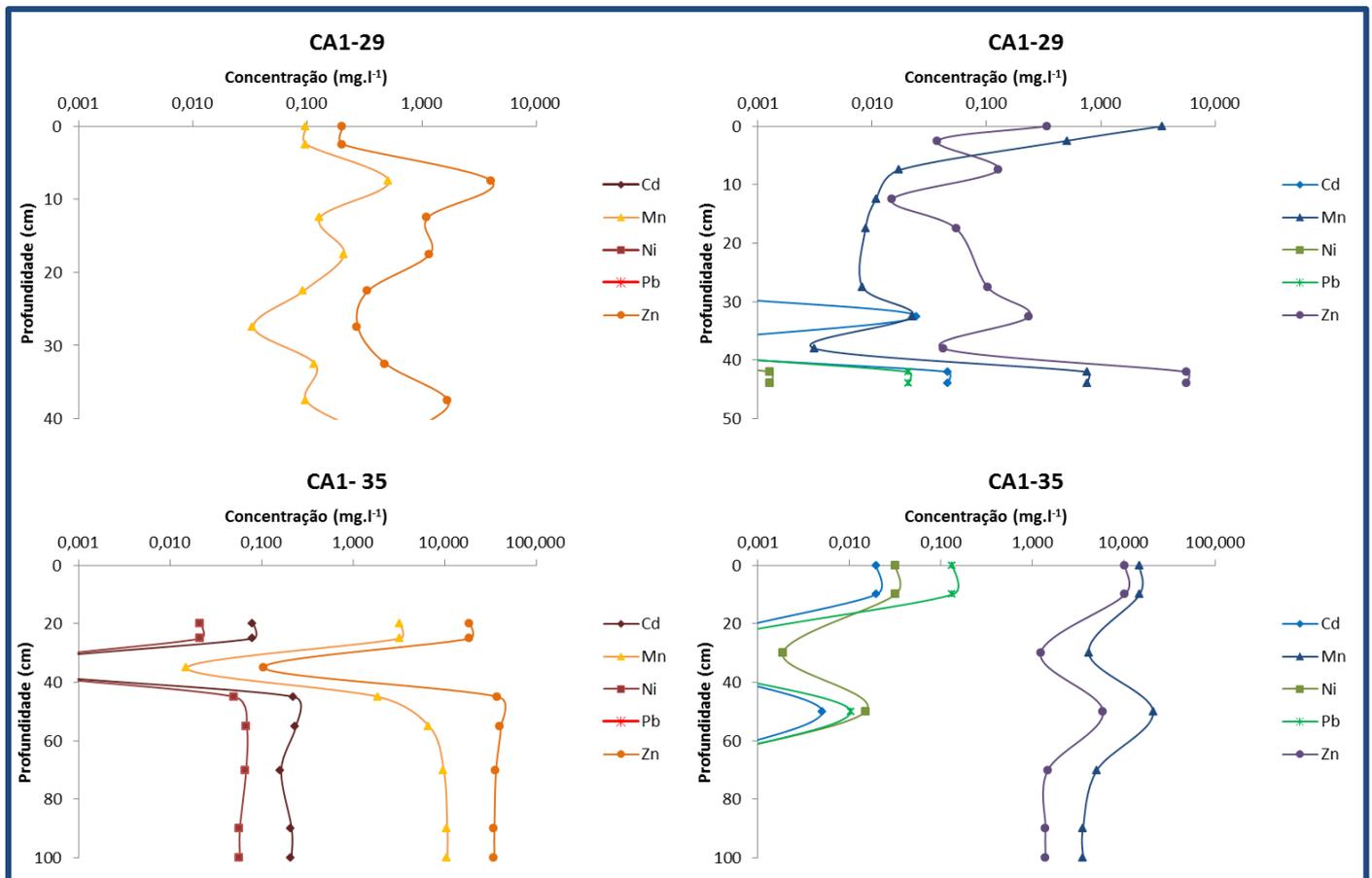


Figura 5.10: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais das amostras CA1-29 e CA1-35. À esquerda encontram-se as amostras correspondentes à época seca, e à direita encontram-se as amostras correspondentes à época das chuvas.

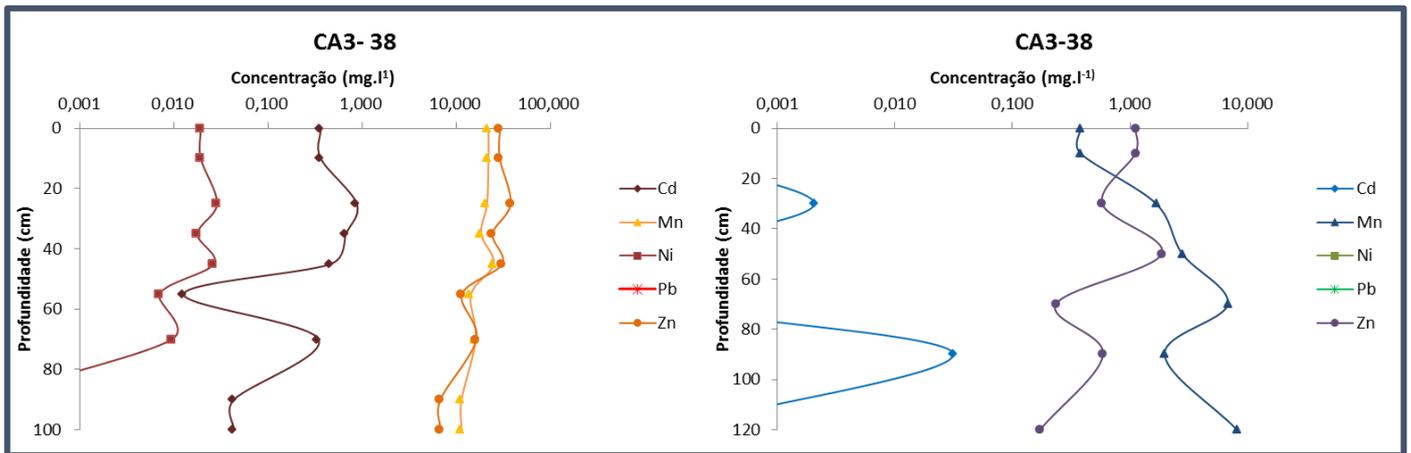


Figura 5.11: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais da amostra CA3-38. À esquerda encontram-se as amostras correspondentes à época seca, e à direita encontram-se as amostras correspondentes à época das chuvas.

As águas intersticiais correspondem à fracção aquosa que se encontra nos poros dos sedimentos aluvionares analisados, podendo-se assim considerar esta fracção como parte da água subterrânea. A sua percolação e presença nos poros das amostras aluvionares promove as principais trocas elementares entre os materiais sedimentares e a coluna de água. Assim, tendo em conta os teores elevados identificados nesta fracção, poder-se-á concluir que estes metais (cádmio, manganês, níquel, chumbo e zinco) apresentam uma elevada proporção em fase solúvel, logo apresentam elevada mobilidade, podendo ser facilmente lixiviados para a rede hidrográfica apenas pelo efeito da precipitação. Esta fracção corresponde à fracção mais lábil extraída através do processo de extracção sequencial realizada nas amostras sólidas das aluviões.

A análise das águas intersticiais quanto ao teor em metais contaminantes, corresponde a uma primeira aproximação para a identificação dos elementos com maior perigosidade ambiental e a sua concentração em fases móveis (fase mais nociva para o meio). Assim, e tendo em conta os teores obtidos nesta fracção extraída nas aluviões, realizou-se a interpolação da contaminação em profundidade das águas intersticiais para a zona aluvionar de forma a se tornar perceptível a distribuição espacial dos elementos considerados mais contaminantes e com maior perigosidade ambiental.

Foram considerados, de acordo com (1) geologia (soco) da área em estudo (metassiltitos), (2) características físicas das aluviões (porosidade e permeabilidade) e (3) teores em metais obtidos a partir de diferentes ensaios de caracterização geoquímica realizados para as águas intersticiais da zona aluvionar, os seguintes elementos como contaminantes com elevada perigosidade ambiental: As, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn. Para estes sete elementos construíram-se mapas de distribuição espacial em cinco profundidades (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm)

(Anexo BI), cujas escalas adotadas foram baseadas nos limites de contaminação admitidos para as águas subterrâneas (COPAM, 2011). Para a construção dos mapas de distribuição espacial dos resultados de amostragem, procedeu-se à interpolação dos dados obtidos em laboratório, recorrendo ao *software SURFER12*, com recurso à interpolação por *krigagem*.

Os mapas obtidos demonstram uma concordância geral com o comportamento geoquímico em profundidade dos metais anteriormente analisados para algumas amostras de águas intersticiais, sendo mais facilmente visível a distribuição das suas concentrações, determinadas em todas as amostras recolhidas, na zona aluvionar. Assim:

Para o arsénio (Anexo BI - Figura BI.1) verificam-se valores de contaminação superiores ao valor de intervenção para as águas subterrâneas ($0,0100 \text{ mg.l}^{-1}$) (COPAM,2011), principalmente a três profundidades (0-20, 20-40 e 80-100 cm), sendo que os valores são cerca de 10 a 20 vezes superiores ao tido como referência ($0,0100 \text{ mg.l}^{-1}$) à profundidade de 20-40 cm. Não ultrapassa porém os limites legislados a profundidades intermédias de 40-60 e 60-80 cm. A profundidades entre 80-120 cm, o teor em contaminação volta a ser novamente muito superior ao admissível centrando-se na zona montante da baixa aluvionar, ao contrário do que parece suceder a menores profundidades. Este comportamento, poder-se-á dever à contaminação superficial estar relacionada sobretudo com águas de escorrência superficial provenientes da vertente esquerda do córrego Consciência, enquanto a contaminação mais profunda pode ser originada pelo escoamento subterrâneo proveniente dos metassiltitos (constituintes do soco rochoso) e por infiltração a partir do córrego, sem que se registre aumento de caudal.

O cádmio (Anexo BI – Figura BI.2) apresenta valores de contaminação, em todas as profundidades consideradas, superiores ao seu limite de referência para as águas subterrâneas ($0,0050 \text{ mg.l}^{-1}$) (COPAM,2011), com valores que variam entre 10 a 50 vezes superiores. De um modo geral os teores aumentam para a zona de descarga, de acordo com o expectável para a migração de uma pluma de contaminação onde a fonte primária foi removida há alguns anos. À semelhança do arsénio apresenta, a maiores profundidades (80-100 cm), teores mais elevados, especialmente durante o período mais chuvoso. O córrego Consciência permite alguma diluição dos contaminantes (mais superficialmente), ainda que assim se encontrem teores muito superiores ao admissível.

De forma geral, o cobre, não apresenta contaminação superior à tida como referência para as águas subterrâneas ($2,0000 \text{ mg.l}^{-1}$) (COPAM,2011), com a excepção da profundidade 20-40 cm onde é visível uma mancha de contaminação cerca de 4 vezes superior ao limite admissível (Anexo BI - Figura BI.3). Este comportamento poderá ser consequência de um caso de poluição pontual, que não se verificando a uma elevada profundidade, poderá relacionar-se com processos

de lixiviação provenientes de uma barragem de rejeitos (construída em cima de antigas lagoas, totalmente preenchida em 2002, não se encontrando já em funcionamento), a Barragem Velha.

Para o manganês, verifica-se a ocorrência de teores superiores ao limite admitido para as águas subterrâneas ($0,4000 \text{ mg.l}^{-1}$) (COPAM,2011) em todas as profundidades consideradas (Anexo BI - Figura BI.4) com valores que ultrapassam até seis vezes esse limite. À semelhança do cádmio os teores são igualmente elevados na zona de descarga, de acordo com o expectável para a migração de uma pluma de contaminação onde a fonte primária foi removida há alguns anos.

O níquel apresenta igualmente teores superiores ao limite legislado para as águas subterrâneas ($0,0200 \text{ mg.l}^{-1}$) (COPAM, 2011) em todas as profundidades consideradas (Anexo BI - Figura BI.5). No entanto, apesar dos seus elevados teores no geral, apresenta concentrações mais elevadas em toda a zona aluvionar nas camadas mais superficiais (0-20; 20-40 e 40-60 cm). A proximidade com o córrego Consciência parece contribuir como um factor de atenuação natural, através da diluição ou descarga deste contaminante.

O teor em chumbo nas águas intersticiais (Anexo BI - Figura BI.6), é superior ao tido como referência ($0,0100 \text{ mg.l}^{-1}$) (COPAM,2011) para todas as profundidades consideradas, destacando-se as profundidades entre os 20-40 e 40-60 cm em que os níveis de contaminação em chumbo ultrapassam cerca de 20 a 50 vezes o limite de referência em alguns locais da planície aluvionar. No entanto, as restantes profundidades encontram-se também contaminadas neste elemento com teores entre 2 a 5 vezes superiores ao limite admitido para as águas subterrâneas. Também neste caso, o córrego Consciência parece constituir uma linha de diluição da contaminação, demonstrando a troca de massa existente entre a fase móvel dos sedimentos e o curso de água superficial.

Relativamente ao zinco, principal contaminante da área em estudo, encontra-se distribuído em profundidade e espacialmente, como é possível visualizar nos mapas de interpolação construídos (Anexo BI - Figura BI.7), apresentando teores em média 50 vezes superiores ao tido como referência nas águas subterrâneas ($1,0500 \text{ mg.l}^{-1}$) (COPAM,2011), em todas as profundidades analisadas e na generalidade da zona aluvionar. No entanto, apesar da sua elevada distribuição e teor contabilizado, parece ocorrer uma diminuição dos teores para montante da baixa aluvionar. Este fenómeno, que também parece ocorrer para os outros contaminantes, onde os teores mais elevados estão localizados na proximidade da zona de descarga no rio São Francisco. Esta constatação poderá traduzir um fenómeno de atenuação natural de uma pluma de contaminação em que a fonte primária da contaminação foi removida.

O processo de atenuação natural representa um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos, que reduzem a massa, toxicidade, mobilidade, volume ou concentração de contaminantes no solo e na água subterrânea sem a intervenção humana. Este fenômeno baseia-se em processos como a biodegradação, dispersão, diluição, “*sorção*”, volatilização e estabilização (transformação ou destruição química e biológica do contaminante).

No que se refere à área em estudo, a atenuação natural relaciona-se, provavelmente, com a diluição e dispersão que ocorreu após a remoção das fontes primárias de contaminação. Assim, a pluma de contaminação apresenta a montante menores teores devido à remoção dos depósitos superficiais, provocado pelo efeito de diluição que ocorre devido à infiltração de águas da chuva e devido à migração sobre o efeito do gradiente hidráulico do centro da pluma de contaminação para a zona de descarga.

5.1.3. Determinação do Grau de Contaminação da Planície Aluvionar

A determinação do grau de contaminação das aluviões da área em estudo, foi realizada após a identificação dos principais elementos contaminantes determinada por digestão bi-ácida (HCl e NH_4OH), também designada por *Aqua Regia*.

Os teores obtidos foram comparados com os níveis de referência admitidos no Estado de Minas Gerais (CONAMA, 2012), que por sua vez, são adaptados dos valores de referência Canadianos para a protecção da vida aquática (*Environmental Canada*). Assim, classificam-se segundo dois níveis de perigosidade (CONAMA,2012):

- **Nível 1** - correspondendo ao limiar abaixo do qual não se esperam efeitos nefastos para a vida aquática (o que equivale ao Valor de Qualidade de Referência – VQR);
- **Nível 2** - correspondendo ao limiar acima do qual se esperam efeitos nefastos ao biota (referido posteriormente como Valor Crítico – VC).

Assim, com base nos níveis de referência para o Estado de Minas Gerais, realizou-se a classificação de todas as amostras para todos os elementos analisados. Esta classificação total encontra-se em Anexo AI -Tabela AI.8. Para uma melhor compreensão dos níveis de contaminação das aluviões em cada área e época de amostragem, procedeu-se à comparação dos teores obtidos com os níveis legislados, representando-se para cada amostra os teores quantificados a diferentes profundidades 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100, e, em alguns pontos, entre 100-120 e abaixo de 120 cm de profundidade. Por uma questão de coerência entre as amostras, foram considerados os teores mais elevados, nas amostras subdivididas de 5 em 5 cm (CA1-14, por exemplo), para os intervalos de profundidade considerados. Nas figuras 5.12 a 5.19 representam-se os resultados referentes às aluviões divididas por área segundo os dois períodos sazonais amostrados (pós-seca e pós-chuva).

Para a área A0 (Figura 5.12) não se verificam, como esperado, incumprimentos significativos sob os teores legais admitidos. A área A0 encontra-se fora da influência da Votorantim Metais S.A., sendo por isso caracterizada por teores baixos em elementos metálicos. No entanto são verificados teores em crômio acima do Valor Crítico (VC) e de arsênio, cádmio e cobre acima do Valor de Qualidade de Referência, que se poderão dever a contaminações de origem natural, ou geradas através do transporte eólico de partículas provenientes do transporte dos resíduos para o Depósito de Murici ou para a Barragem de Lavagem.

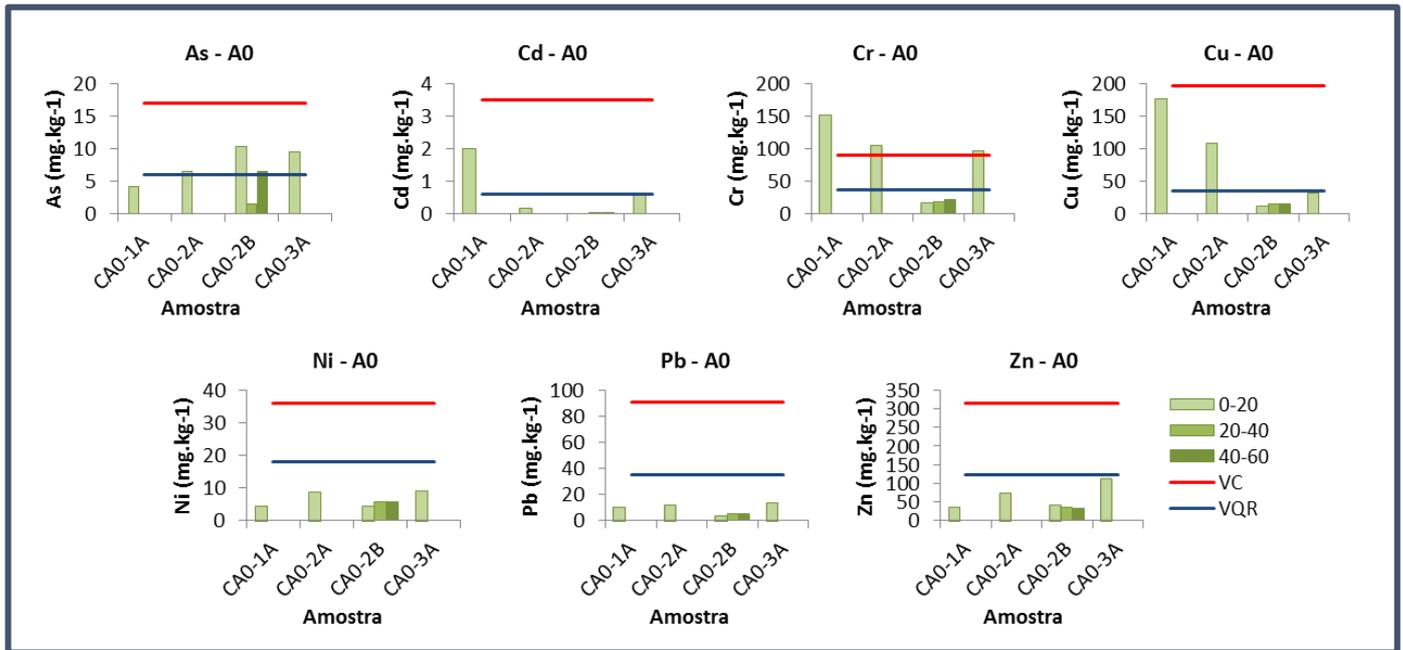


Figura 5.12: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (*Aqua Regia*) para as aluviões da área A0 com os níveis legais locais. VC – Valor Crítico e VQR – Valor de Qualidade de Referência (CONAMA, 2012).

Na área A1 (Figura 5.13 a 5.15) observam-se valores muito elevados, acima do Valor Crítico (VC), para o arsênio, o cádmio, o cobre, o chumbo e o zinco, nas amostras aluvionares recolhidas nos dois períodos sazonais (pós seca (PS) e pós-chuva (PC)), sendo visível na campanha pós-chuva (PC), onde foram realizadas amostragens a maior profundidade, teores bastante elevados nestes principais contaminantes da área. Contrariamente o crômio e o níquel não apresentam teores significativos, encontrando-se geralmente abaixo do Valor de Qualidade de Referência (VQR) nas duas campanhas (Figura 5.14). Verifica-se ainda que o aumento das concentrações nos metais e metaloides com maior perigosidade ambiental (arsênio, cádmio, cobre, chumbo e zinco) ocorrem preferencialmente em profundidade.

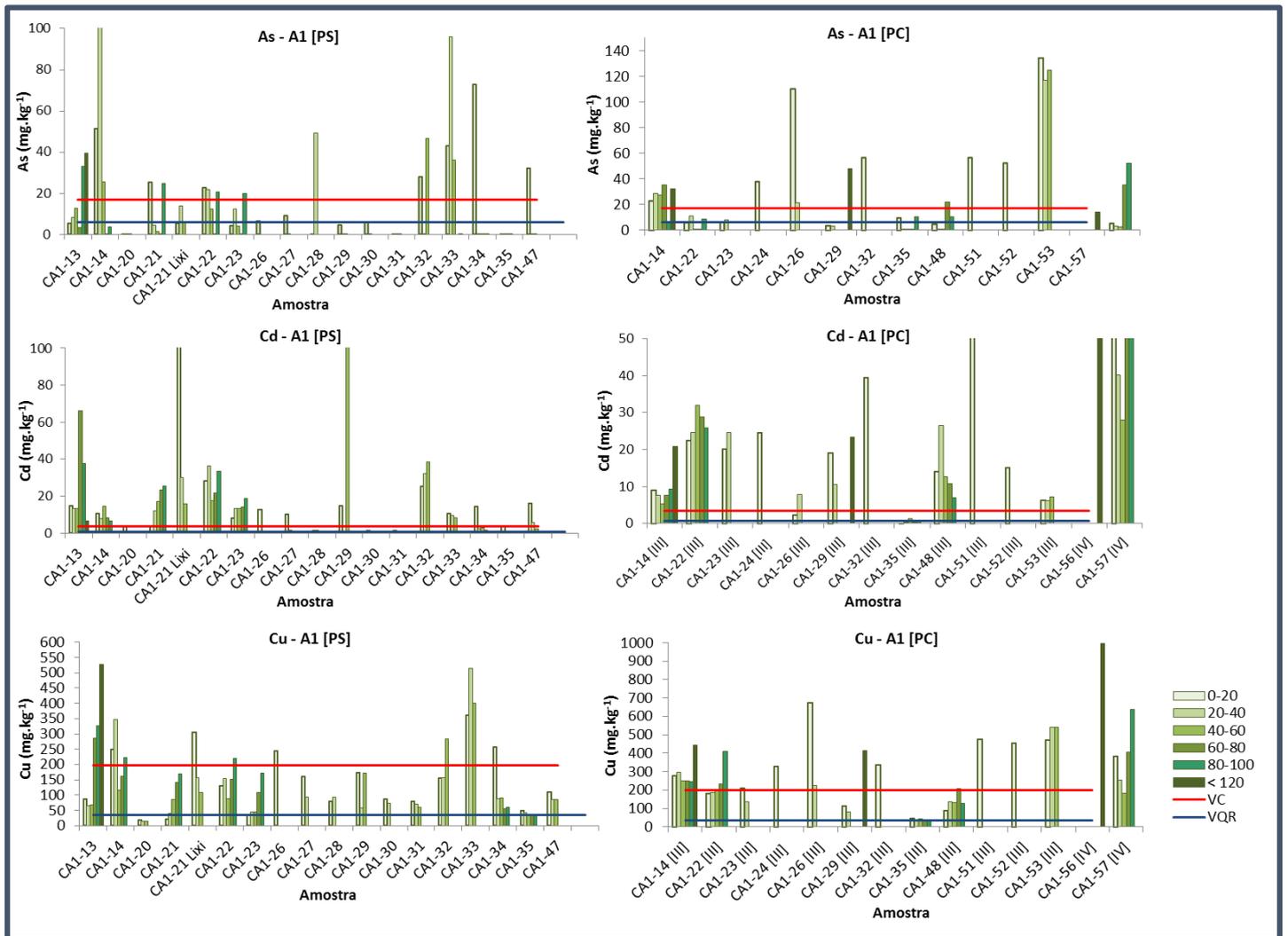


Figura 5.13: Comparação dos valores obtidos em arsênio, cádmio e cobre por digestão parcial (*Aqua Regia*) para as aluviões da área A1, recolhidas na época pós-seca (PS) pós-chuva (PC), com os níveis legais locais. VC – Valor Crítico e VQR – Valor de Qualidade de Referência (CONAMA, 2012).

Da comparação directa dos teores obtidos para a área A1, representada nas figuras 5.13 a 5.15, não se verificam, no geral, diferenças significativas entre os dois períodos sazonais, sendo no entanto visível uma ligeira diminuição dos teores dos elementos metálicos analisados na época das chuvas (pós-chuva (PC)), podendo esta constatação ser confirmada pelo comportamento das amostras CA1-14 e CA1-29 (comuns nesta área para os dois períodos de amostragem). Este comportamento poderá estar relacionado com o aumento do caudal do córrego Consciência, devido à pluviosidade, que por sua vez ocorre num possível aumento do efeito de lixiviação. No entanto, devido a um Verão anormalmente seco sentido na área (INMET, 2016), ocorrem diferenças de concentração pouco expressivas, na maioria das amostras.

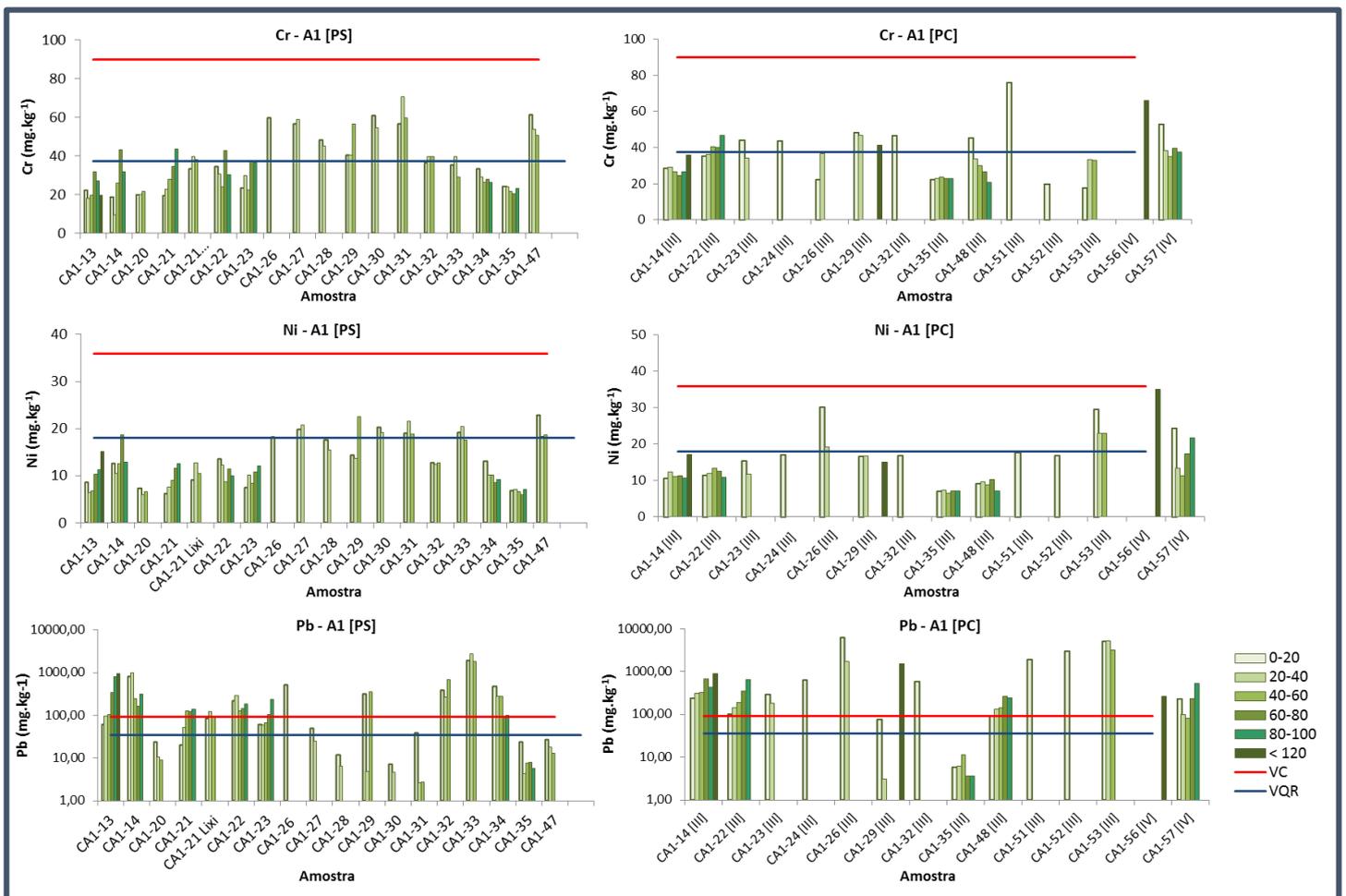


Figura 5.14: Comparação dos valores obtidos em crómio, níquel e chumbo por digestão parcial (*Aqua Regia*) para as aluviões da área A1, recolhidas na época pós-seca (PS) pós-chuva (PC), com os níveis legais locais. VC – Valor Crítico e VQR – Valor de Qualidade de Referência (CONAMA, 2012). A escala adoptada para o elemento chumbo encontra-se em ordem logarítmica para as duas campanhas consideradas.

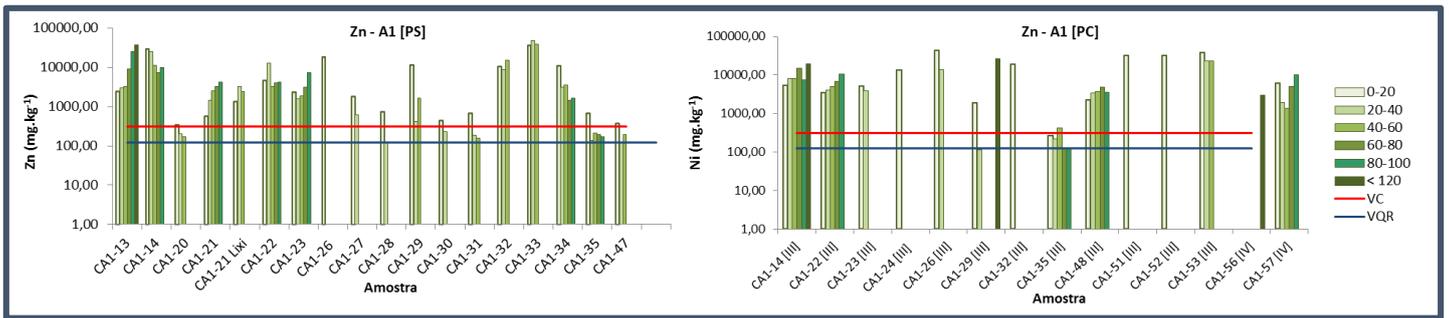


Figura 5.15: Comparação dos valores obtidos em zinco por digestão parcial (*Aqua Regia*) para as aluviões da área A1, recolhidas na época pós-seca (PS) pós-chuva (PC), com os níveis legais locais. VC – Valor Crítico e VQR – Valor de Qualidade de Referência (CONAMA, 2012). A escala adoptada para o elemento zinco encontra-se em ordem logarítmica para as duas campanhas consideradas.

Na área A2 (Figuras 5.16 e 5.17) verifica-se a ocorrência de teores em arsénio, cádmio, cobre, chumbo e zinco acima do Valor Crítico (VC) nos dois períodos amostrados (pós-seca (PS) e pós-chuva (PC)), destacando-se os valores extremamente elevados em profundidade em cádmio, chumbo e zinco. Relativamente ao crómio e ao níquel obtiveram-se teores relativamente baixos, embora em algumas amostras sejam superiores ao Valor de Qualidade de Referência (VQR).

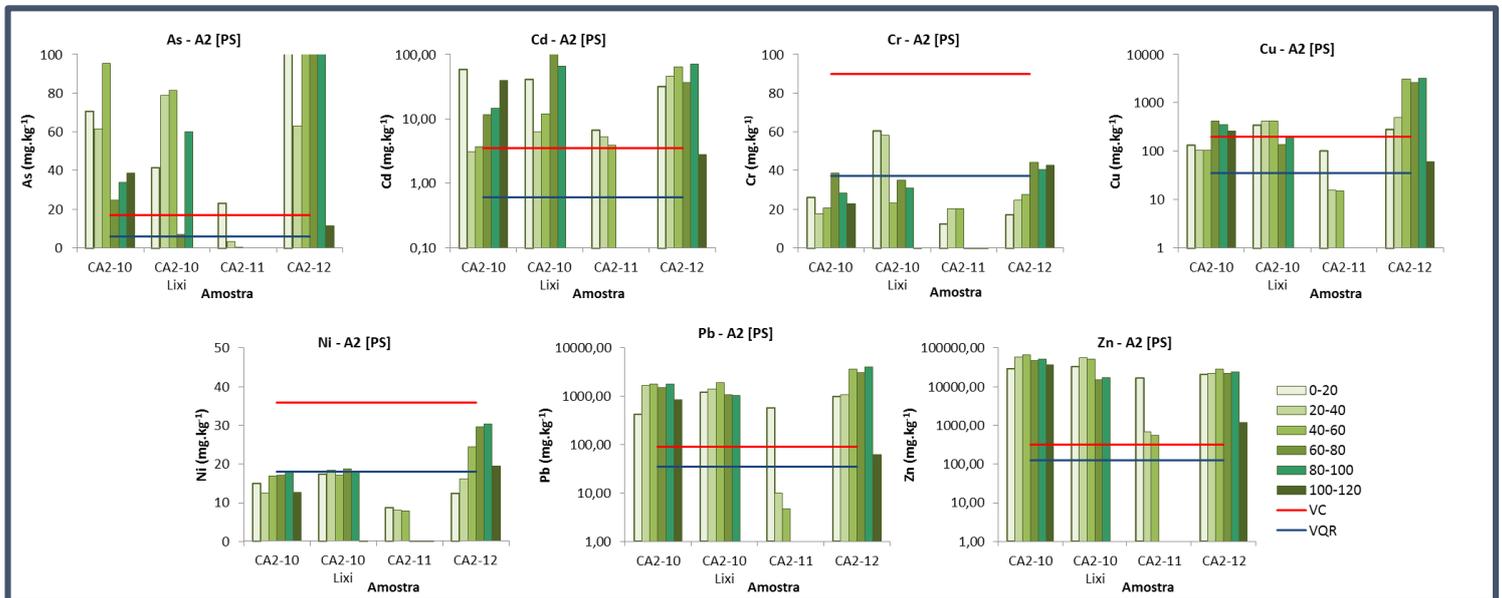


Figura 5.16: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (*Aqua Regia*) para as aluviões da área A2, recolhidas na época pós-seca (PS), com os níveis legais locais. VC – Valor Crítico e VQR – Valor de Qualidade de Referência (CONAMA, 2012). A escala adoptada para os elementos cádmio, cobre, chumbo e zinco encontram-se em ordem logarítmica.

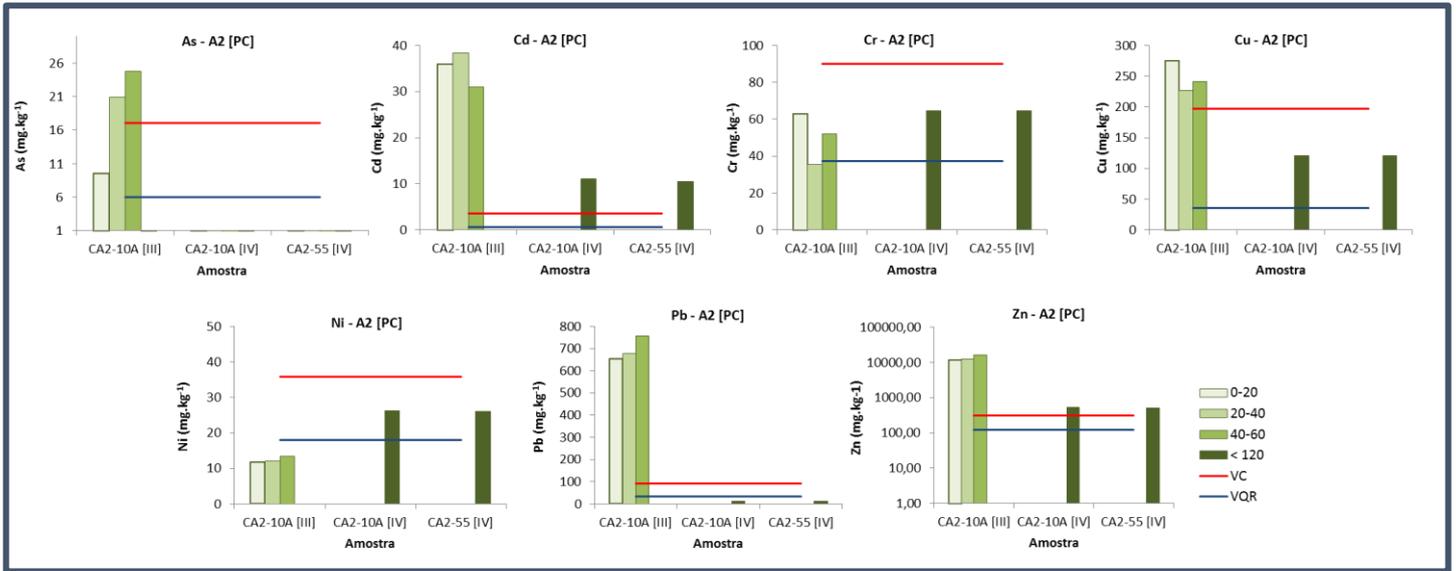


Figura 5.17: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (*Aqua Regia*) para as aluviões da área A2, recolhidas na época pós-chuva (PC), com os níveis legais locais. VC – Valor Crítico e VQR – Valor de Qualidade de Referência (CONAMA, 2012). A escala adoptada para o elemento zinco encontra-se em ordem logarítmica.

A área A3 (Figuras 5.18 e 5.19) caracteriza-se por teores elevados em arsénio, cádmio, chumbo e zinco (época pós-seca (PS)), superiores ao Valor Crítico (VC) em todas as amostras analisadas, e teores reduzidos em crómio e níquel (à semelhança das restantes áreas) com teores superiores ao Valor de Qualidade de Referência (VQR) apenas no caso do crómio no mesmo período sazonal. A comparação directa entre os dois períodos sazonais pode ser considerada pela análise da amostra CA3-38 (Figura 5.18 e 5.19). Assim, verifica-se uma diminuição nos teores em cobre, chumbo e zinco nesta amostra, apresentando igualmente teores superiores ao Valor Crítico (VC) em cádmio e zinco na época pós-chuva (PC). De salientar que esta comparação é pontual não se podendo retirar conclusões gerais sobre o comportamento sazonal do teor em elementos nesta área.

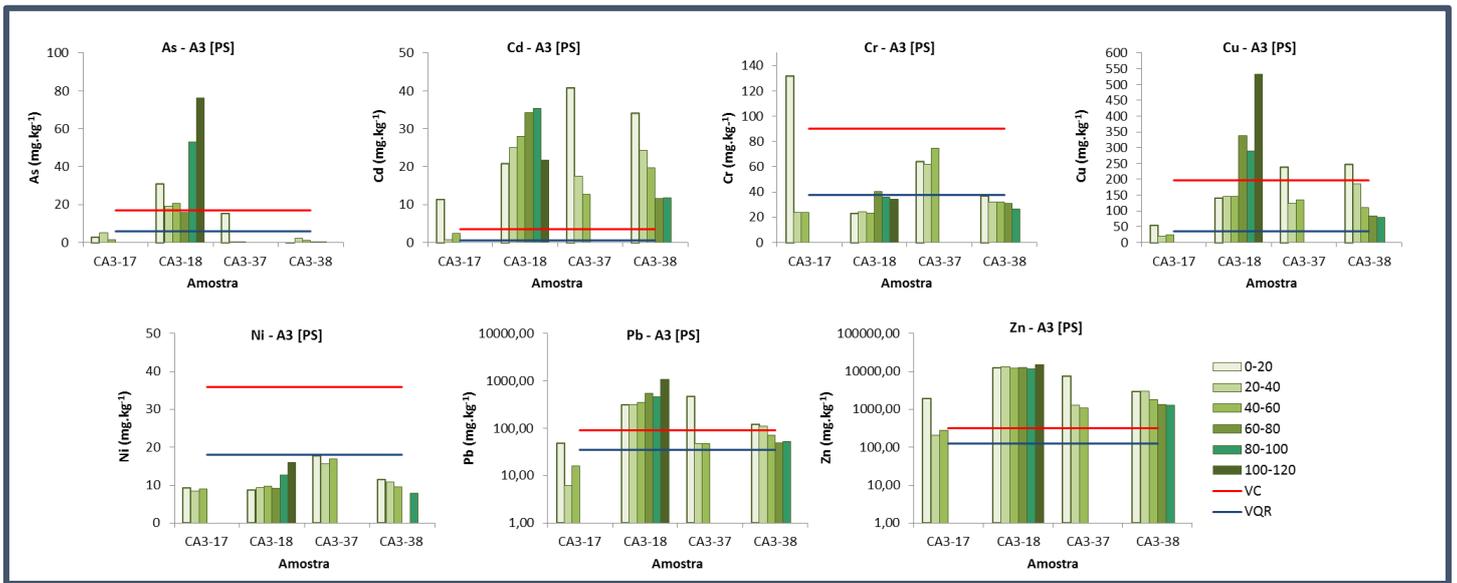


Figura 5.18: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (*Aqua Regia*) para as aluviões da área A3, recolhidas na época pós-seca (PS), com os níveis legais locais. VC – Valor Crítico e VQR – Valor de Qualidade de Referência (CONAMA, 2012). A escala adoptada para os elementos chumbo e zinco encontram-se em ordem logarítmica.

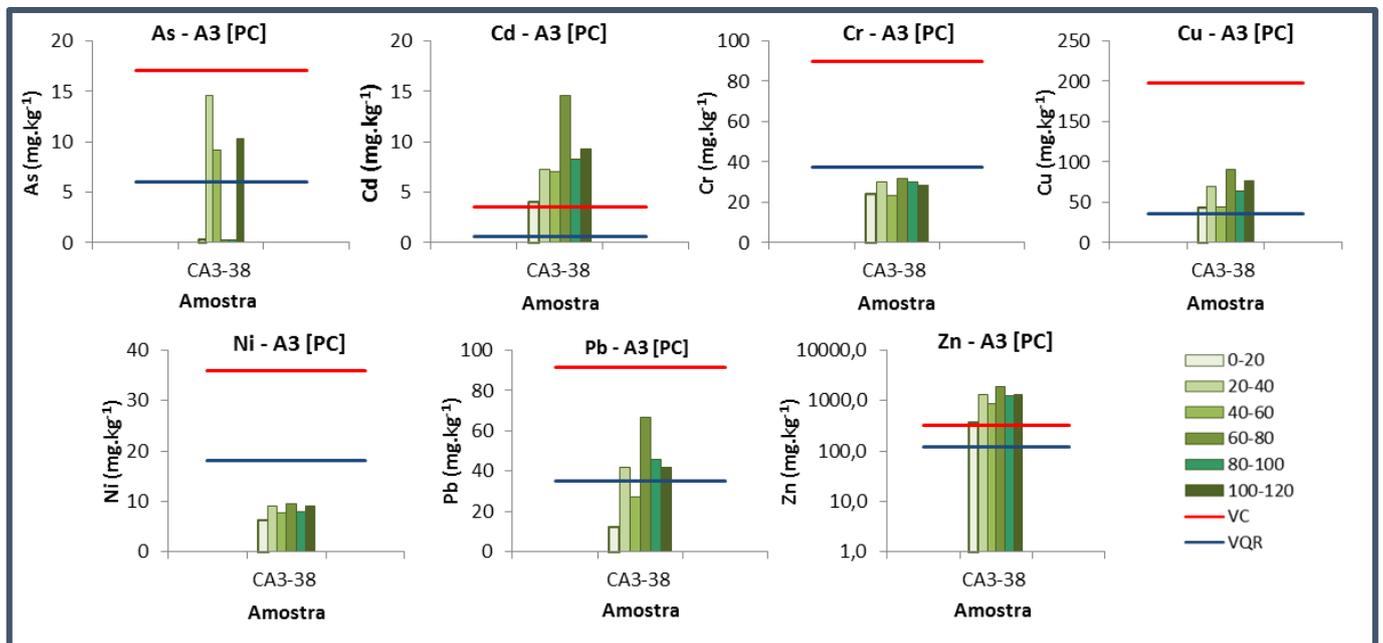


Figura 5.19: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial (*Aqua Regia*) para as aluviões da área A3, recolhidas na época pós-chuva (PC), com os níveis legais locais. VC – Valor Crítico e VQR – Valor de Qualidade de Referência (CONAMA, 2012). A escala adoptada para o elemento zinco encontra-se em ordem logarítmica.

Assim, observa-se um aumento dos teores em profundidade nas amostras aluvionares recolhidas nas três áreas contaminadas (A1, A2 e A3). Áreas estas que apresentam maior acumulação de sedimentos aluvionares com elevado teor de humidade, tornando-se assim mais fácil o transporte dos elementos metálicos por difusão e/ou advecção ao longo da coluna sedimentar através da água intersticial e subterrânea.

Considerando-se as diferentes camadas verticais amostradas e a análise anteriormente realizada poder-se-á concluir que os teores nos elementos analisados variam em profundidade. Deste modo, é possível representar os pontos amostrados sobre o mapa e comparar os teores obtidos, em cádmio, chumbo e zinco (elementos contaminantes que ultrapassam em larga escala o valor crítico na maioria das amostras), com a geomorfologia local.

Assim, na figura 5.20 estão representados os pontos correspondentes às aluviões na área A0, nas figuras 5.21 a 5.25 as aluviões da área A1, na figura 5.26 as amostras correspondentes à área A2 e na figura 5.27 as aluviões referentes à área A3 (mediante as duas épocas – pós-seca e pós-chuva – e área amostrada).

Para a área A0 (Figura 5.20) verifica-se no geral a ocorrência de teores mais elevados em cádmio, chumbo e zinco nas camadas superficiais (0-20) com diminuição em profundidade, apenas visível para a amostra CA0-2B (por ser a única amostra da área A0 recolhida a uma maior profundidade). A diminuição da contaminação em profundidade é notória para o cádmio e o zinco (ainda com grande expressividade nas camadas mais profundas 20-40 e 40-60), já o chumbo apresenta um ligeiro aumento em profundidade (40-60). No entanto, e como já era espectável, os teores observados nesta área são notoriamente muito inferiores aos restantes determinados para as áreas A2 e A3, uma vez que se trata de uma área localizada fora da influência da Votorantim Metais S.A..

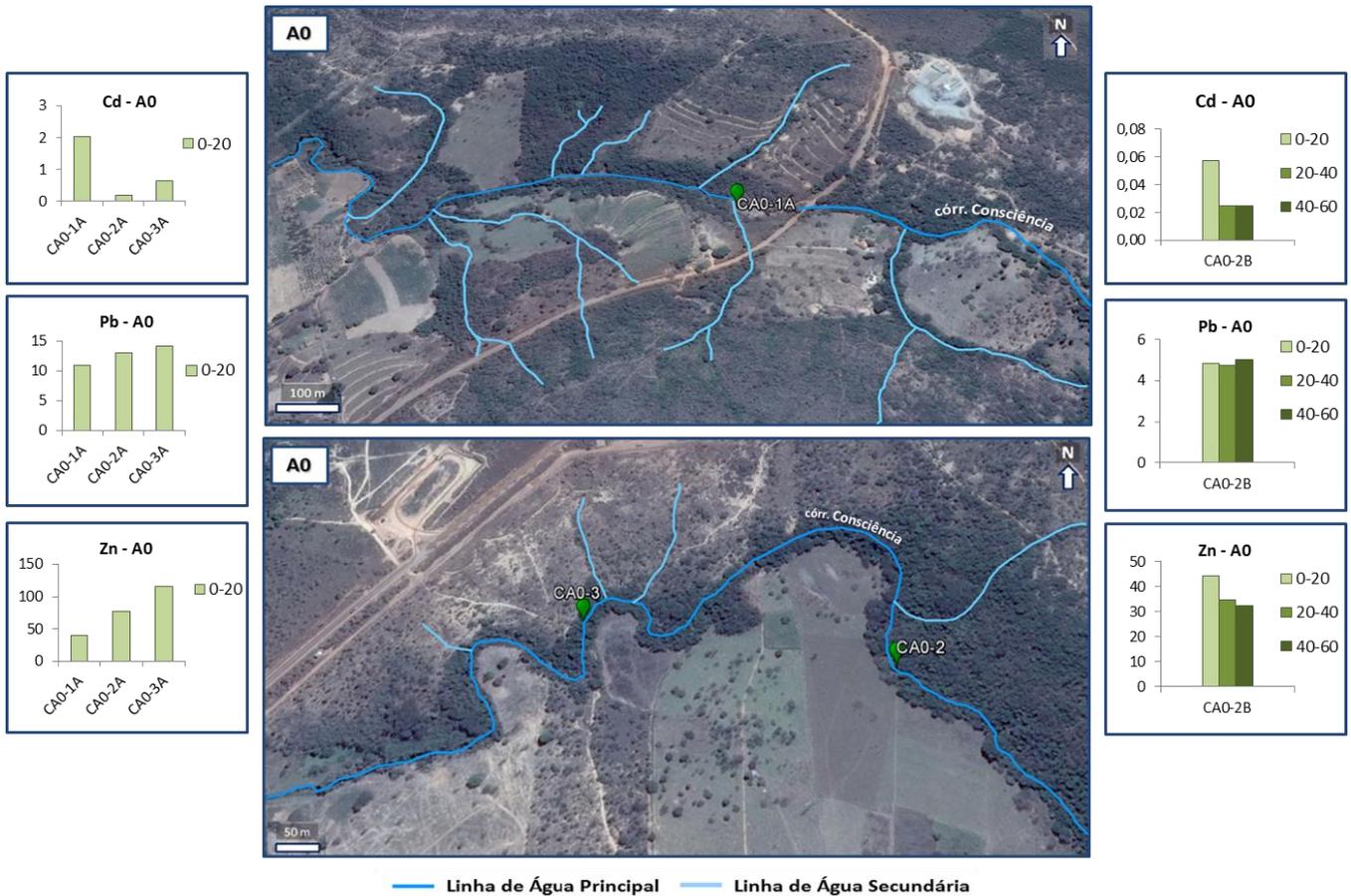


Figura 5.20: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A0 (época pós-seca). Os teores considerados encontram-se em mg.kg^{-1} .

Relativamente à área A1, para as aluviões recolhidas na época pós-seca, (Figuras 5.21 a 5.25) verificam-se dois comportamentos para os elementos considerados (cádmio, chumbo e zinco):

- 1) Concentrações mais elevadas à superfície, com tendência ao decréscimo em profundidade;
- 2) Concentrações menores à superfície, com tendência ao aumento em profundidade.

Estes comportamentos variam de acordo com o elemento analisado, sendo que para cada um são verificados, no geral, os dois comportamentos descritos.

Para o cádmio verifica-se o primeiro comportamento de forma mais evidente para as amostras CA1-33, CA1-34 e CA1-35 e o segundo principalmente para as amostras CA1-14, CA1-21, CA1-22 e CA1-23. No caso do chumbo ocorrem igualmente os dois comportamentos, sendo mais evidente o segundo (menores concentrações à superfície e aumento em profundidade), de forma expressiva nas amostras CA1-13, CA1-14, CA1-21, CA1-23 e CA1-32, correspondendo às amostras com profundidades mais elevadas. O primeiro comportamento é também verificado principalmente nas amostras menos profundas (por exemplo CA1-20 ou CA1-31). Relativamente ao zinco, o comportamento predominante é o segundo com um aumento em profundidade na generalidade das amostras, encontrando-se ainda concentrações muito elevadas nas camadas mais superficiais (CA1-13 e CA1-14 por exemplo), sendo para algumas amostras ocorre uma variação quase constante desde a superfície até profundidades relativamente elevadas (por exemplo CA1-22, CA1-32 e CA1-33).

O comportamento descrito para estes elementos (cádmio, chumbo e zinco), poder-se-á relacionar com a localização geográfica das amostras, visto que as amostras com elevados teores em camadas mais profundas se encontram geralmente em zonas de depressão ou margem de acumulação, com uma coluna sedimentar mais extensa, promovendo a infiltração e a escorrência de águas pluviais e a lixiviação dos elementos em profundidade. Verifica-se ainda, nas amostras situadas na margem oposta do córrego, o aumento da concentração dos metais em profundidade por circulação da água intersticial enriquecida nestes elementos através da base do leito do curso de água. Daí a tendência preferencial, nesta campanha (pós-seca), para o aumento das concentrações em profundidade e ocorrência de menores concentrações à superfície embora em alguns casos se obtenham teores igualmente elevados nas camadas mais superficiais.

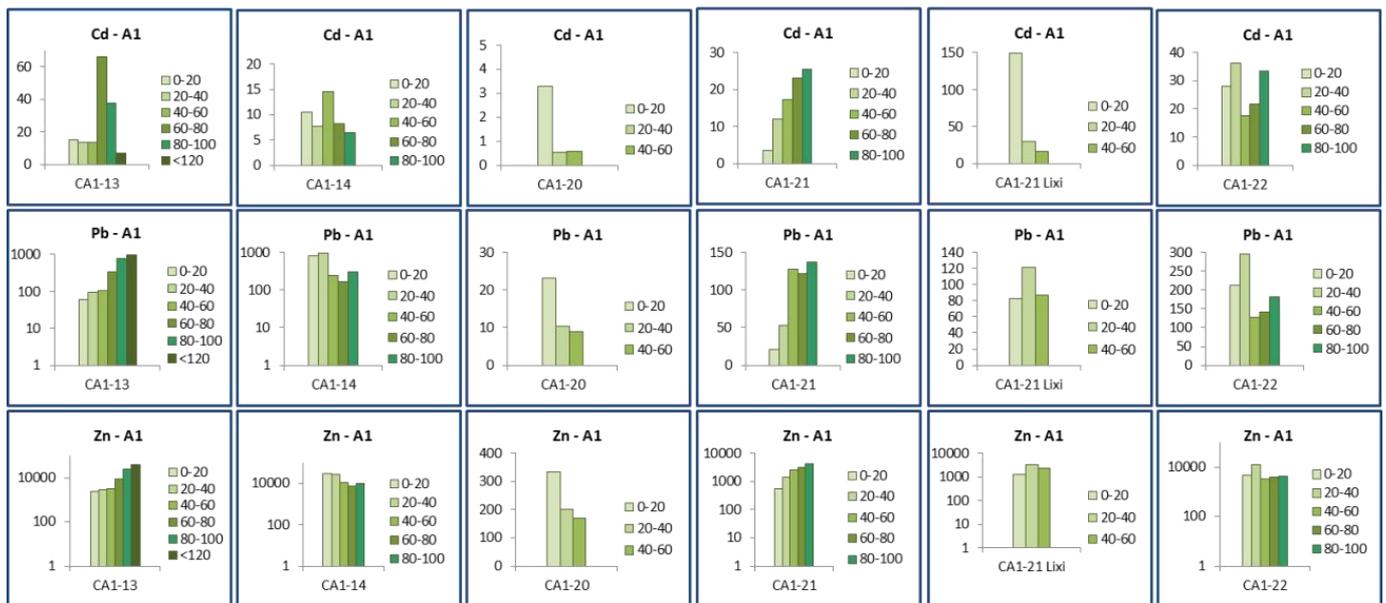


Figura 5.21: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-seca). Os teores considerados encontram-se em mg.kg^{-1} , com escalas logarítmicas para os elementos chumbo (CA1-13 e CA1-14) e zinco (CA1-13, CA1-14, CA1-21 e CA1-21 Lixi).

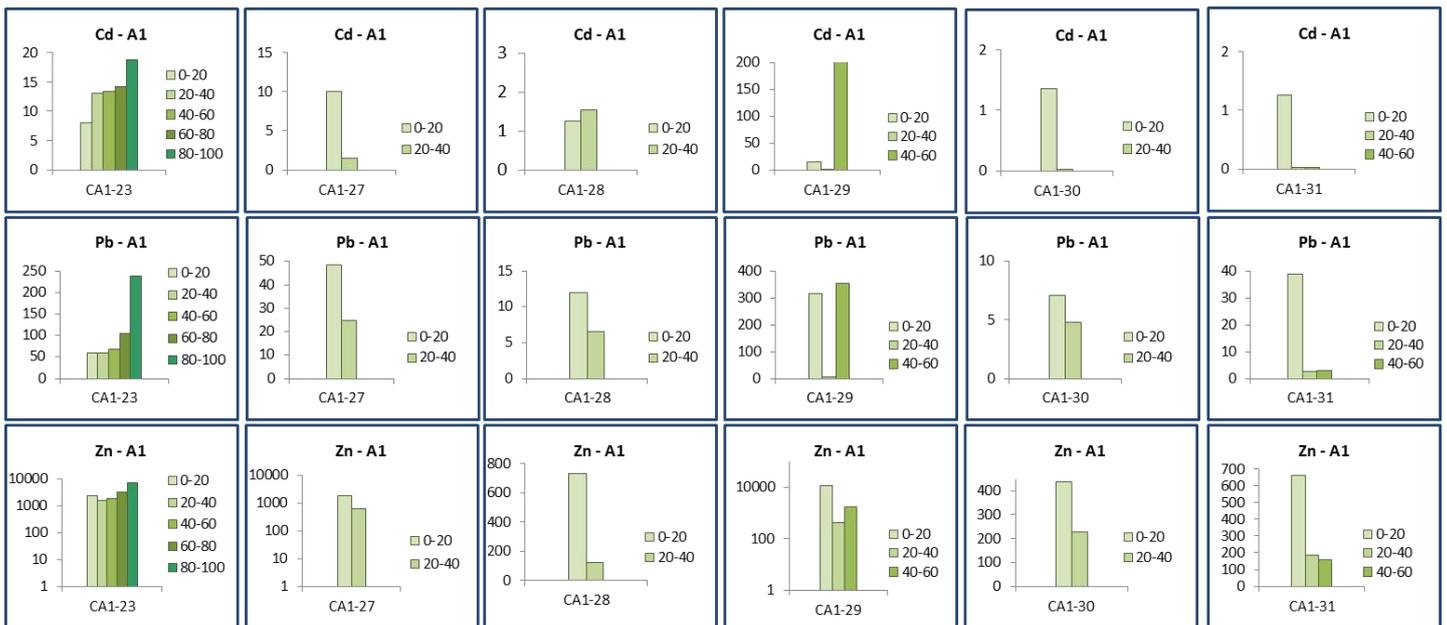
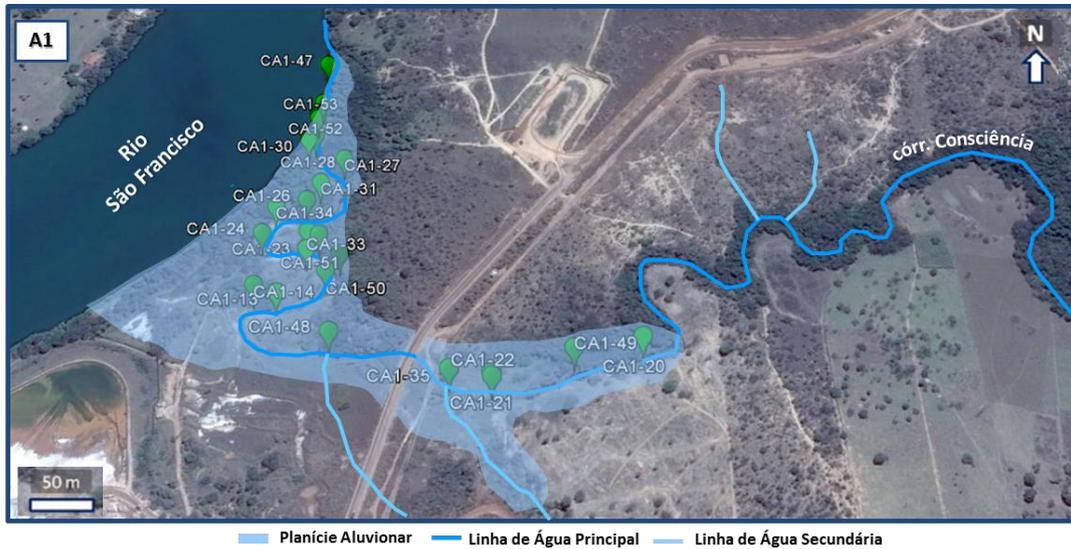


Figura 5.22: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-seca). Os teores considerados encontram-se em mg.kg⁻¹, com escalas logarítmicas para o elemento zinco (CA1-23, CA1-27 e CA1-29).

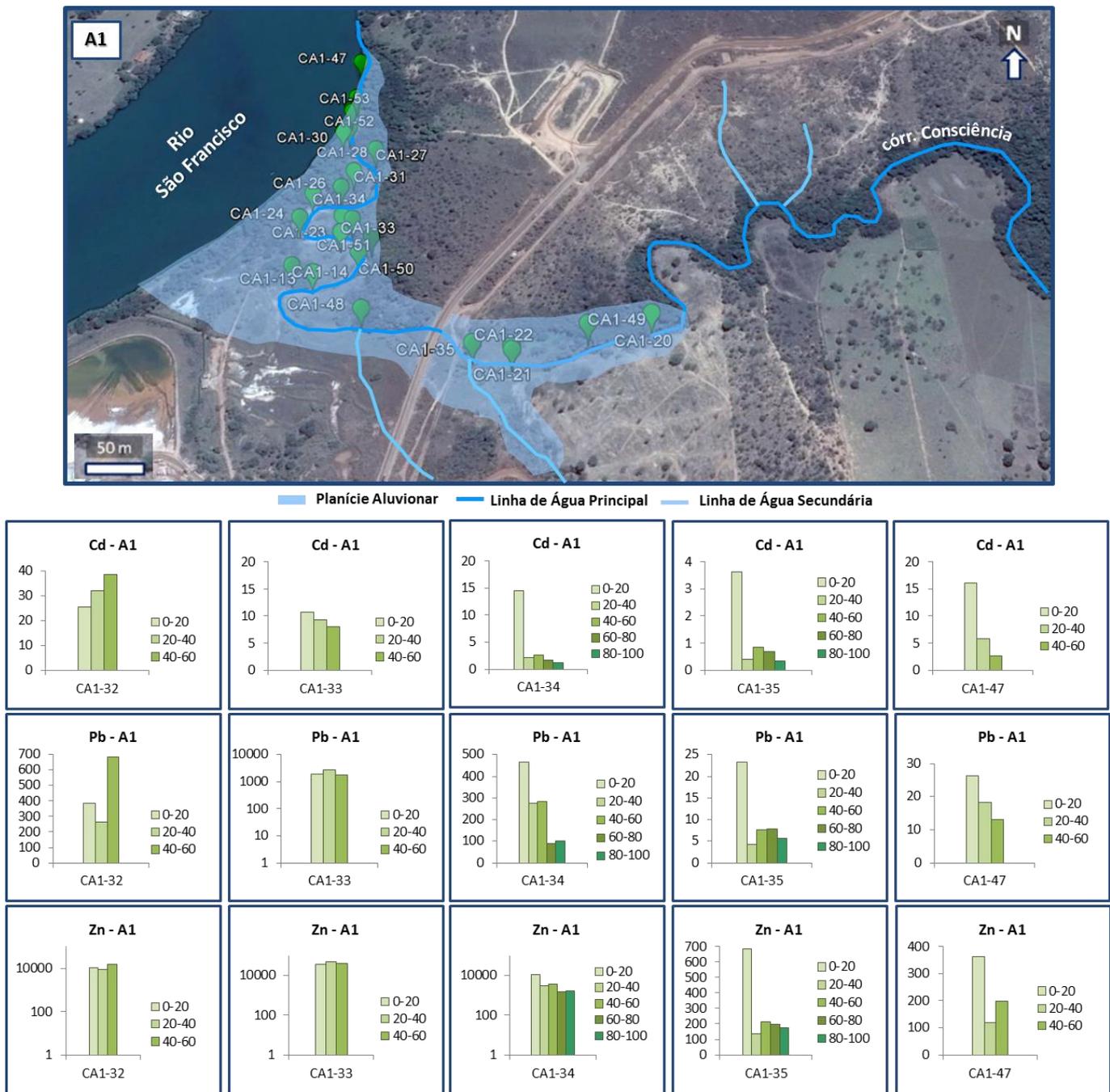


Figura 5.23: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-seca). Os teores considerados encontram-se em mg.kg⁻¹, com escalas logarítmicas para os elementos chumbo (CA1-33) e zinco (CA1-32 e CA1-33).

Ainda na área A1 para a época pós-chuva ([III]) (Figuras 5.24 e 5.25) verificam-se igualmente os dois comportamentos descritos, sendo que para o cádmio se verifica em geral uma aumento em profundidade e teores mais reduzidos à superfície (CA1-14 [III] e CA1-29 [III], por exemplo), observando-se ainda casos de diminuição em profundidade (CA1-48 [III] e CA1-53 [III]) e aumentos em camadas intermédias (CA1-22 [III]). O chumbo apresenta como comportamento dominante o segundo (com aumento em profundidade) na maioria das amostras aluvionares nomeadamente em CA1-14 [III], CA1-22 [III], CA1-29 [III], CA1-48 [III] e CA1-53 [III]. Nas restantes amostras verifica-se uma maior concentração nas camadas superficiais (0-20 e 20-40 cm). Para o zinco, e sendo este o principal contaminante da área em estudo, verificam-se elevados teores em profundidade em detrimento de valores igualmente elevados ou com diferenças pouco significativas em camadas mais superficiais. Assim as amostras mais contaminadas neste elemento em profundidade correspondem às amostras CA1-14 [III], CA1-22 [III], CA1-29 [III], CA1-48 [III] e CA1-53 [III].

O comportamento dos metais observado na época pós-chuva poder-se-á relacionar com o aumento do caudal do córrego Consciência, levando a um humedecimento das aluviões, favorecendo a infiltração, o que permitirá a percolação para zonas mais profundas de águas pluviais e o arraste de metais mas solúveis das camadas superficiais que aqui se encontram menos concentradas em elementos contaminantes. A percolação de águas subterrâneas carregadas com metais poderá ainda constituir um factor adicional para a concentração de contaminantes em camadas mais profundas.

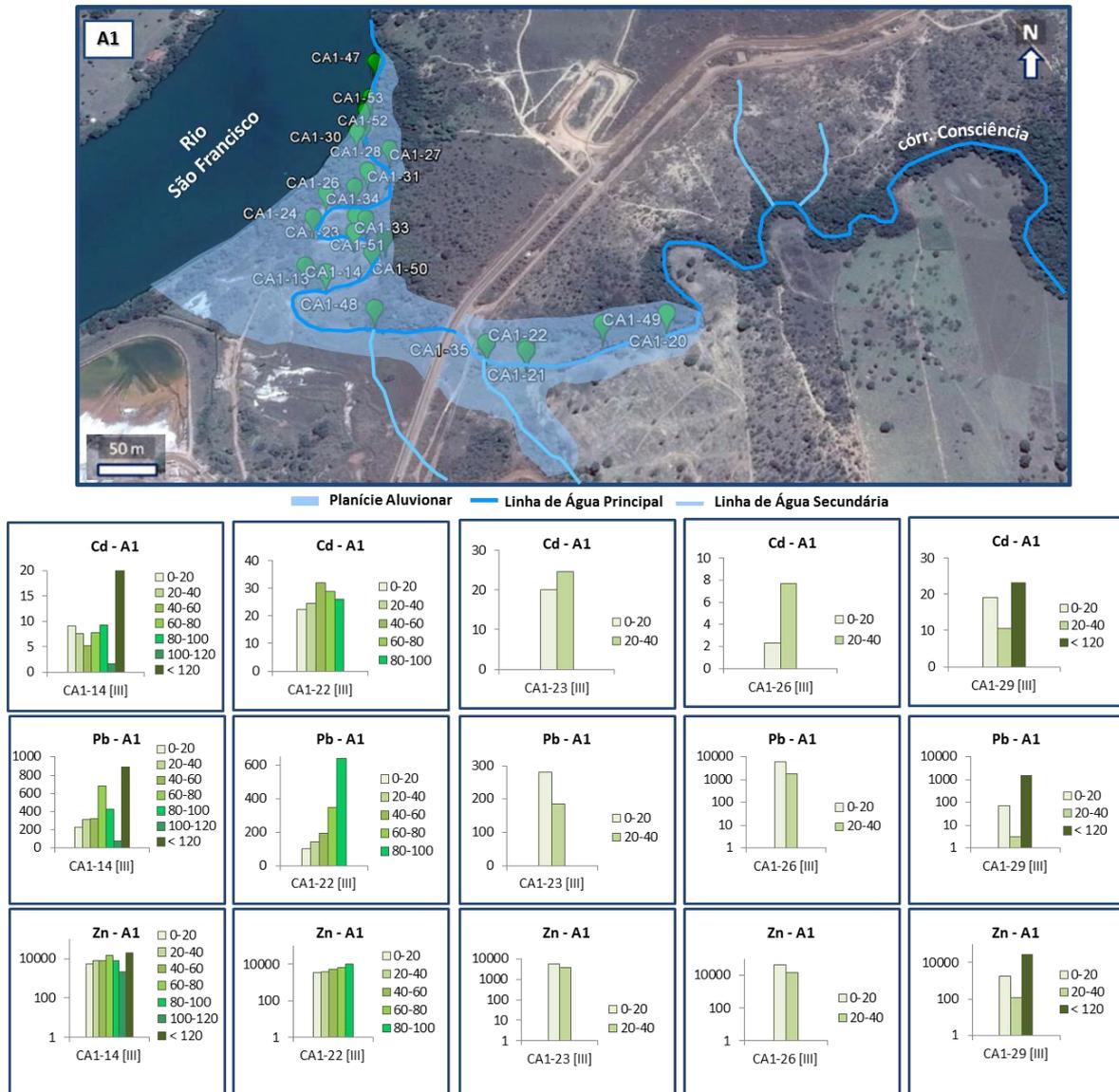


Figura 5.24: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-chuva [III]). Os teores considerados encontram-se em mg.kg⁻¹, com escalas logarítmicas para os elementos chumbo (CA1-26 [III] e CA1-29 [III]) e zinco (CA1-14 [III], CA1-22 [III], CA1-23 [III], CA1-26 [III] e CA1-29 [III]).

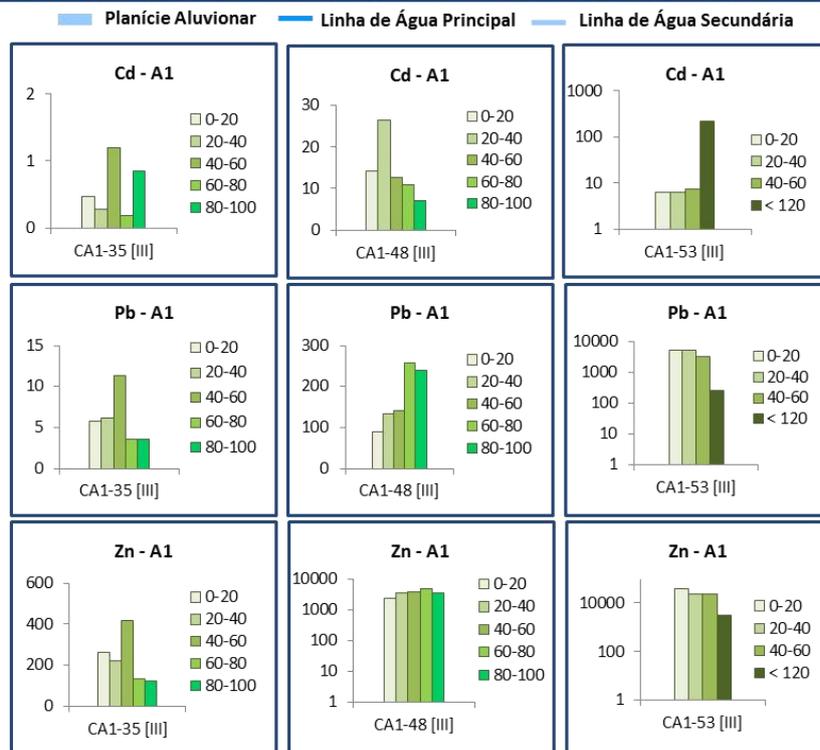
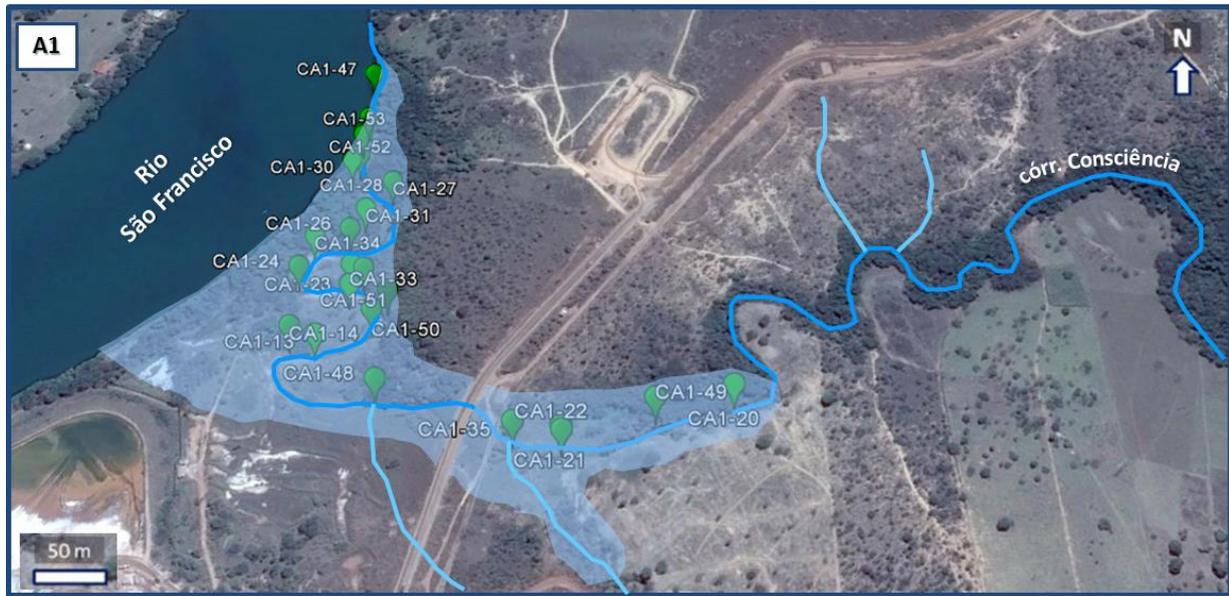


Figura 5.25: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A1 (época pós-chuva [III] e [IV]). Os teores considerados encontram-se em mg.kg⁻¹, com escalas logarítmicas para os elementos chumbo (CA1-53 [III]) e zinco (CA1-48 [III] e CA1-53 [III]).

Na área A2 (Figura 5.26) verificam-se elevados teores de chumbo e zinco ao longo do perfil de amostragem, verificando-se um decréscimo nas camadas mais profundas na época pós-seca, sendo este comportamento contrariado na época pós-chuva como se pode verificar pela amostra CA2-10A [III]. Relativamente ao cádmio obtiveram-se teores elevados em camadas de profundidade intermédia, nomeadamente a 20-40, 40-60 e 60-80 cm nas duas épocas de amostragem, observando-se igualmente um decréscimo na época pós-chuva (CA2-10A [III]).



Planície Aluvionar Linha de Água Principal Linha de Água Secundária

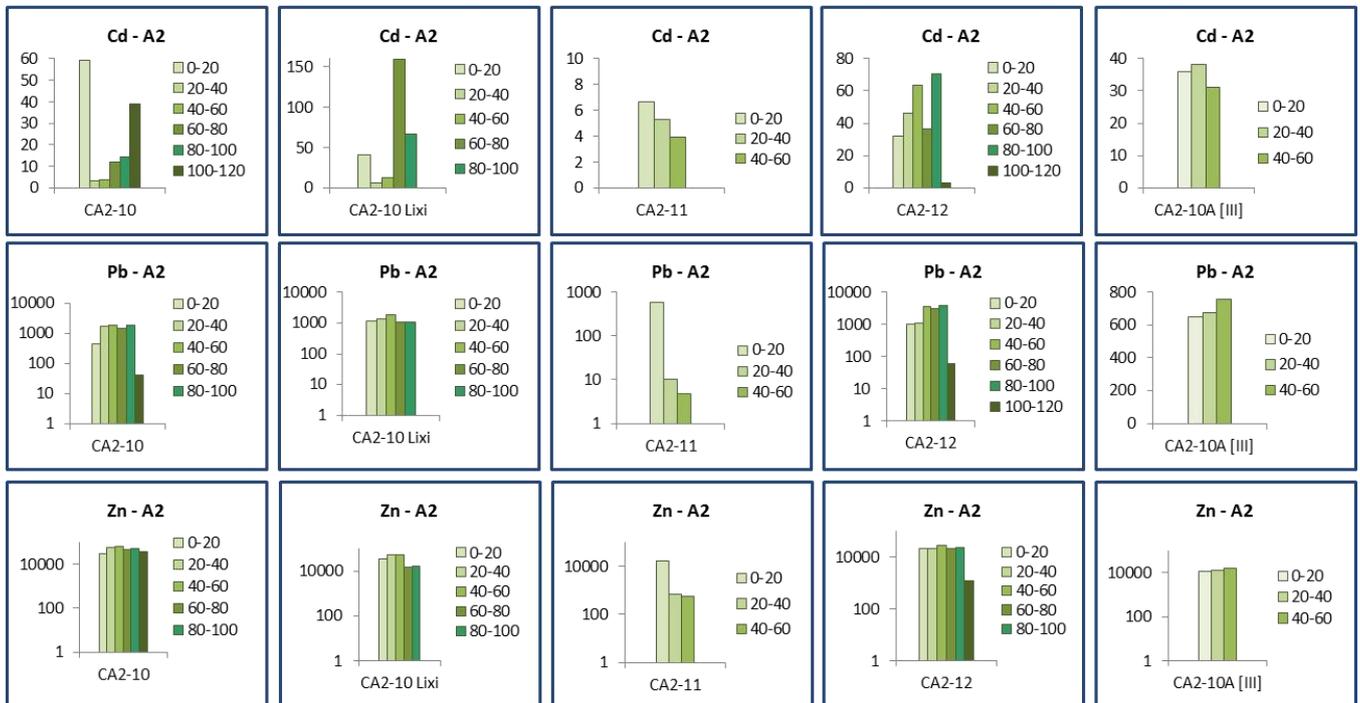


Figura 5.26: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A2 (época pós-seca e pós-chuva ([III])). Os teores considerados encontram-se em mg.kg^{-1} , com escalas logarítmicas para os elementos chumbo (CA2-10, CA2-10 Lixi, CA2-11 e CA2-12) e zinco (CA2-10, CA2-10 Lixi, CA2-11, CA2-12 e CA2-10A [III]).

Relativamente à área A3 (Figura 5.27), verifica-se o mesmo comportamento com teores em cádmio chumbo e zinco com tendência à diminuição em profundidade na época pós-seca e aumento na época pós-chuva como é visível na amostra CA3-38 (pós-seca) e CA3-38 [III] (pós-chuva).

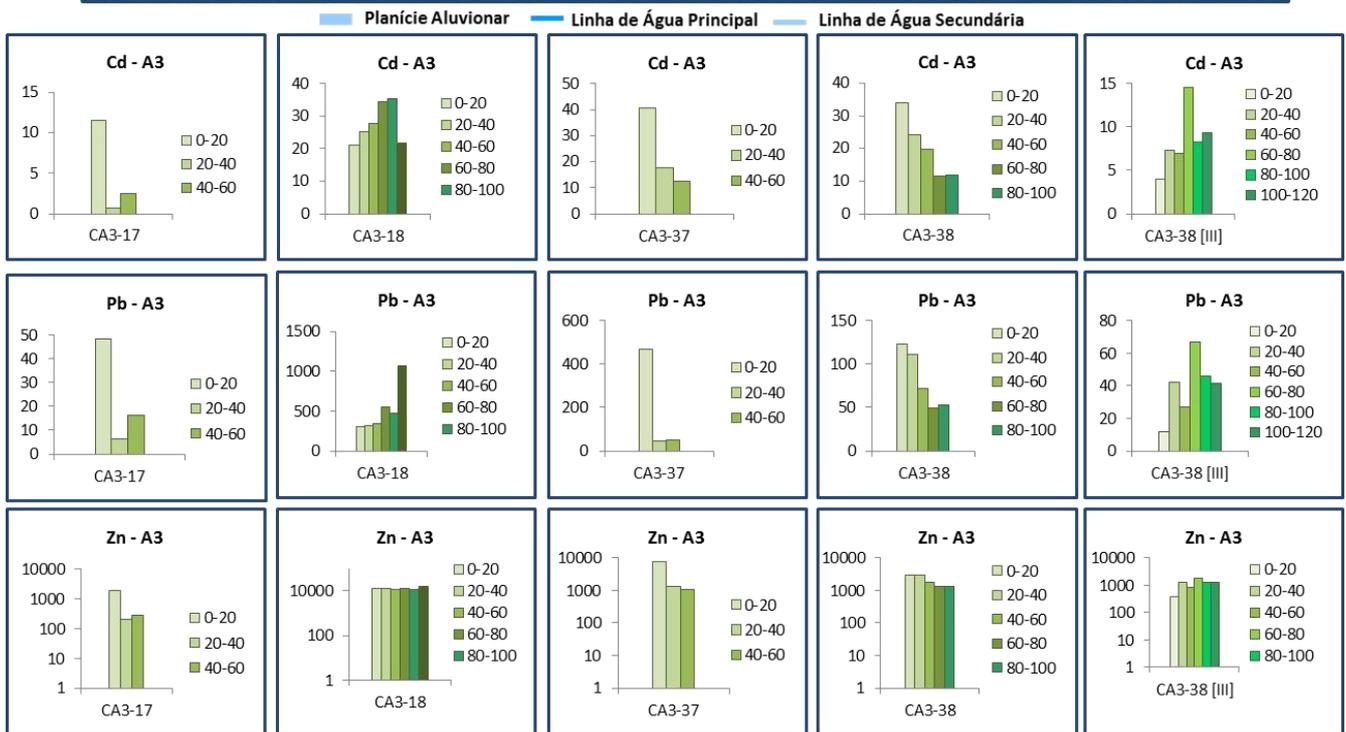
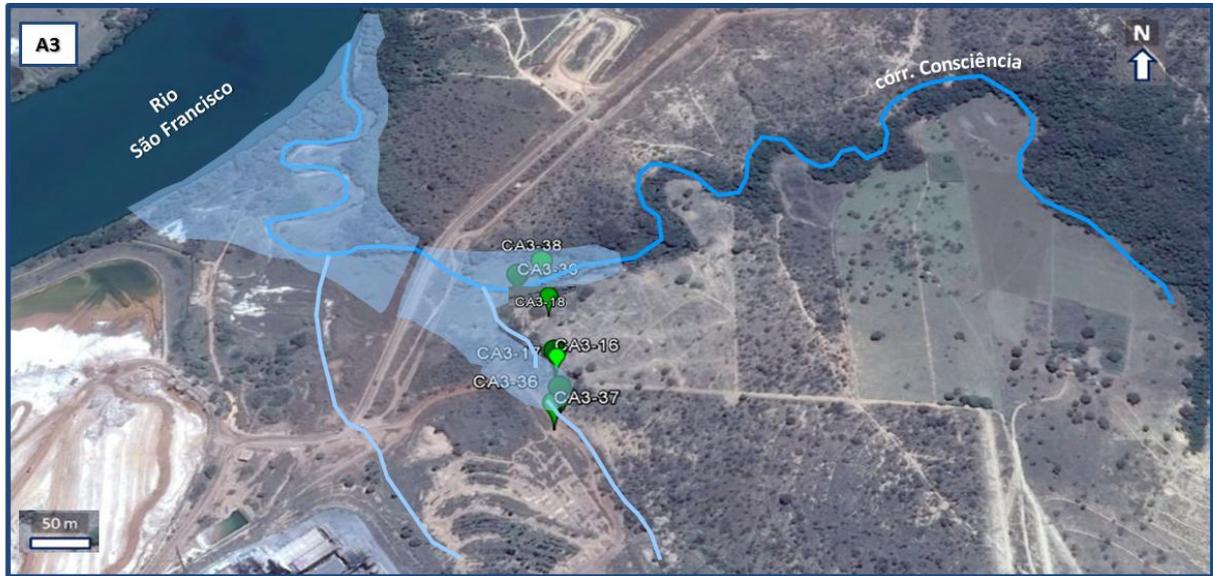


Figura 5.27: Variação em profundidade dos teores em cádmio, chumbo e zinco nas aluviões da área A3 (época pós-seca e pós-chuva (III)). Os teores considerados encontram-se em mg.kg^{-1} , com escalas logarítmicas para o elemento zinco (CA3-17, CA3-18, CA3-37, CA3-38 e CA3-38 [III]).

Assim, de uma forma geral, as aluviões recolhidas no leito e margens do córrego Consciência e planície aluvionar apresentam teores em cádmio, chumbo e zinco mais elevados à superfície, verificando-se uma tendência de decréscimo em profundidade, verificada para todas as áreas, principalmente na época pós-seca. Já na época pós-chuva verifica-se uma inversão desta tendência, identificando-se teores muito superiores em profundidade, como se pode observar nas amostras CA1-22 [III], CA1-48 [III] e CA1-53 [III] (Figura 5.24 e Figura 5.25).

Ocorrem ainda dois comportamentos preferenciais entre amostras e épocas de amostragem, sendo que o primeiro (concentrações mais elevadas à superfície, com tendência ao decréscimo em profundidade), poderá dever-se a inclinações no terreno, favorecendo a escorrência das águas pluviais diminuindo assim a sua infiltração. Assim, a contaminação fica à superfície não sendo tão expressiva em profundidade. Nas aluviões recolhidas mais próximo ao córrego (área A1), este comportamento poderá dever-se à morfologia do córrego, originando margens de acumulação e erosão nos seus meandros. Nas margens de erosão o fluxo de água é mais elevado o que dificultará a infiltração e a acumulação de materiais contaminados. São exemplo deste comportamento as amostras CA1-20 e CA1-34 (Figura 5.21 e Figura 5.23). Durante o período mais seco de salientar ainda o fenómeno da evaporação. Este desloca a água intersticial até à superfície, trazendo para as camadas mais superficiais os elementos metálicos que se encontravam na fase dissolvida, representando para os elementos mais contaminantes (Zn e Cd) a fracção dominante.

O segundo comportamento (concentrações menores à superfície, com tendência ao aumento em profundidade), pode ser justificado pela presença de amostras em margens de acumulação, ou pequenas depressões no terreno, levando a uma maior infiltração de águas pluviais, promovendo assim a lixiviação dos elementos contaminantes das zonas superficiais para as mais profundas (CA1-13, CA1-21 ou CA1-23 Figura 5.21). Este comportamento é mais notório no período chuvoso, devido ao aumento da infiltração da água pluvial que leva ao arrastamento dos elementos metálicos em fases mais solúveis para as camadas mais profundas. Na maioria das aluviões da área A2 e A3, verifica-se um comportamento muito semelhante até aos 100 cm de profundidade para o chumbo e o zinco, sendo o cádmio o elemento mais variável entre amostras em profundidade. Este comportamento poderá dever-se à baixa ou nula inclinação, destas áreas, que pode levar à acumulação e infiltração de águas pluviais, ou episódios de enxurrada. As áreas A2 e A3 correspondem ainda ao leito de cheia do córrego Consciência e do rio São Francisco que, aquando a época das chuvas tendem a inundar, ocorrendo estagnação de águas superficiais em episódios cíclicos (com repetição anual), o que promoverá a acumulação e infiltração dos metais solúveis nas águas e dos materiais carreados a montante (Figura 5.26 e Figura 5.27).

De forma a se obter uma visualização geral dos níveis de contaminação em profundidade foram construídos mapas de distribuição espacial da contaminação na zona aluvionar (para todas as amostras e considerando as duas épocas de amostragem – pós-seca e pós-chuva) para os elementos analisados (Anexo BII), cujas escalas adotadas vão de encontro com os limites considerados para cada elemento (CONAMA, 2012).

Assim, relacionando as concentrações dos vários elementos metálicos nos dois conjuntos de amostras (depositadas nas margens e no leito do córrego) e verificando a sua distribuição espacial (Anexo BII - Figuras BII.1 a BII.7) podem-se salientar os seguintes pontos:

- 1) De forma geral, as aluviões depositadas no leito têm concentrações mais elevadas em Pb, Cd, As, Cu e Cr, relativamente às aluviões depositadas nas margens;
- 2) O Zn, o As e o Cd apresentam uma distribuição mais heterogênea, verificando-se os valores mais elevados, quer nas aluviões do leito, quer nas depositadas nas margens de acordo com as profundidades consideradas.
- 3) A distribuição dos metais no leito do córrego está relacionada com a sua aproximação à unidade industrial e às direções dos fluxos de escorrência e dos fluxos de água subterrânea oriundos das actividades industriais e dos depósitos de rejeitos (Fonseca, *et al.*, 2015).
- 4) Os elementos metálicos analisados concentram-se, com teores acima dos limites críticos, nas aluviões da margem direita do rio São Francisco, alguns metros a jusante da foz do córrego Consciência, face à grande facilidade de remoção pelas correntes internas, das partículas mais finas onde estes elementos preferencialmente se concentram, sendo essa concentração mais acentuada nas camadas superficiais embora o cádmio, o cobre o chumbo e o zinco apresentem igualmente em camadas mais profundas. O aumento da concentração destes metais nas camadas mais profundas dever-se-á à circulação da água intersticial enriquecida nestes elementos através da base do leito do córrego.
- 5) A concentração de metais nas aluviões depositadas no leito do córrego Consciência é bastante heterogênea, mesmo considerando materiais com idêntica textura, sugerindo a existência de locais preferenciais de acumulação. Estes locais poderão estar relacionados com a morfologia do leito, a existência de meandros no curso de água com margens preferenciais de acumulação e margens onde os fenómenos de erosão são dominantes, a presença de blocos rochosos no leito, muitos dos quais com influência antrópica, a direcção dos fluxos de escorrência superficial que transportam os contaminantes a partir da área industrial e a direcção das correntes internas. Assim, aluviões geograficamente muito próximos poderão apresentar grandes diferenças relativamente à concentração de metais. Tomemos como exemplo as amostras CA1-53 e CA1-28 que, distando apenas cerca de 30 m, têm uma composição química muito distinta, com valores muito superiores em CA1-53, localizado a jusante, onde elementos como o As, Cd, Cu, Pb e Zn apresentam

teores acima dos limites críticos. Inclusive, o Ni, elemento que raramente apresenta problemas nestes materiais, surge com concentrações que carecem de atenção.

6) Ao longo do córrego não se verifica um padrão de distribuição regular na concentração dos metais, sendo possível identificar três sectores onde a maior parte dos elementos atinge níveis críticos a muito críticos:

- A foz do córrego Consciência parece ser uma zona de acumulação preferencial de sedimentos finos onde se concentram preferencialmente os elementos metálicos. As análises granulométricas classificaram as aluviões depositadas nestas como siltes argilosos e as análises geoquímicas revelaram concentrações muito elevadas em metais pesados. Nas colunas sedimentares correspondentes às amostras recolhidas na foz, em toda a sua espessura, as concentrações em As, Cd, Cu, Pb e Zn são muito elevadas para os sedimentos depositados junto à margem direita (CA1-52, CA1-53: Zn (< 3,0%), As (> 50 mg.Kg⁻¹), Cd (> 5 mg.Kg⁻¹) e Pb (> 3000 mg.Kg⁻¹)) e um pouco menos elevadas a meio do curso de água (CA1-29), embora ainda com valores críticos no que diz respeito ao Zn, e ao Cd e Pb apenas em alguns níveis da coluna sedimentar. Neste sector da foz do córrego Consciência, a sedimentação dar-se-á preferencialmente junto à margem direita, correspondendo a uma sedimentação maioritariamente de partículas de fina dimensão, siltosas e argilosas, o que facilita a retenção por adsorção, de elementos metálicos.
- Sector com uma extensão aproximada de 200 metros que inclui um meandro apertado do córrego e cujo extremo NW dista aproximadamente 200 m da foz. Este sector corresponde ao extremo montante da área onde se regista maior acumulação de sedimentos e que se estende até à foz. Compreende as amostras CA1-26 e CA1-51 onde se verificaram valores muito elevados da maioria dos elementos metálicos (valores médios: Zn > 3,0%, As > 50 mg.Kg⁻¹, Cd > 50 mg.Kg⁻¹, Pb > 50 mg.Kg⁻¹) e valores acima dos valores intermédios e/ou que carecem de atenção, para Ni e Cr. Este sector poderá corresponder a um local preferencial de acumulação do material particulado e solúvel que é directamente lixiviado a partir da unidade industrial, registando-se igualmente teores muito elevados de metais nas aluviões depositadas nas margens (CA1-14, CA1-13, CA1-23, CA1-24, CA1-32, CA1-34, com As, Cd, Pb, Zn e Cu acima dos teores críticos heterogeneamente distribuídas desde os níveis mais superficiais até aos mais profundos).
- Zona de maior acumulação sedimentar no sector mais a montante do córrego Consciência, correspondente à foz do córrego Grota Seca (CA1-22 e CA1-57). Com valores mais baixos relativamente aos dois sectores anteriores, as aluviões

possuem, contudo, elevadas concentrações de Zn, Pb, Cu, Cd e As, acima dos limites críticos (por exemplo: valores médios de Zn > 5000 mg.Kg⁻¹ e de Cd > 25 mg.Kg⁻¹).

- 7) As aluviões acumuladas na margem direita, oposta à unidade da Votorantim Metais Três Marias, mostram igualmente valores elevados de elementos metálicos, como é o caso de: (1) amostra CA1-48 com teores críticos de Zn, Pb, Cd em toda a espessura e As com teores superiores a 10 mg.Kg⁻¹ em níveis mais profundos, entre os 60 e 100 cm de profundidade e (2) amostra CA1-35 com valores elevados de Zn e Cd nas camadas superficiais. Em direcção aos materiais depositados na margem direita do córrego Consciência, os elementos metálicos deverão ser transportados preferencialmente sob forma solúvel através da água intersticial que circula em toda a superfície aluvionar, inclusive a superfície onde está entalhado o córrego. Esta água concentrada em metais circula através do leito do córrego para a margem oposta através de mecanismos de advecção e difusão molecular, que deverão processar-se lentamente em virtude da baixa permeabilidade dos materiais. Poderá ainda admitir-se como origem dos níveis elevados de metais na margem direita, a deposição de elementos sob forma solúvel ou particulada, a partir da água do córrego, nos períodos de cheia.

A determinação e caracterização da amplitude da contaminação no local, considerando-se os teores obtidos na digestão parcial (*Aqua Regia*), foram realizadas através do cálculo do **Factor de Enriquecimento**.

O Factor de Enriquecimento corresponde, segundo Kabata-Pendias (2001), a uma razão padronizada com os valores de *Clarke* para as rochas parentais. No entanto, tendo o trabalho como objectivo a utilização deste factor em comparação com a área A0, e não com as rochas parentais, recorreu-se à definição proposta por Lee *et al.*, (1997) (Nude *et al.*, 2011; Pinho, C., 2013; Martins, L., 2014; Dias, N., 2014). O cálculo do factor de enriquecimento é assim realizado utilizando o ferro como padronizador das amostras, segundo a expressão:

$$FE = \frac{(Me/Fe)_{amostra}}{(Me/Fe)_{padrão}}$$

Onde: (Me/Fe)_{amostra} corresponde à razão entre um determinado elemento metálico e o ferro na amostra e (Me/Fe)_{padrão} corresponde à razão entre o metal e o ferro no padrão.

O cálculo foi realizado considerando-se os valores médios, para cada elemento, de todas as amostras da área A0, de forma a minimizar possíveis erros relacionados com enriquecimentos pontuais em algumas amostras e identificação de uma aproximação real da contaminação local. Os resultados foram classificados segundo cinco categorias, representadas na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Categorias de classificação do Factor de Enriquecimento. (Adaptado de Nude *et al.*, (2011); Pinho, C., (2013); Martins, L., (2014) e Dias, N., (2014)).

Categorias de classificação do Factor de Enriquecimento	
< 2	Depleção ou Enriquecimento Mínimo
2-5	Enriquecimento Moderado
5-20	Enriquecimento Significativo
20-40	Enriquecimento Muito Elevado
> 40	Enriquecimento Extremamente Elevado

Todos os resultados obtidos, através do cálculo do factor de enriquecimento das aluviões, encontram-se em Anexo (Anexo AII - Tabela AII.1). Nas figuras 5.28 a 5.30 apresentam-se graficamente os resultados obtidos para o factor de enriquecimento calculado nas aluviões.

A análise das figuras 5.28 e 5.29 permite identificar os principais elementos com maior enriquecimento na área em estudo. Assim, identificam-se os elementos cádmio e zinco como os principais contaminantes nas aluviões, destacando-se ainda o chumbo com enriquecimentos muito elevados a extremamente elevados em todas as áreas analisadas. O arsénio apresenta enriquecimentos significativos para as áreas A1 e A3, destacando-se os enriquecimentos significativos a extremamente elevados na área A2, devendo-se este enriquecimento à amostra CA2-12 (Anexo AII - Tabela AII.1). O cobre e o manganês apresentam enriquecimentos moderados a significativos nas áreas A1 e A3, com enriquecimentos muito elevados a extremamente elevados na área A2, devendo-se a amostras pontuais (Anexo AII - Tabela AII.1). O cobalto e o níquel apresentam-se minimamente a moderadamente enriquecidos, à excepção de uma situação pontual na área A2 com enriquecimento extremamente elevado (Anexo AII - Tabela AII.1), enquanto para o crómio é verificado um enriquecimento mínimo em todas as áreas.

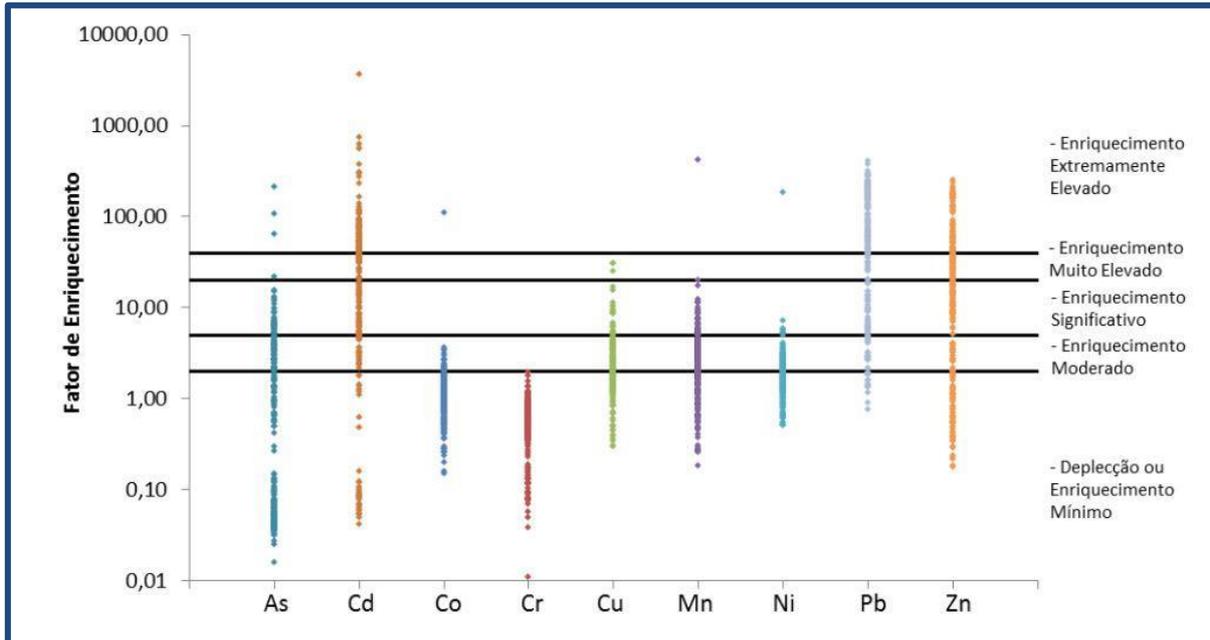


Figura 5.28: Factor de Enriquecimento para as aluviões da área em estudo. Escala logarítmica.

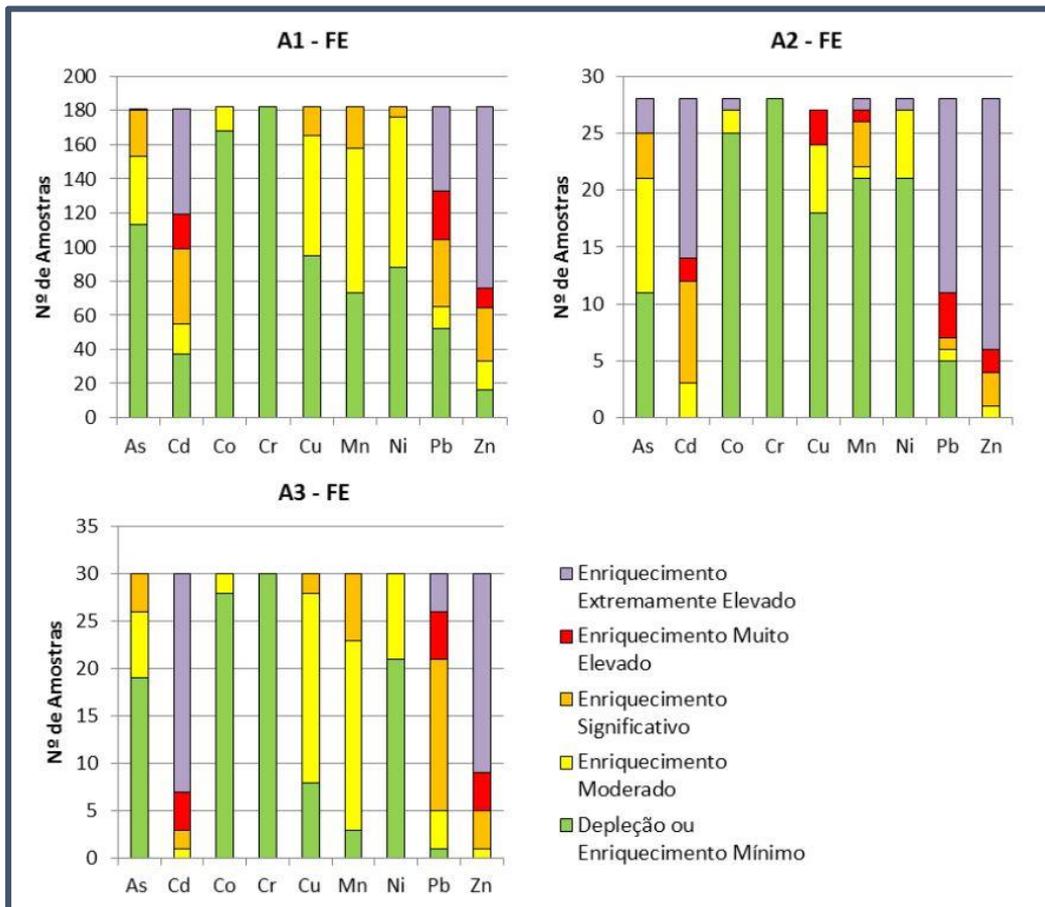


Figura 5.29: Categorias do Factor de Enriquecimento (FE) nas aluviões da área em estudo.

A figura 5.30 transmite uma visão mais global dos enriquecimentos identificados, tendo sido, para cada área realizado o somatório das ocorrências para cada uma das categorias, independentemente dos elementos. Assim, verifica-se a ocorrência de enriquecimentos elevados a extremamente elevados em todas as áreas, com a área A1 e A2 a verificar maior número de amostras com esta classe de enriquecimento (essencialmente em Cd, Pb e Zn). Os menores enriquecimentos (mínimo, moderado a significativo) são identificados maioritariamente nas aluviões pertencentes às áreas A1 e A3.

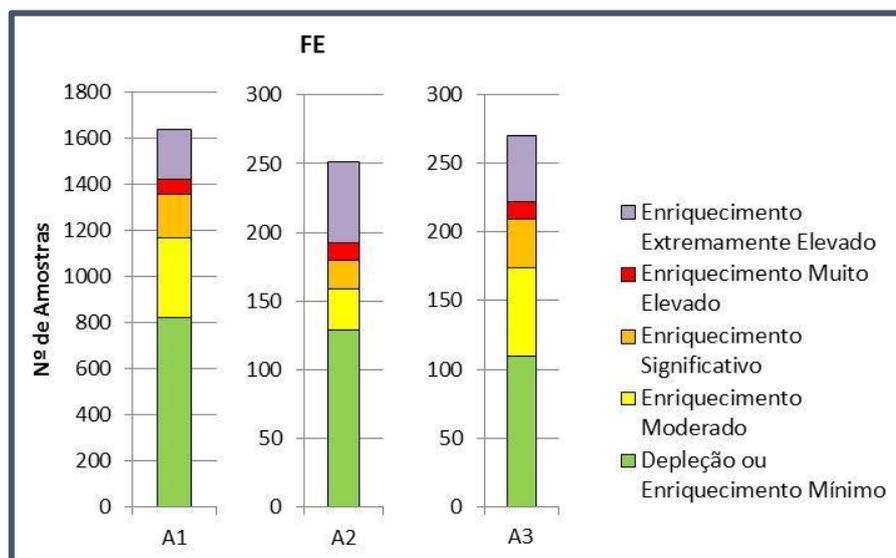


Figura 5.30: Somatório do número de ocorrências nas aluviões em cada categoria do Factor de Enriquecimento (FE).

Foi ainda calculado o **Índice de Geoacumulação** (*Index of Geochemical Load – IGL*), de forma a se poderem comparar os valores obtidos pelo factor de enriquecimento. Este índice permite calcular, com base numa referência local (*background*), o enriquecimento verificado para um dado elemento, numa dada amostra, segundo a expressão (Kabata-Pendias, 2001; Trindade, 2010; Nude *et al.*, 2011; Trindade *et al.*, 2012; Martins, L., 2014; Dias, N., 2014):

$$IGL = \log_2 \left(\frac{VM}{VP \times 1,5} \right)$$

Onde: VM representa o valor medido num dado elemento e VP o valor de referência desse elemento.

O cálculo foi, à semelhança do factor de enriquecimento, realizado considerando-se os valores médios, para cada elemento, de todas as amostras da área A0, de forma a minimizar possíveis erros relacionados com enriquecimentos pontuais em algumas amostras. Os resultados foram classificados segundo sete categorias, representadas na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Categorias de classificação do Índice de Geoacumulação. (Adaptado de Trindade (2010); Nude *et al.*, (2011); Trindade *et al.*, (2012); Martins, L., (2014) e Dias, N., (2014)).

Categorias de Classificação do Índice de Geoacumulação	
< 0	Não Contaminado
0-1	Não Contaminado a moderadamente Contaminado
1-2	Moderadamente contaminado
2-3	Moderadamente a altamente contaminado
3-4	Altamente contaminado
4-5	Altamente a extremamente contaminado
> 5	Extremamente contaminado

Todos os resultados obtidos, através do cálculo do Índice de geoacumulação das aluviões, encontram-se em Anexo (Anexo AII - Tabela AII.2). Nas figuras 5.31 a 5.33 apresentam-se graficamente os resultados obtidos para o índice de geoacumulação calculado nas aluviões.

Da análise das figuras 5.31 e 5.32 é possível identificar os principais contaminantes da área, já referidos no factor de enriquecimento, como sendo o cádmio, o chumbo e o zinco. Encontrando-se assim, as aluviões extremamente contaminadas nestes elementos (Cd, Pb e Zn), com valores moderadamente a extremamente contaminados em arsénio, cobre e manganês nas três áreas, e ferro moderadamente a altamente contaminado nas áreas A1 e A2. O cobalto, o crómio e o níquel apresentam valores de índice de geoacumulação maioritariamente correspondentes a não contaminados e a moderadamente contaminados, apresentando-se como excepção o níquel na área A2, com um número significativo de amostras com índice de geoacumulação moderadamente a altamente contaminado (Figura 5.31 e 5.32).

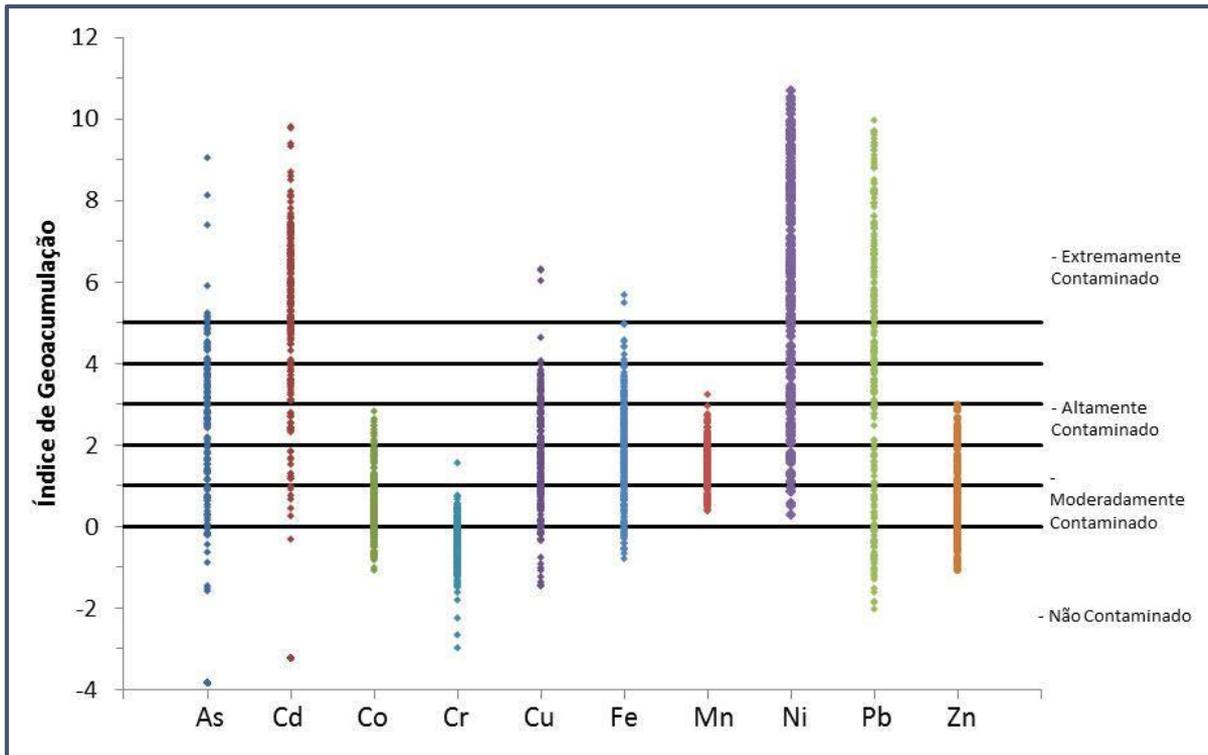


Figura 5.31: Índice de Geoacumulação para as aluviões da área em estudo. Escala logarítmica.

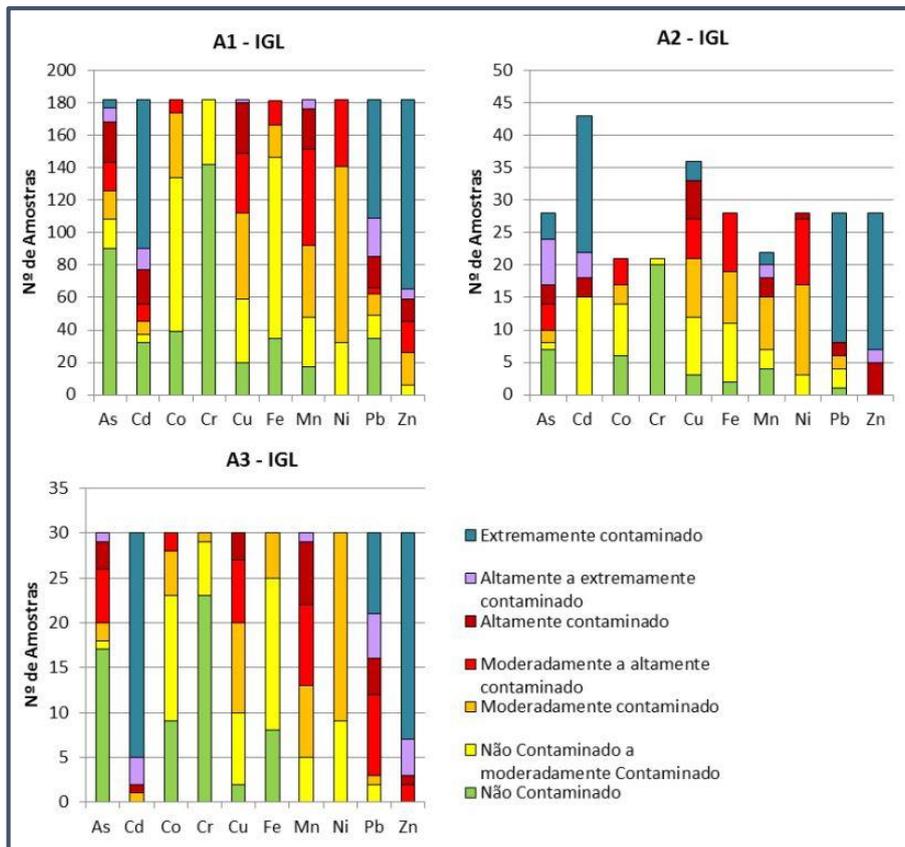


Figura 5.32: Categorias do Índice de Geoacumulação (IGL) nas aluviões da área em estudo.

À semelhança do realizado para o factor de enriquecimento, a figura 5.33 transmite uma visão mais global dos índices de geoacumulação identificados, tendo sido, para cada área realizado o somatório das ocorrências para cada uma das categorias, independentemente dos elementos.

Assim, verifica-se a ocorrência de índices de geoacumulação altamente a extremamente contaminados em todas as áreas. Os menores índices de geoacumulação (não contaminado a moderadamente contaminado) são identificados maioritariamente nas aluviões pertencentes à área A1, apresentando número de amostras idêntico nas áreas A2 e A3. De salientar que o número de amostras com valores de índice de geoacumulação extremamente contaminado na área A2 e A3 é preocupante uma vez que o número de amostras recolhidas nesta área é inferior ao recolhido na área A1 (Figura 5.33).

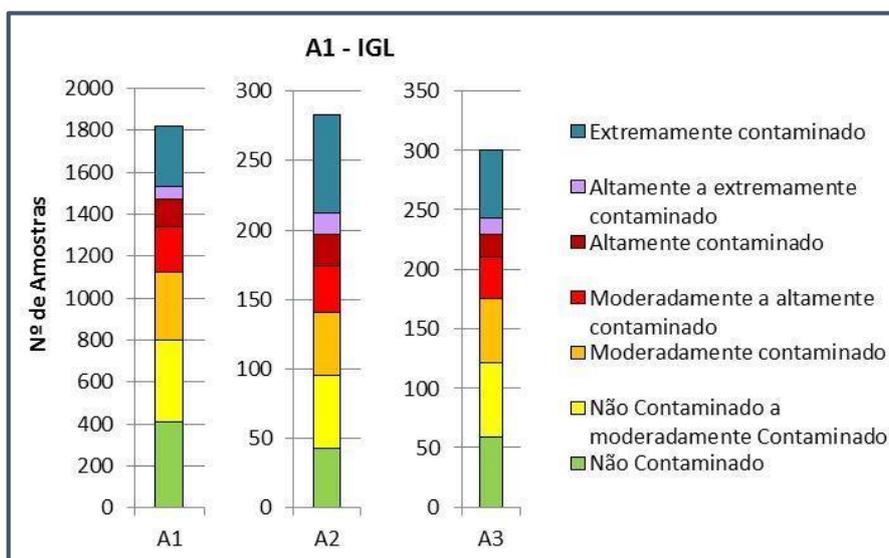


Figura 5.33: Somatório do número de ocorrências nas aluviões em cada categoria do Índice de Geoacumulação (IGL).

É referido ainda (Kwon *et al.*, 1998) o **Factor de Contaminação** como uma forma de determinação da contaminação de sedimentos aluvionares. Este factor é geralmente utilizado para o cálculo do Índice de Poluição (Nude *et al.*, 2011; Martins, L., 2014; Dias, N., 2014), permitindo apenas uma aproximação simples e rápida do nível de contaminação de uma dada área. O Factor de Contaminação (FC) é dado pela expressão:

$$FC = \frac{VM}{VRef}$$

Onde: VM corresponde à média dos valores medidos num determinado elemento (superior a cinco amostras, de modo a eliminar picos pontuais de contaminação) e VRef corresponde ao valor de referência considerado.

O Factor de Contaminação foi calculado para cada área, tendo-se utilizado a média de cada elemento da área A0 como valor de referência. Os resultados foram classificados segundo quatro categorias, representadas na tabela 5.3.

Tabela 5.3: Categorias de classificação Factor de Contaminação. (Adaptado de Nude *et al.*, (2011); Martins, L., (2014) e Dias, N., (2014)).

Categorias de Classificação do Factor de Contaminação	
< 1	Nível baixo de contaminação
1-3	Nível moderado de contaminação
3-6	Nível considerável de contaminação
> 6	Nível elevado de contaminação

Na Tabela 5.4 expressam-se os resultados obtidos para o factor de contaminação calculado nas aluviões.

Tabela 5.4: Factor de Contaminação para as aluviões.

	Factor de Contaminação		
	Área A1	Área A2	Área A3
As	3,39	29,08	2,05
Cd	41,42	87,79	54,88
Co	1,15	1,31	1,14
Cr	0,52	0,53	0,58
Cu	2,97	8,25	2,46
Fe	1,19	2,12	0,93
Mn	3,34	5,15	4,11
Ni	2,09	2,70	1,61
Pb	64,50	116,59	20,48
Zn	133,42	404,90	86,72

O cálculo do factor de contaminação identificou (Tabela 5.4), à semelhança do factor de enriquecimento e do índice de geoacumulação, como principais elementos contaminantes em todas as áreas, o cádmio o chumbo e o zinco, apresentando factores de contaminação com nível elevado. Verificando-se ainda o arsénio, na área A1, e o manganês, em todas as áreas, com nível considerado de contaminação, e o cobalto, o cobre o ferro e o níquel com nível moderado de contaminação (à excepção do cobre na área A2 – nível elevado de contaminação).

Os parâmetros de qualidade obtidos através da aplicação destes três índices são muito semelhantes entre si. No entanto quando comparado o factor de enriquecimento com o índice de geoacumulação verifica-se uma maior concordância entre os teores reais analisados nas amostras

(Anexo AI - Tabela AI.8) e os obtidos através da aplicação do índice de geoacumulação (Anexo AII - Tabela AII.2) (sendo que as amostras apresentam teores ligeiramente superiores aos obtidos após a aplicação do índice). Os valores dependem ainda directamente dos teores obtidos nas aluviões da área A0, uma vez que estes foram utilizados como referência. Também no cálculo do factor de enriquecimento, uma vez que é realizado com a padronização do ferro, torna-se impossível determinar o enriquecimento neste elemento. O factor de contaminação é, assim, o índice que permite de forma mais simples identificar os principais contaminantes da área, embora também ele dependa directamente dos valores de referência.

Assim, a utilização de qualquer um destes índices deverá ser realizada tendo presente todas as interferências a que estão sujeitos, sendo que nenhum é desprovido de desvantagens, razão pela qual deverão ser utilizados em conjunto de forma a permitir uma melhor caracterização da área em estudo.

5.1.4. Relação entre os Níveis de Contaminação e os Valores de pH

O pH consiste num dos principais parâmetros físico-químicos indicadores de áreas contaminadas. Assim áreas contaminadas com nutrientes orgânicos (fósforo ou azoto), mais frequentes em ambientes lênticos e lóticos, são geralmente caracterizadas por valores de potencial de oxidação/redução (Eh) reduzidos, devendo-se à elevada taxa de crescimento de microorganismos e por sua vez elevado consumo de oxigénio acessível na água (Moschini-Carlos *et al.*, 2011). Já em zonas contaminadas por metais pesados, as variações de pH afectam directamente os seus processos de adsorção. Desta forma, ambientes de pH ácido promovem reduzidas taxas de metais adsorvidos, enquanto ambientes com valores de pH mais alcalino ocorre uma maior taxa de adsorção de metais (Trindade 2010). Em áreas contaminadas por metais pesados, ricas em sulfuretos como é o caso da área em estudo principalmente devido à natureza do minério utilizado na unidade industrial de Três Marias, ocorrem preferencialmente valores de pH médios a baixos, devido à oxidação dos sulfuretos (Salomons, 1995).

Assim procedeu-se à comparação do nível de contaminação (Índice de Geoacumulação calculado anteriormente) com o pH das amostras de acordo com as duas principais campanhas de amostragem (pós-seca – PS e pós-chuva – PC). De forma a tornar mais perceptível esta relação, foram apenas considerados os elementos com maior contaminação nas áreas, nomeadamente o cádmio, o zinco e o chumbo. Nas figuras 5.34 e 5.35, encontram-se representadas graficamente as comparações entre os valores de pH e o Índice de Geoacumulação para as aluviões nas épocas pós-seca – PS e pós-chuva – PC. Os valores de pH e Índice de Geoacumulação totais de todas as

amostras analisadas encontram-se em Anexo AI - Tabela AI.5 e Anexo AII - Tabela AII.2 respectivamente.

Verifica-se, em todas as áreas, uma relação entre o nível de contaminação e o pH, sendo esta mais óbvia nas áreas A1 e A2, quer para a época pós-seca quer para a época pós-chuva. Assim, quanto maior é o pH, menor é o nível de contaminação (Índice de Geoacumulação - IGL), e vice-versa. Observa-se um predomínio de valores elevados de pH *versus* IGL mais reduzidos na área A3 (pós-seca e pós-chuva) e a relação contrária na área A2 no período pós-seca. A área A1, nas duas companhias, corresponde à área com maior número de amostras tornando esta relação mais variável, existindo no entanto um padrão maioritariamente seguido pelos três contaminantes considerados (Cd, Pb e Zn).

Os padrões observados na relação entre os dois parâmetros poder-se-ão relacionar com a presença de sulfuretos e com o seu ciclo de oxidação-redução. Esta reacção promoverá a libertação de iões H^+ provocando uma diminuição do pH localmente, simultaneamente à libertação dos metais existentes na sua estrutura e à formação de sulfatos que, por sua vez, irão precipitar juntamente com os elementos metálicos livres. Em algumas camadas das zonas mais profundas da planície aluvionar e em alguns pontos na época da chuva, esta relação não é tão nítida, podendo este facto estar relacionado com a presença de água e com a sua capacidade de diluição e dissimulação do efeito descrito.

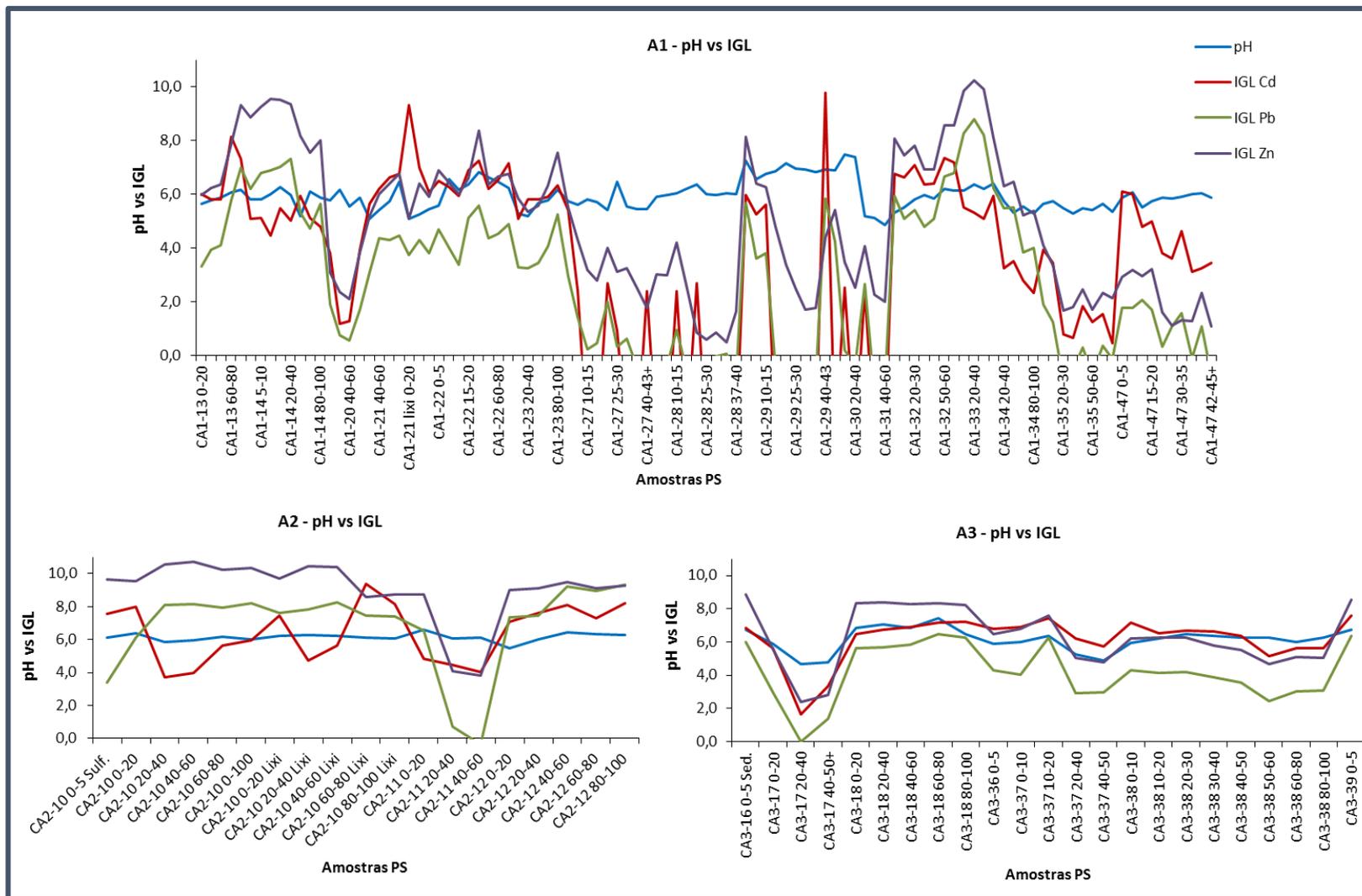


Figura 5.34: Comparação dos valores de pH e IGL das aluviões da área em estudo, época pós-seca - PS.

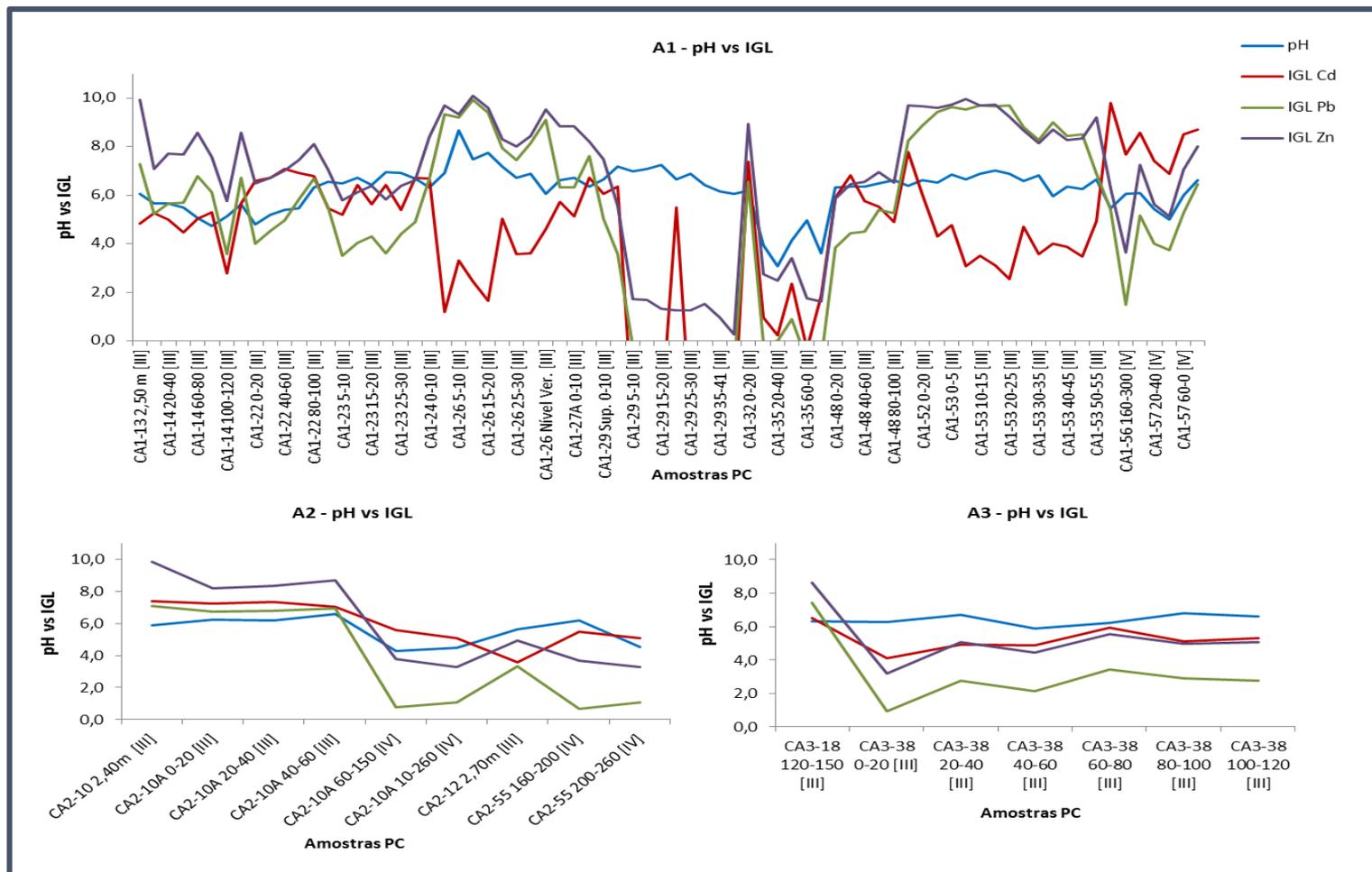


Figura 5.35: Comparação dos valores de pH e IGL das aluviões da área em estudo, época pós-chuva – PC.

5.1.5. Determinação da Concentração de Elementos Metálicos em Diferentes Fracções Granulométricas ($>63 \mu\text{m}$, $63-2 \mu\text{m}$, $< 2 \mu\text{m}$)

Tendo a presente tese como um dos principais objectivos a identificação da/s técnica/s de remediação mais adequada para aplicação na área em estudo, foram realizados estudos de caracterização geoquímica para identificação das concentrações de elementos metálicos, em diferentes fracções granulométricas. Esta análise tem, como principal objectivo a identificação da técnica/s mais adequada a aplicar mediante as concentrações identificadas, dado existir maior perigosidade ambiental se a concentração dos elementos tóxicos se associar a partículas de menor dimensão (partículas facilmente lixiviadas com possibilidade de permanência em corpos de água suspensas durante longos períodos de tempo).

O conhecimento do teor em metais nas principais fracções granulométricas ($> 63 \mu\text{m}$; $63-2 \mu\text{m}$; $< 2 \mu\text{m}$) pretendeu, para além de um conhecimento breve sobre o efeito causado pela lixiviação das partículas mais finas, uma melhor compreensão do comportamento dos metais em resposta à aplicação de técnicas de remediação, nomeadamente:

- Na aplicação de técnicas de reabilitação *in situ* é importante saber qual a fracção granulométrica preferencial de acumulação dos elementos metálicos para, assim ser mais intuitiva e exacta a escolha da técnica de remediação a adoptar;
- Na aplicação de técnicas de remediação nas aluviões localizadas nas margens e leito do córrego Consciência, ter-se-á de estudar a possibilidade da utilização de técnicas que promovam a remobilização e ressuspensão dos materiais, uma vez que a generalidade dos elementos metálicos que apresentam teores superiores ao valor crítico se encontra preferencialmente associada às partículas argilosas. Assim, será necessário acautelar as técnicas de remediação que possam contribuir para a ressuspensão de grandes quantidades de partículas finas.
- O conhecimento das concentrações de metais nas principais fracções granulométricas contribuirá também para a rentabilização do tratamento e destino final a dar aos materiais, caso sejam removidos. Assim, poder-se-á avaliar a possibilidade da reutilização destes materiais ou fracções dos mesmos, diminuindo o volume de material contaminado a ser depositado em local apropriado, com conseqüente diminuição dos custos associados.

Foram escolhidas as amostras que, em cada área, apresentaram índices de contaminação mais elevados nas quais se realizou uma separação granulométrica distinta. Assim foram identificadas as percentagens que essas amostras apresentavam em três fracções granulométricas: $< 2 \mu\text{m}$, $<63 \mu\text{m}->2 \mu\text{m}$ e $> 63 \mu\text{m}$.

Esta classificação granulométrica teve como objectivo identificar quais os contaminantes mais abundantes nestas fracções, de forma melhor identificar a técnica ou conjunto de técnicas mais apropriado para a remediação da área.

Do ponto de vista granulométrico é igualmente importante a quantificação destas classes granulométricas uma vez que a aplicabilidade de algumas técnicas de remediação ambiental se prendem muitas vezes com a percentagem de componentes granulométricos, sendo que em alguns casos o tempo necessário para a evolução positiva de um método de remediação depende directamente do tipo de partículas, da sua granulometria e da fracção em que ocorrem preferencialmente os contaminantes. As percentagens granulométricas obtidas nas três fracções consideradas encontram-se representadas graficamente na figura 5.36.

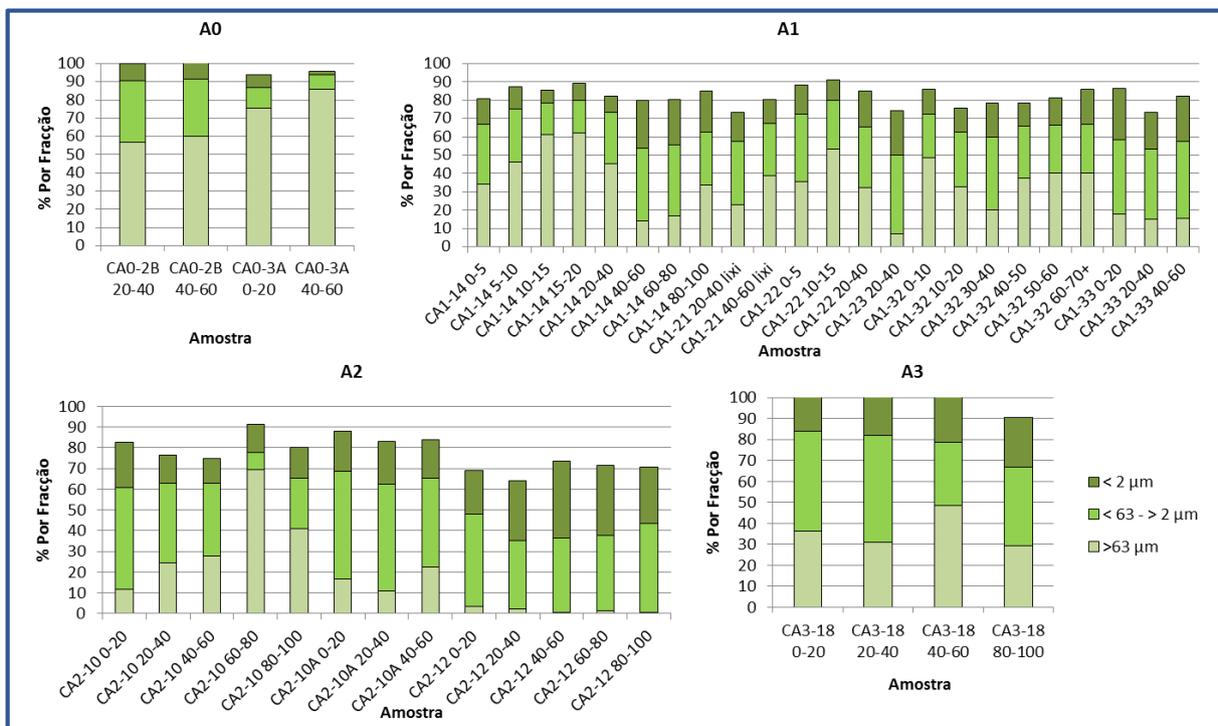


Figura 5.36: Percentagens obtidas a partir da separação granulométrica em três fracções (< 2µm, <63µm->2µm e > 63µm) das amostras com maior Índice de Contaminação.

De acordo com figura 5.36, verifica-se que de uma forma geral a fracção dominante é a compreendida entre 63-2µm, fracção esta mais abundante nas amostras da área A2 e A3. A fracção mais fina (<2µm) apresenta-se de forma geral menos expressiva à excepção de algumas amostras das áreas A1, A2 e A3. Quanto à fracção mais grosseira (>63µm), verifica-se que a sua maior distribuição ocorre nas áreas A0 e A1.

As figuras 5.37 a 5.40 referem-se às percentagens dos teores obtidos em cada fracção de acordo com as amostras analisadas e as suas áreas correspondentes. Todos os resultados obtidos

para as três fracções analisadas ($> 63 \mu\text{m}$; $63\text{-}2 \mu\text{m}$; $< 2 \mu\text{m}$) encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabelas AI.9 a AI.11).

As aluviões da área em estudo são muito heterogéneas relativamente às suas características físicas, químicas e mineralógicas, sofrendo ainda influência variável de elementos contaminantes oriundos das actividades desenvolvidas pela Votorantim Metais. Assim, os materiais, vindos das áreas de influência da unidade industrial, transportados sob a forma solúvel ou particulada, por escorrência superficial, processos de advecção ou difusão molecular, sujeitos a vários mecanismos de transformação química associando-se ainda a materiais de aterro com natureza distinta, são depositados em diversas áreas das superfícies aluvionares. As aluviões apresentam elevada heterogeneidade, sendo identificados componentes minerais distribuídos pelas diferentes classes dimensionais, verificando-se essa dispersão também relativamente aos elementos químicos que ocorrem associados a esses componentes.

Da análise mais pormenorizada das figuras 5.37 a 5.40 verifica-se que em relação à área A0 (Figura 5.37) a fracção granulométrica, onde é mais elevada a concentração dos elementos analisados é a $> 63 \mu\text{m}$, caracterizando-se as amostras desta área como mais grosseiras com classe textural da areia e areia siltosa (classificação identificada e analisada através da determinação textural das amostras). Assim, óxidos de Fe e Mn, aos quais estão associados grande parte dos elementos metálicos considerados, ocorrerão possivelmente na forma de partículas grosseiras ou como películas a revestir os grãos.

Apesar de menos expressiva, nesta área, em algumas amostras ocorrem percentagens consideráveis de elementos metálicos (Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) na fracção argilosa $< 2 \mu\text{m}$ e na fracção intermédia $63\text{-}2 \mu\text{m}$. Estas fracções, embora menos expressivas apresentam concentrações entre o valor intermédio a crítico (CONAMA, 2012) em Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn (Anexo AI - Tabelas AI.9 a AI.11).

Na área A1 (Figura 5.38), área que representa o maior número de amostras e, conseqüentemente, maior heterogeneidade entre si, verifica-se uma maior concentrações da generalidade dos elementos analisados (As, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb e Zn) na fracção argilosa ($< 2 \mu\text{m}$). Este facto é concordante com a textura predominante das amostras, que varia entre as classes texturais areia siltosa e argilosa, areia arenosa, silte arenoso e silte argiloso. Nestes materiais os óxidos de Fe e de Mn ocorrem em partículas de fina dimensão e os minerais argilosos são abundantes, ocorrendo assim nesta classe dimensional, todos os elementos que se associam a estes componentes minerais, por adsorção, fixação, precipitação ou co-precipitação (Cr e Ni – ligação preferencial a óxidos de Fe cristalinos e/ou amorfos e As, Cd e Zn – ligação preferencial a óxidos de Mn). Os teores identificados variam entre o valor intermédio a crítico (CONAMA, 2012),

ocorrendo um elevado número de amostras que ultrapassam o valor crítico relativamente à concentração destes elementos (Anexo AI - Tabelas AI.9 a AI.11).

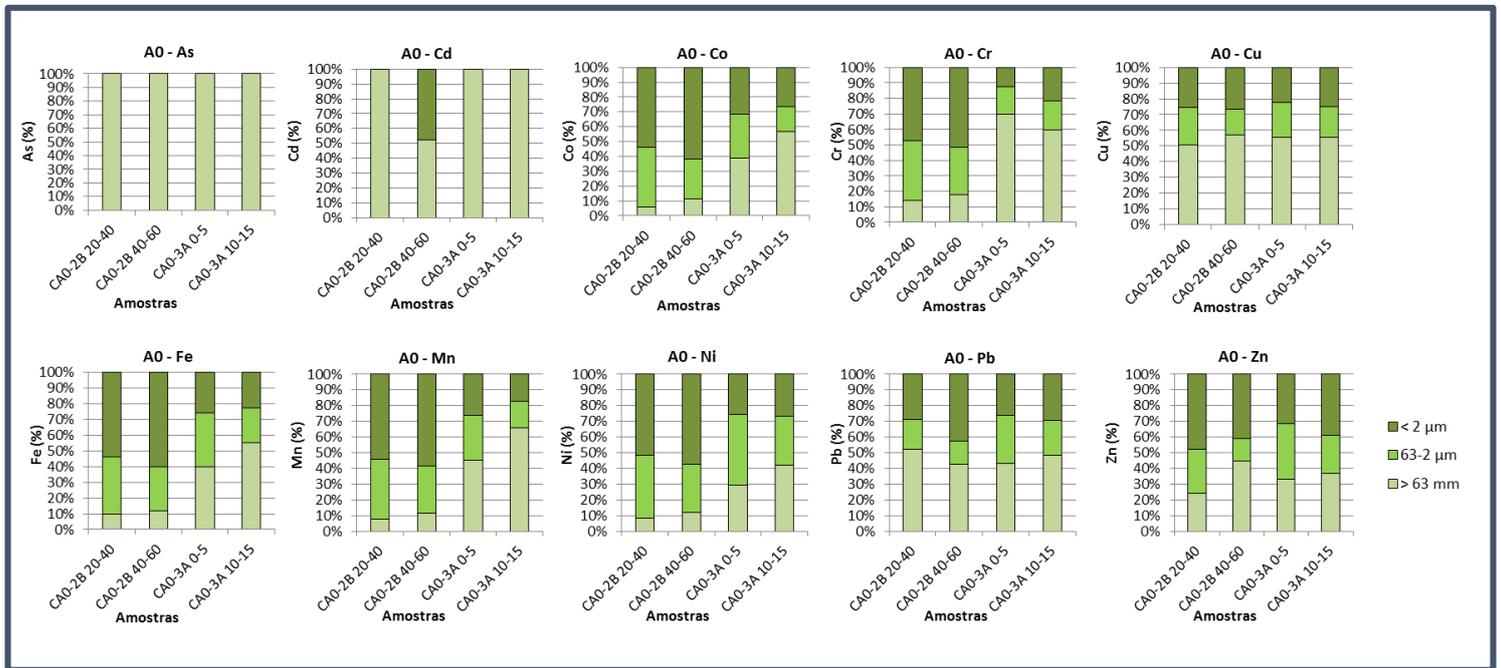


Figura 5.37: Distribuição da concentração dos metais pesados nas 3 frações granulométricas (> 63 µm, 63-2 µm, < 2 µm) das aluviões na área A0.

Na área A2 (Figura 5.39), ocorre uma predominância de elementos contaminantes na fracção arenosa (> 63 µm) e argilosa (< 2 µm). Destaca-se na fracção arenosa o Cu, o Mn, o Fe, o Pb e o Zn e, na fracção argilosa, o As, o Cd, o Co, o Cr, o Cu, o Mn, o Ni e o Pb. Na fracção argilosa, com maior perigosidade ambiental, de acordo com os dados obtidos através dos ensaios de extracção sequencial, verifica-se a presença de Cu e Pb associada à ocorrência de óxidos de Fe cristalinos e amorfos, o As em formas solúveis ou de troca, tal como o Pb ao qual se poderá ainda associar a presença de óxidos de Mn. O Cd, o Co e o Ni ocorrem em formas mais solubilizáveis, como espécies iónicas em solução ou como catiões de troca e ligados a óxidos de Mn. De entre estes elementos, atingem os limites críticos (CONAMA, 2012) em todas as classes dimensionais o As e o Cd, e apenas na fracção argilosa o Ni e o Cr, com valores a requerer atenção nas restantes fracções (Anexo AI - Tabelas AI.9 a AI.11).

De destacar ainda o Mn, que possui igualmente níveis com elevadas concentrações na fracção arenosa, predominado aqui a sua forma ligada a óxidos. Às partículas mais grosseiras de óxidos de Mn e de Fe, ligam-se ainda elementos como o Cu e o Zn, com teores críticos (CONAMA, 2012) em todas as classes dimensionais, e o Pb que atinge níveis críticos apenas na fracção arenosa (> 63 µm) (Anexo AI - Tabelas AI.9 a AI.11).

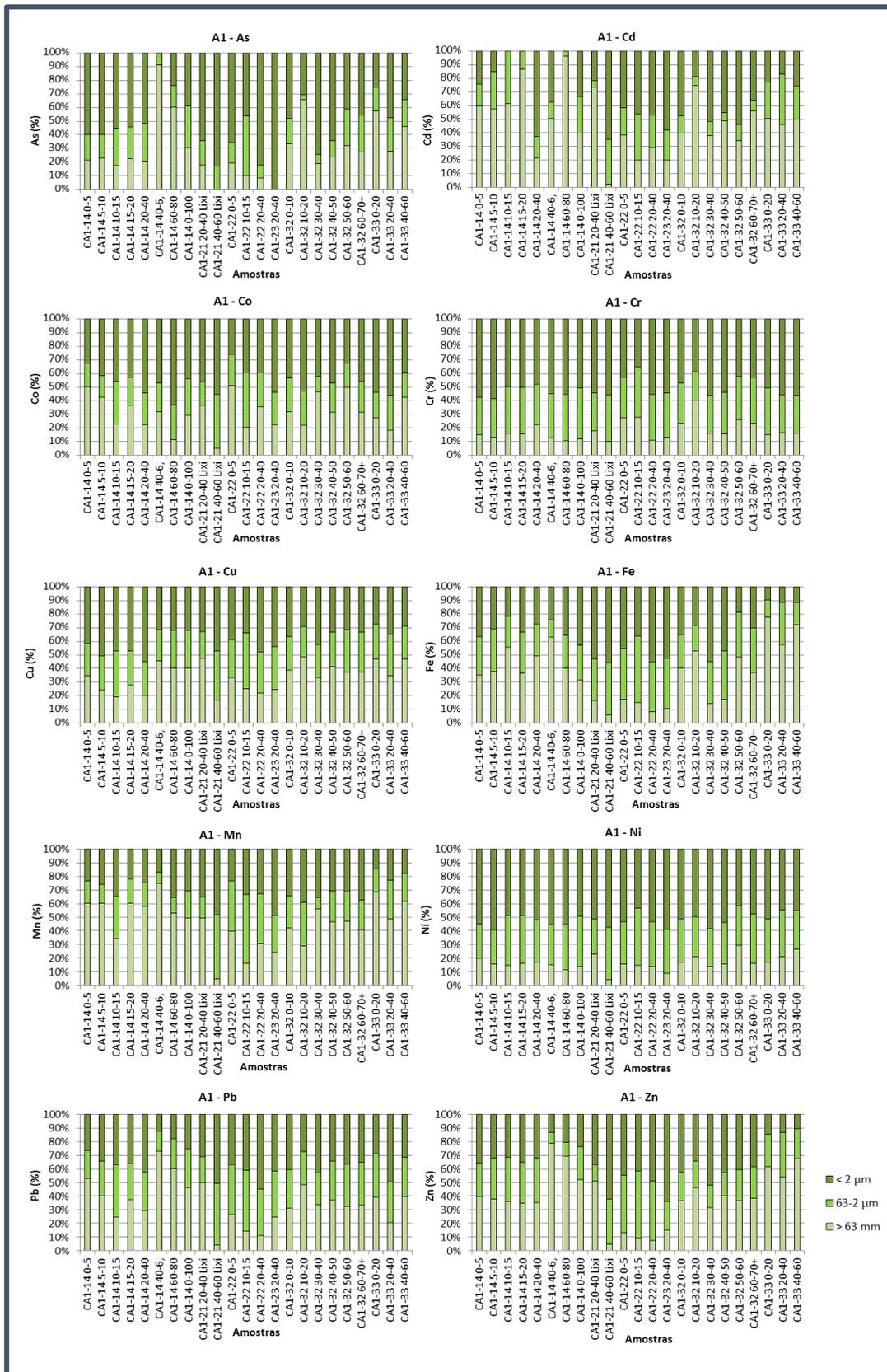


Figura 5.38: Distribuição da concentração dos metais pesados nas 3 frações granulométricas (>

63 μm, 63-2 μm, < 2 μm) das aluviões na área A1.



Figura 5.39: Distribuição da concentração dos metais pesados nas 3 frações granulométricas (> 63 μm, 63-2 μm, < 2 μm) das aluviões na área A2. As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva.

Na área A3 (Figura 5.40), todos os elementos analisados concentram-se na fracção argilosa (< 2 µm), facto que esta de acordo com a textura predominantemente fina do material com classes texturais situadas entre a areia siltosa e o silte argiloso, e com a concentração preferencial do Fe e Mn nessa fracção mais fina, sob a forma de óxido. De acordo com os dados obtidos através da extracção sequencial, aos óxidos destes dois elementos (Fe e Mn), associam-se uma elevada proporção dos restantes elementos metálicos.

A generalidade dos elementos (Cd, Co, Cu, Pb, Zn) apresenta-se sob formas lábeis (solúveis, de troca e ligados a óxidos de Mn) e à excepção do Co, são atingidos os valores críticos (CONAMA, 2012) em todas as fracções granulométricas. Elementos como o As, o Cr e o Ni, ligados preferencialmente a óxidos de Fe cristalinos (mais estáveis), atingem valores críticos apenas na fracção mais fina, sendo que o As regista valores críticos também na fracção siltosa (63-2 µm) (Anexo AI - Tabelas AI.9 a AI.11). Assim, verifica-se que nos materiais aluvionares, independentemente da área onde se depositam, os metais distribuem-se por diversas classes dimensionais, embora a sua concentração se faça predominantemente na classe argilosa (< 2 µm).

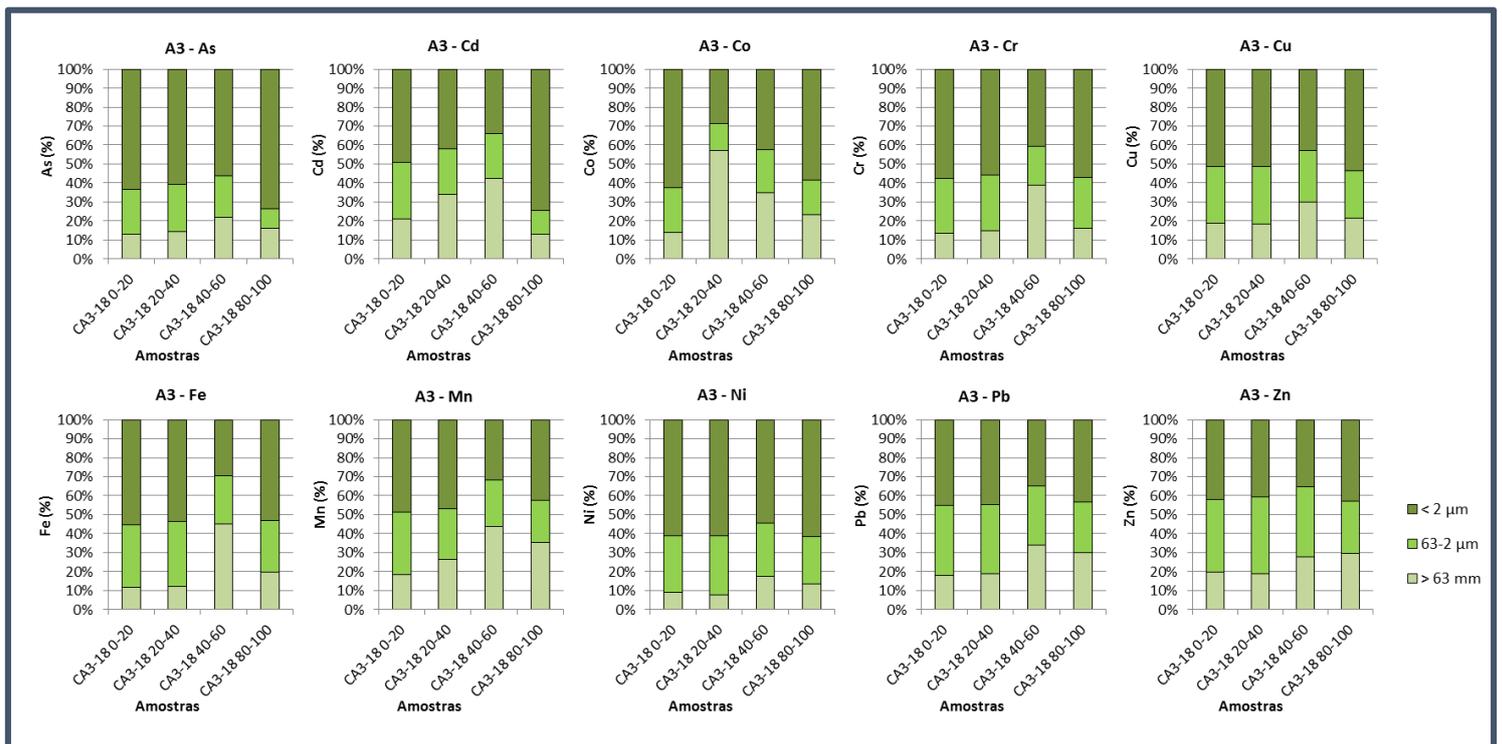


Figura 5.40: Distribuição da concentração dos metais pesados nas 3 fracções granulométricas (> 63 µm, 63-2 µm, < 2 µm) das aluviões na área A3.

5.1.6. Avaliação do Grau de Contaminação através de métodos de Extração Sequencial

Para se avaliar ambientalmente o impacto de um determinado elemento é necessário, para além da determinação da concentração total associada, compreender a sua perigosidade através do conhecimento dos teores associados às suas fracções parciais, ligadas a fases minerais específicas que a curto, médio ou longo prazo podem alterar a sua mobilidade.

Sendo diversificadas as técnicas de remediação com viabilidade de aplicação na área, torna-se necessário avaliar o risco associado e inerente à aplicação das mesmas na área. A extração sequencial permite, segundo Salomons *et al.*, (1980), no caso de aplicação de técnicas de dragagem compreender: (1) se os metais pesados, ou outros contaminantes, presentes nas aluviões são ou não remobilizáveis (mediante a fracção onde se encontram com maior expressão); (2) a biodisponibilidade destes elementos para a vida aquática; (3) o comportamento dos contaminantes no material dragado, durante e após a sua disposição em aterros específicos, e (4) a biodisponibilidade destes elementos após a sua deposição em aterro.

Assim, de forma a determinar a mobilidade e biodisponibilidade dos elementos analisados nas aluviões, tendo em conta as características geológicas da área (abundante em óxidos de Fe e Mn e resíduos de minerais sulfatados provenientes da actividade industrial), os valores de pH (ligeiramente ácidos), as condições climáticas locais (temperaturas elevadas durante a maioria do ano com duas estações marcadas: seca e chuva) e a natureza dos elementos contaminantes (metais com facilidade de ficarem retidos em óxidos de Fe e Mn), adoptou-se um método de extração sequencial correspondente a uma modificação do método de Tessier (1979) (Cardoso F. *et al.*, 1998; Fonseca *et al.*, 2012), que considera as seguintes etapas de extração:

- #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos;
- #2: fracção ligada a óxidos de manganês;
- #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos;
- #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos;
- #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

De forma a facilitar a representação gráfica dos teores obtidos em cada fracção optou-se pela construção gráfica dividida por áreas. Nas figuras 5.41 a 5.48 representam-se os teores obtidos para as aluviões, nas cinco fracções analisadas, correspondentes à área A0 (Figura 5.41), à área A1 (Figura 5.42 a 5.44), à área A2 (Figura 5.45 a 5.46) e à área A3 (Figura 5.47 a 5.48). Em anexo encontram-se os teores totais determinados para cada elemento analisado nas cinco diferentes fracções (Anexo AI - Tabelas AI.12 a AI.21).

Verifica-se assim, na área A0 (Figura 5.41), que o cádmio ocorre preferencialmente associado às fases mais solúveis e, como catião de troca (#1) e ligada a óxidos de Mn (#2), com exceções nas amostras CA0-1A 0-10 cm e CA0-30 10-15 cm onde se encontra mais estável, ligado a óxidos de ferro cristalinos (#5) e na amostra CA0-2B 20-40 cm ligando-se essencialmente a material orgânico e a sulfuretos (#4). O cobalto apresenta-se de forma geral associado às fracções mais solúveis (#1, #2 e #3) com maior expressividade na fracção ligada aos óxidos de Fe amorfos (#3), ocorrendo ainda uma excepção para a amostra CA0-1A 0-10 cm com uma percentagem considerável associada aos óxidos de Fe cristalinos (#5). Relativamente ao crómio, cobre e ferro verifica-se elevada estabilidade destes elementos, estando essencialmente ligados à fracção #5. O manganês encontra-se nas formas mais solúveis, com maior expressividade na fracção associada a óxidos de Mn (#2), embora, para todas as amostras seja ainda verificada presença na fracção mais estável (#5), sendo essa associação mais notória nas amostras CA0-3A (0-5 cm e 10-15 cm). O níquel ocorre geralmente ligado a fracções solúveis, tendo maior expressividade ligado a óxidos de ferro amorfos (#3) e cristalinos (#5). Já o chumbo e o zinco ocorrem preferencialmente em fases solúveis, com grande expressividade nas duas primeiras (#1 e #2) etapas de extracção, que representam as fases com maior perigosidade ambiental, verificando-se ainda teores em fases mais estáveis (#4 e #5).

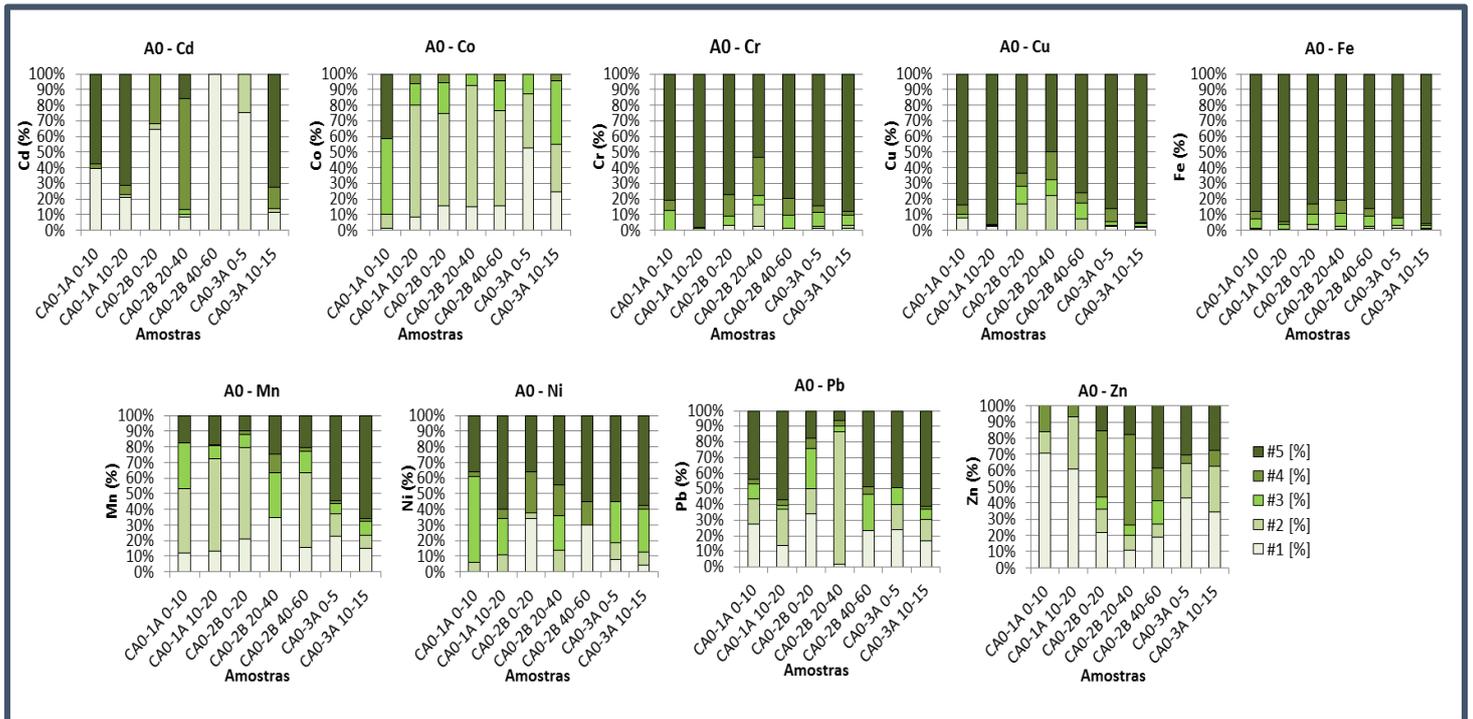


Figura 5.41: Fracções extraídas para as aluviões da área A0, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos)

Na área A1, foi observado que o cádmio (Figura 5.42) se associa maioritariamente à fracção mais móvel (#1) encontrando-se em forma solúvel ou como catião de troca, existindo pontualmente amostras (CA1-47 5-10 cm e CA1-47 42-45 cm) onde este ocorre em fases mais estáveis ligado a óxidos de Fe cristalinos (#5). O cobalto (Figura 5.42), tal como na área A0, encontra-se preferencialmente ligado a fases solúveis ou como catião de troca (#1) e ligado a óxidos de Mn (#2). O crómio, o cobre e o ferro (Figura 5.42 e 5.43) apresentam-se estáveis na fracção ligada a óxidos de Fe cristalinos, com reduzida perigosidade ambiental associada, tendo apenas o cobre percentagens em fases solúveis significativas que mereçam atenção. Relativamente ao manganês, ao níquel, ao chumbo e ao zinco (Figura 5.43 e 5.44) observa-se elevada expressividade em fases solúveis associadas principalmente às duas primeiras fases da extracção sequencial (#1 e #2). No caso do Mn verifica-se ainda a ligação a óxidos de Fe cristalinos e amorfos em algumas amostras.

Para a área A2, o cádmio e o cobalto (Figura 5.45) associam-se às duas primeiras fracções mais móveis, em formas solúveis, ou como catiões de troca (#1) e ligados a óxidos de Mn (#2). No caso do cádmio observa-se ainda, em algumas amostras (CA2-12 20-40 cm, CA2-12 40-60 cm e CA2-12 80-100 cm) ocorrência deste elemento associado a fracções ligadas a óxidos de Fe amorfos (#3) e cristalinos (#5). O crómio, o cobre e ferro (Figura 5.45) apresentam-se como elementos estáveis e pouco solúveis, ocorrendo essencialmente na última fracção da extracção sequencial (#5 – ligada a óxidos de Fe cristalinos). No entanto o cobre apresenta ainda teores nas fracções ligadas a óxidos de Fe amorfos (#3) e, em algumas amostras, alguma solubilidade (CA2-11 0-20 cm e CA2-12 40-60 cm). No caso do manganês, do níquel, do chumbo e do zinco (Figura 5.46), verifica-se a sua predominância nas fases mais lábeis, com teores perto dos totais associados às fases mais solúveis ou como catiões de troca (#1) e ligados a óxidos de Mn (#3). Ocorre no entanto excepção para as amostras CA2-55 160-200 cm [IV] e CA2-55 200-260 cm [IV] que apresentam teores com ligação a óxidos de Fe amorfos (#3) e cristalinos (#4) mais expressivos, contrariamente ao verificado nas restantes amostras. Este facto poder-se-á relacionar com a elevada profundidade destas amostras comparativamente com as restantes.

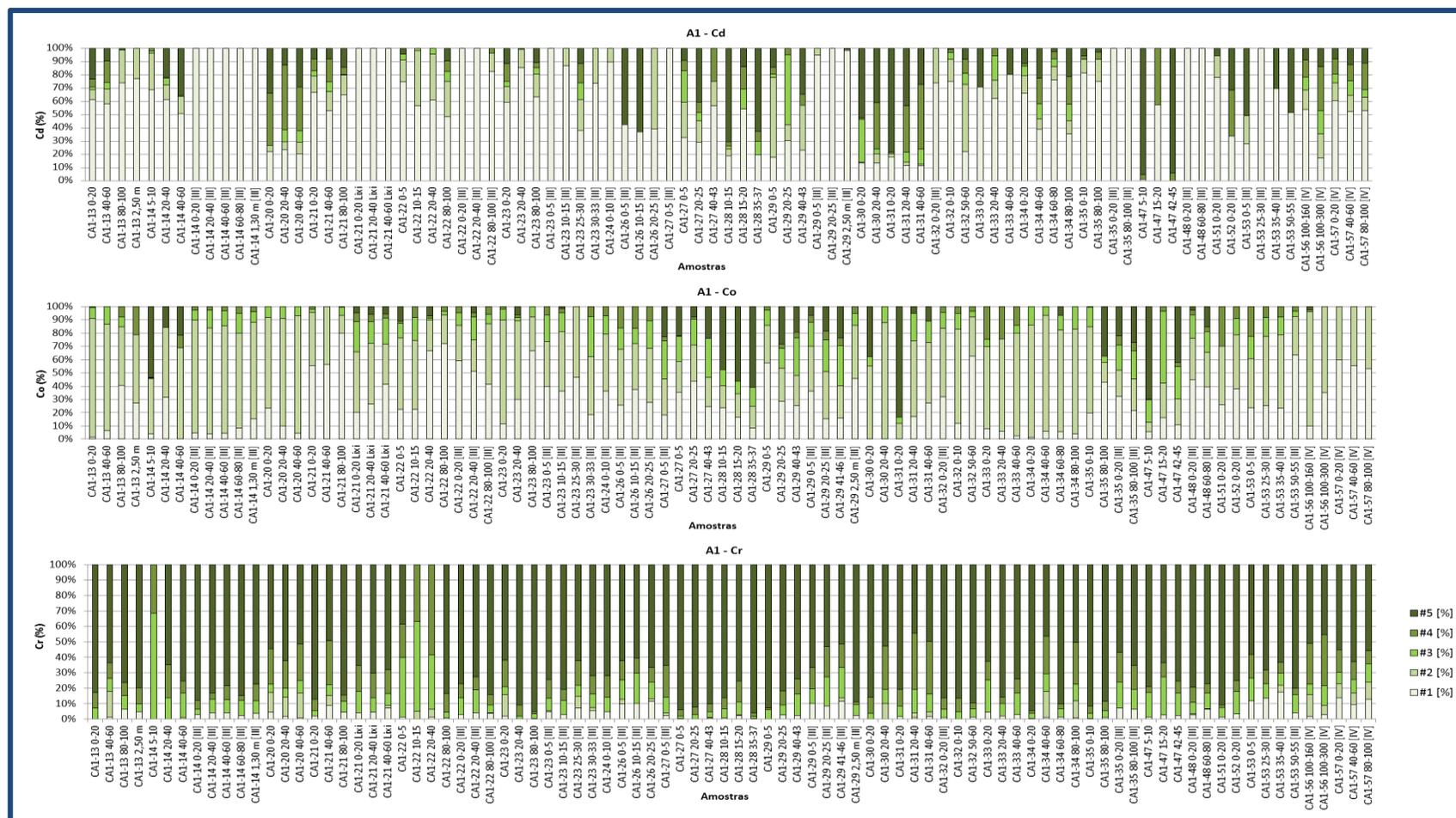


Figura 5.42: Fracções extraídas para as aluviões da área A1, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o arsénio, cádmio, cobalto e crómio.

(#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos. As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva)

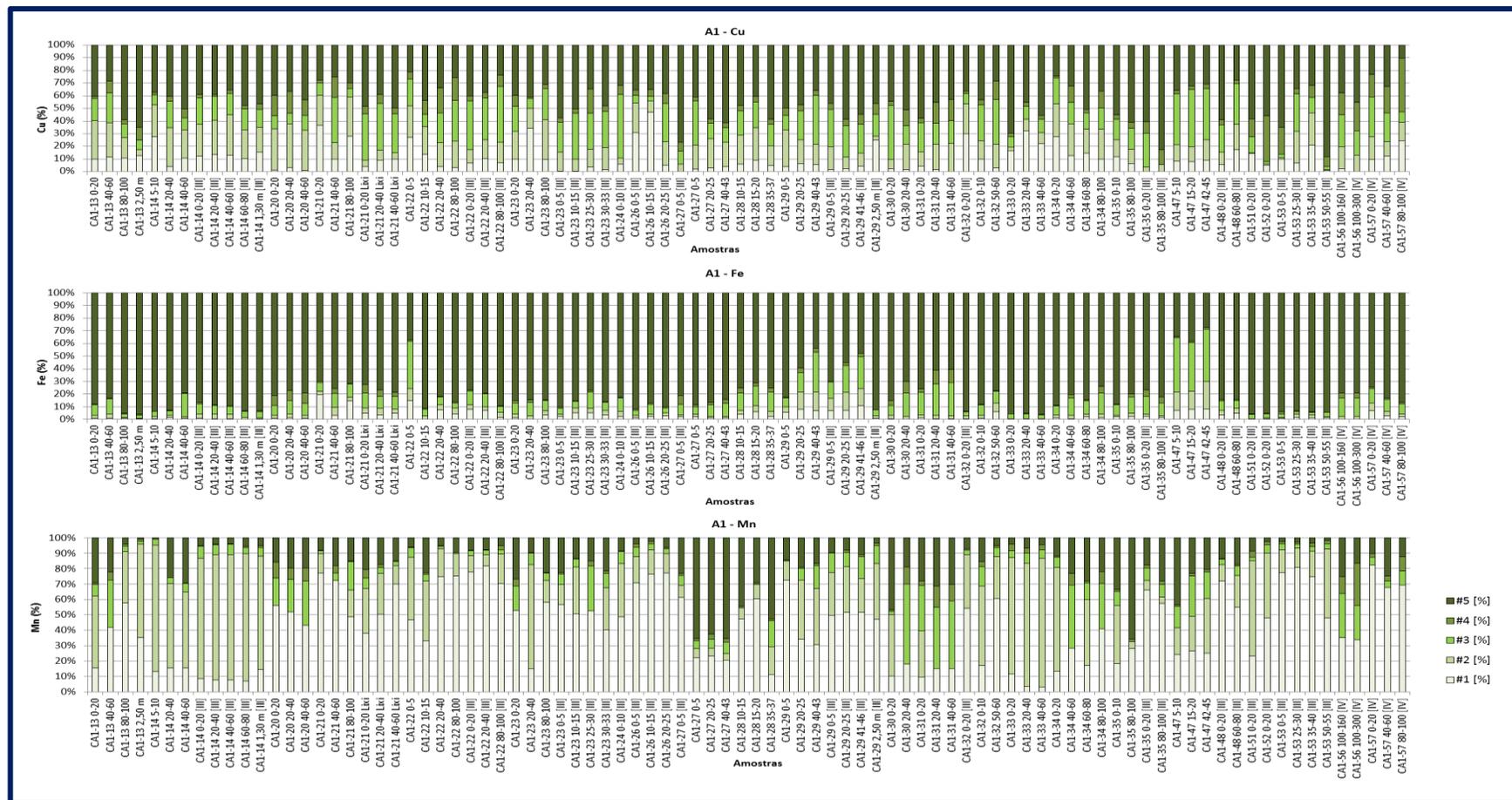


Figura 5.43: Frações extraídas para as aluviões da área A1, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o cobre, ferro e manganês.

(#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos. As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva)

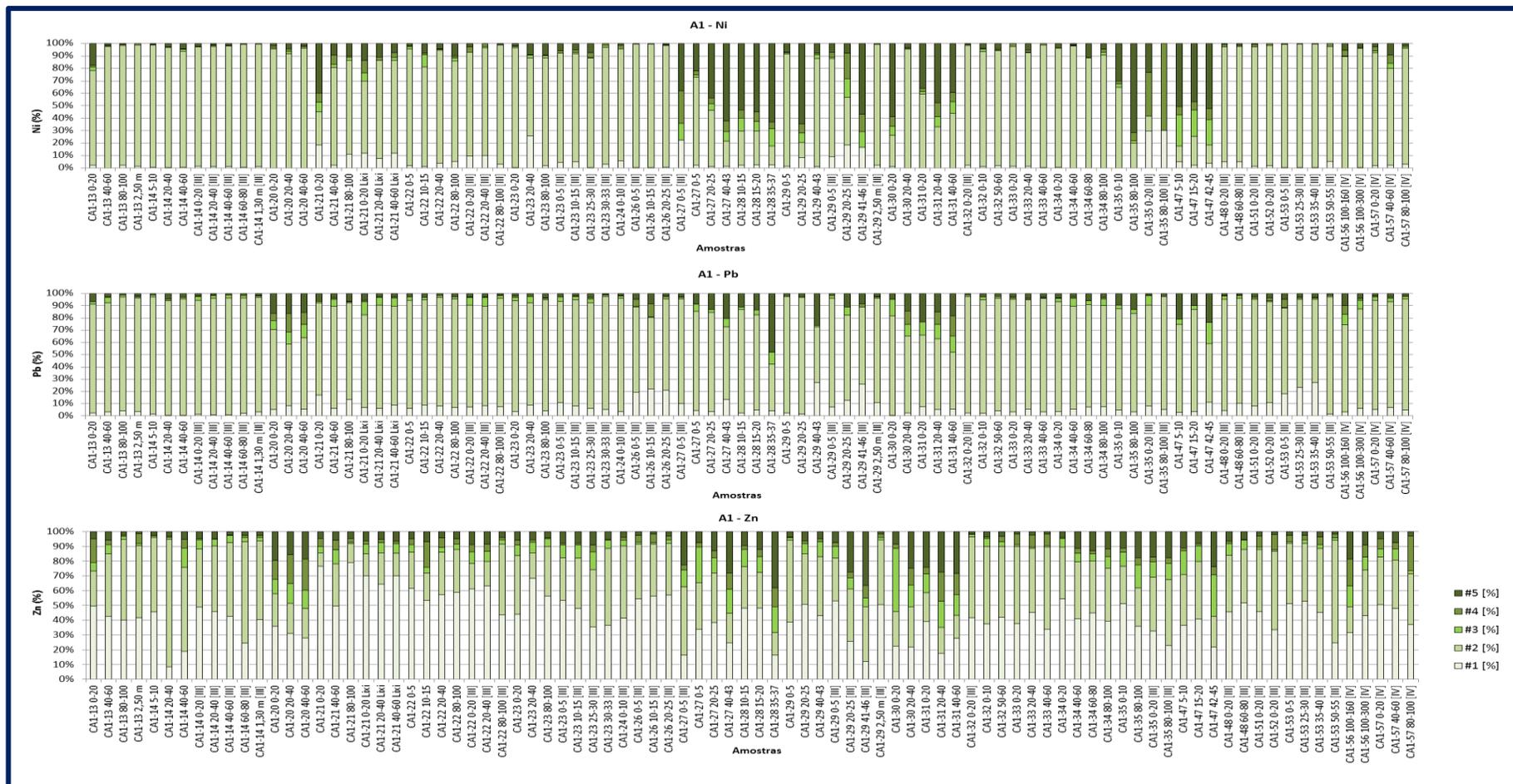


Figura 5.44: Fracções extraídas para as aluviões da área A1, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o cobre, ferro e manganês.

(#1: fracção solúvel, como cátion de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalino. As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuv



Figura 5.45: Fracções extraídas para as aluviões da área A2, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre e ferro. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos. As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva)

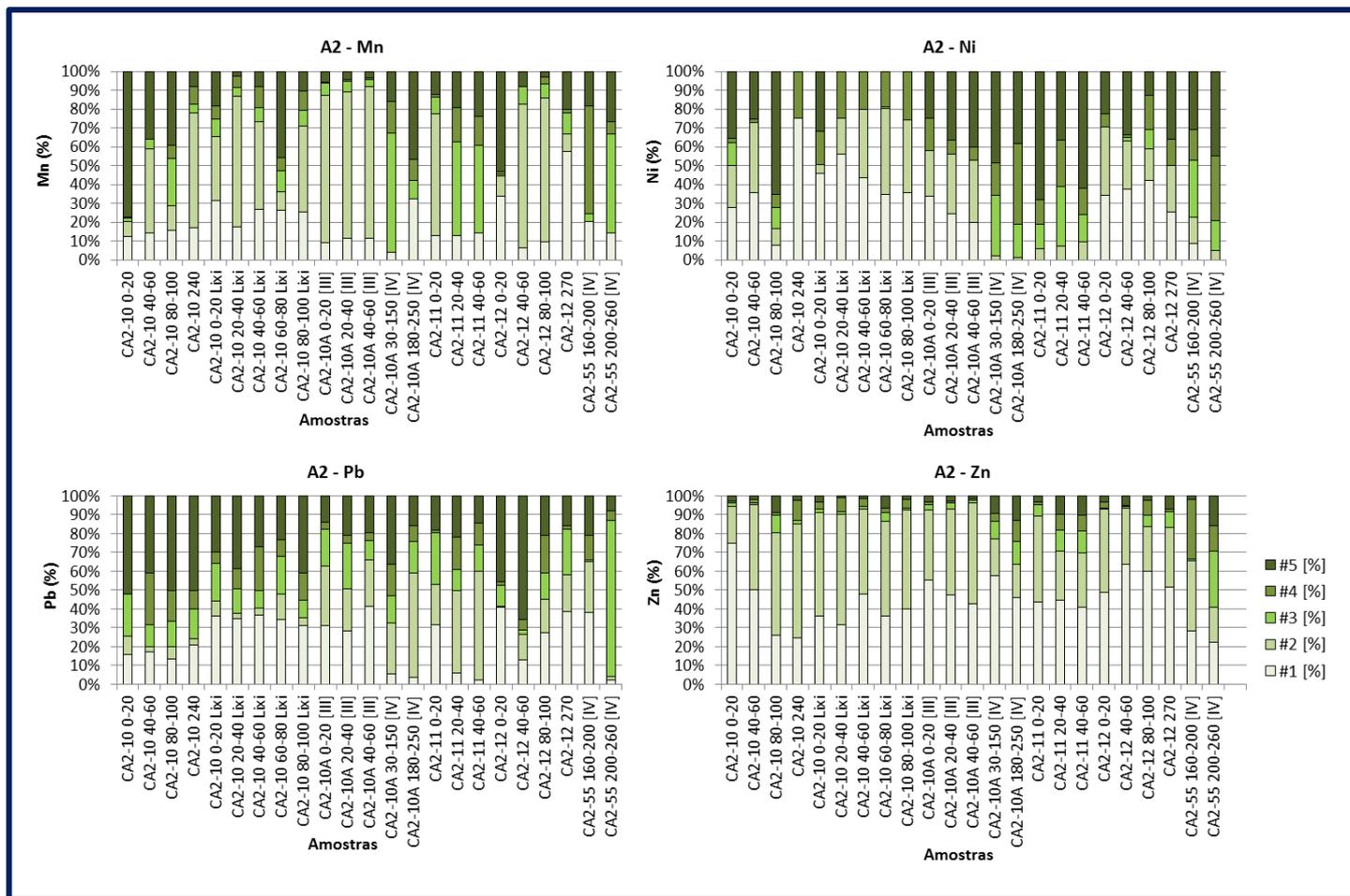


Figura 5.46: Fracções extraídas para as aluviões da área A2, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o manganês, níquel, chumbo e zinco. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos. As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva)

Relativamente à área A3, o cádmio e o cobalto (Figura 5.47) apresentam-se em formas solúveis ou como catiões de troca (#1) e ligados a óxidos de Mn (#2), com amostras cujos teores identificados em cádmio foram totalmente solubilizados na primeira fase de extracção (CA3-38 20-40 cm [III], CA3-38 40-60 cm [III] e CA3-38 120 cm [III]), amostras estas que no caso do cobalto apresentam teores mais estáveis ligados a óxidos de Fe amorfos (#3) e cristalinos (#5). O crómio, o cobre e o ferro (Figura 5.39), apresentam-se retidos nas fracções mais estáveis, destacando-se a fracção associada aos óxidos de Fe cristalinos (#5). O cobre apresenta ainda teores solúveis e ligados a óxidos de Fe amorfos (#3) em todas as amostras analisadas. O manganês, o níquel, o chumbo e o zinco (Figura 5.48), tal como nas restantes áreas encontram-se maioritariamente associados a fases solúveis, tendo o manganês e o níquel teores significativos ligados a óxidos de Fe amorfos (#3), cristalinos (#5) e em menor percentagem a material orgânico e parcialmente a sulfuretos (#4). O zinco e o chumbo, apresentam tal como na área A2, teores

bastante elevados nas formas mais facilmente solubilizadas (#1 e #2) e ambientalmente mais prejudiciais.

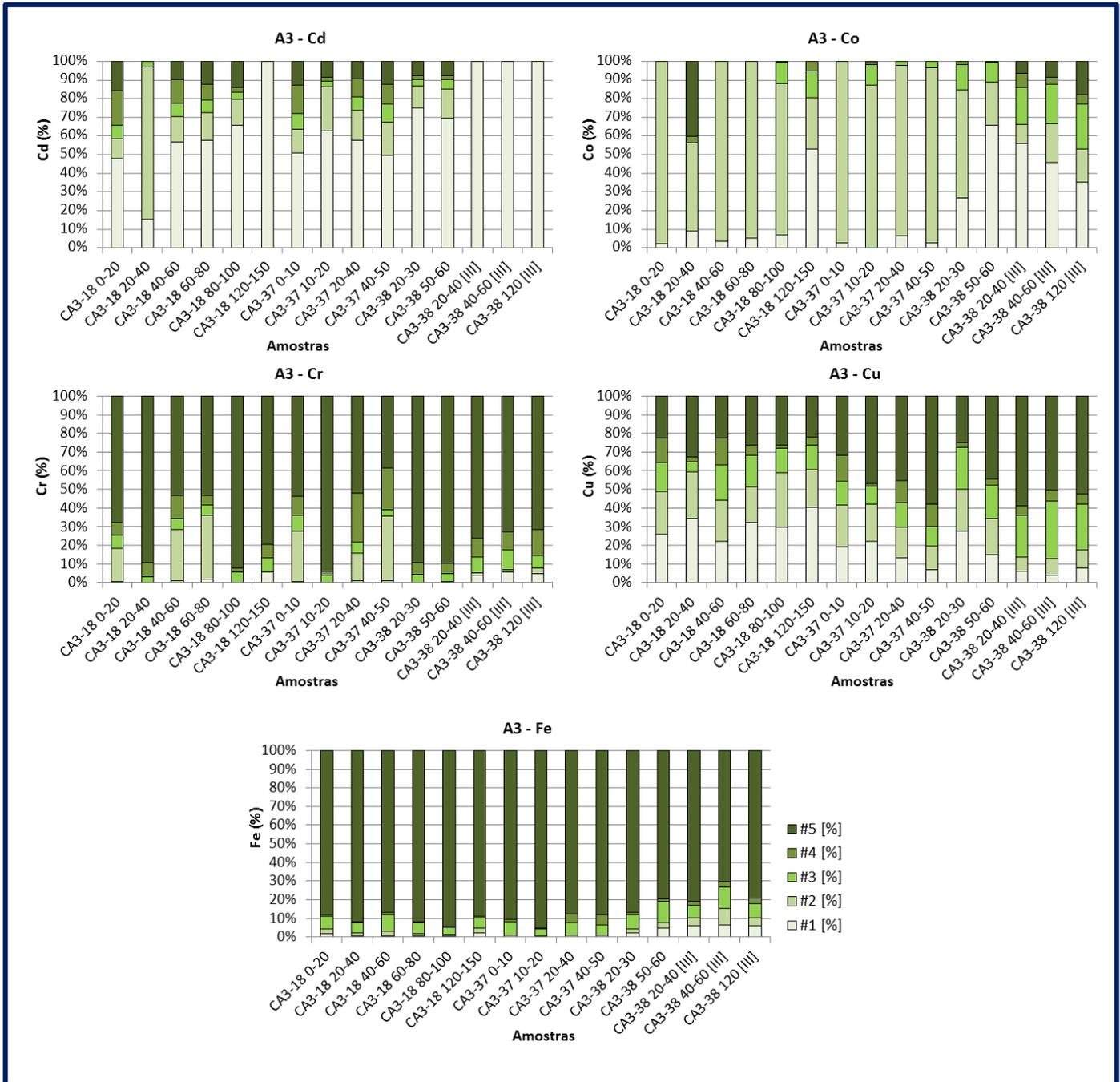


Figura 5.47: Fracções extraídas para as aluviões da área A3, em cada uma das fases da extracção sequencial, para o arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre e ferro. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos. As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva)

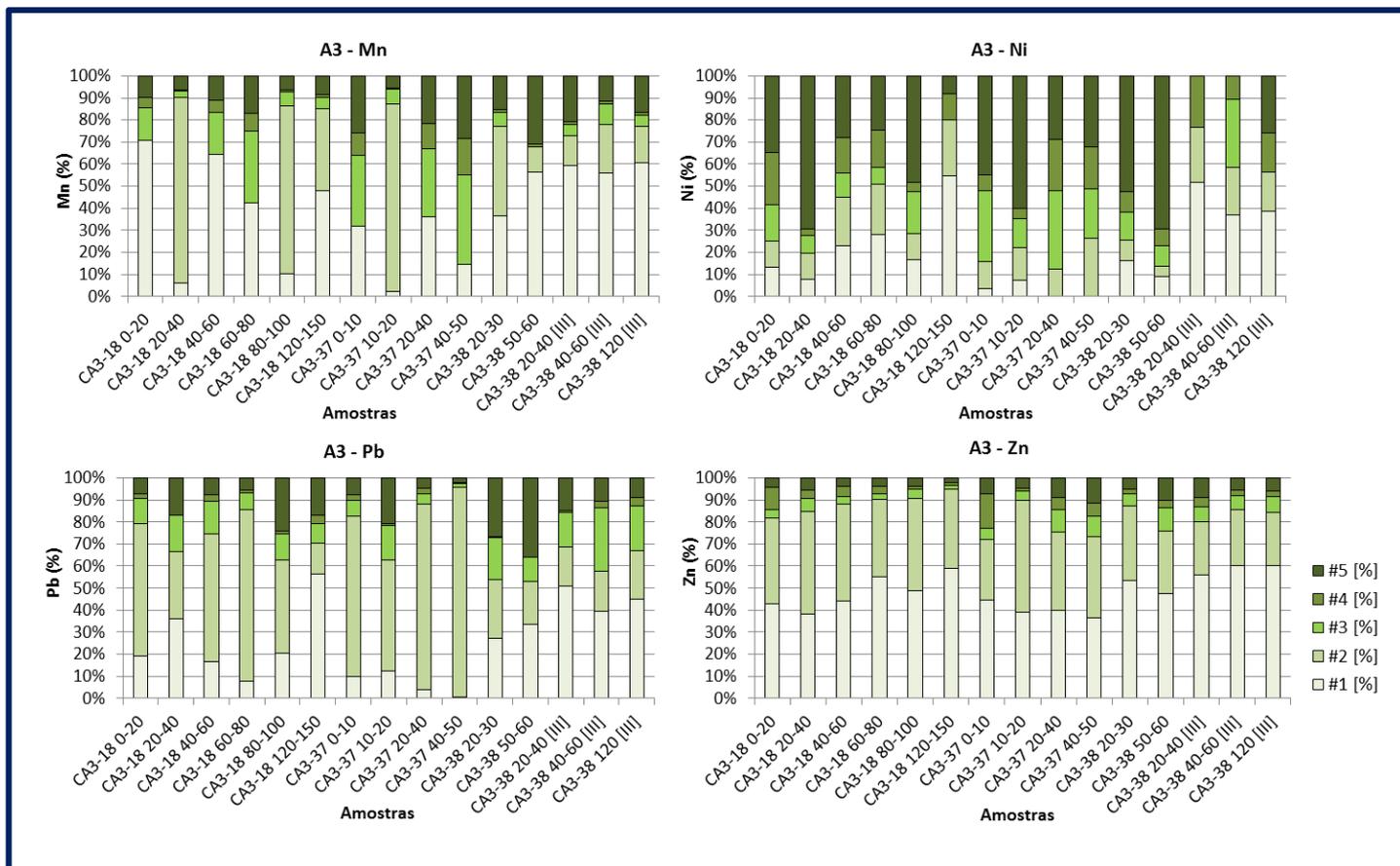


Figura 5.48: Frações extraídas para as aluviões da área A3, em cada uma das fases da extração sequencial, para o manganês, níquel, chumbo e zinco. (#1: fração solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fração ligada a óxidos de manganês; #3: fração ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fração ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fração ligada a óxidos de ferro cristalinos. As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva)

Em suma, para as aluviões da área em estudo, identificam-se como principais contaminantes, susceptíveis de maior precaução e com elevado grau de perigosidade ambiental, o cádmio, o chumbo e o zinco, devendo-se este maior risco, às suas elevadas concentrações e à sua fácil solubilização, estando presentes essencialmente em fases menos estáveis e mais facilmente remobilizáveis. Associados a óxidos de manganês, encontram-se o cobalto, o manganês e o chumbo. Estes elementos, associam-se ainda a fases mais solúveis, no entanto, a contaminação nestes elementos é de carácter mais pontual. O crómio e o ferro não apresentam problemas ambientais para as aluviões, uma vez que se encontram essencialmente em fases estáveis.

Assim, poder-se-á relacionar os resultados da extracção sequencial com:

- A natureza do minério utilizado na unidade industrial de Três Marias e a sua proveniência, o que permite compreender as elevadas concentrações de Cd e Zn nas fracções mais lábeis;
- A existência de antigos depósitos de resíduos sobre os solos da área, o que permite identificar o carácter pontual de fases mais solúveis de Cu, Ni e Pb;
- A geologia e a mineralogia associada às formações geológicas que constituem a área, nomeadamente no que diz respeito à presença do Fe sob a forma de óxido cristalino.

Quando analisados conjuntamente os dados obtidos por digestão parcial (*Aqua Regia*) e por extracção sequencial das amostras, observa-se que os elementos que ocorrem com concentrações muito acima dos valores legislados e que pelos seus elevados teores e segundo o Índice de Geoacumulação, as amostras pertencem à classe de extremamente contaminadas, são os elementos que se concentram preferencialmente sob formas mais solúveis, aumentando consideravelmente a sua perigosidade ambiental. Pelo contrário, elementos como o crómio ou o níquel com teores moderados ou baixos, ocorrem na sua maior proporção sob formas químicas estáveis, associados a óxidos de ferro cristalinos ou sob formas residuais (na estrutura de minerais silicatados ou como óxidos resistentes).

De acordo com os contaminantes identificados na fracção mais solúvel (primeira fase de extracção sequencial realizada por acetato de amónio (#1)), a qual representa as formas mais lábeis de cada elemento (existentes na fase aquosa, como catiões de troca e ligados a carbonatos) foram selecionadas mais amostras sobre as quais se quantificaram os elementos extraídos na primeira fase do procedimento de extracção sequencial. Posteriormente fez-se a comparação entre os teores identificados em todas as amostras (nas amostras utilizadas no ensaio de extracção sequencial inicial e nas posteriormente selecionadas) e o nível de referência local (CONAMA, 2012). Tendo a noção que os valores legislados não são adaptados para esta fracção, mas sim para o conjunto de todas as formas extraíveis (obtidas através da digestão por *Aqua Regia*), considera-se esta uma forma rápida de inferir o grau de perigosidade ambiental dos metais analisados, dado que esta fracção representa a fracção biodisponível dos metais. Esta comparação encontra-se representada nas figuras 5.49 a 5.52, apresentando-se todos os dados referentes à primeira etapa da extracção sequencial (#1 por acetato de amónio) em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.22).

As Figuras 5.49 a 5.52 permitem comprovar, mais uma vez, que os principais contaminantes com maior perigosidade ambiental correspondem ao cádmio, ao chumbo e ao zinco, sendo os que apresentam teores mais elevados na fracção mais lábil na maioria das

amostras quando comparados com o limite legal proposto para o total de todas as fracções extraíveis (Valor Crítico: Cd – < 3,5 mg.kg⁻¹; Pb – < 91,3 mg.kg⁻¹; Zn – < 315 mg.kg⁻¹) (CONAMA, 2012).

O cobre corresponde a um contaminante de carácter pontual, atingindo concentrações mais elevadas, na forma solúvel, em áreas onde existiam os antigos depósitos (ver figura 2.10), correspondendo às áreas A1, A2 e A3 em amostras pontuais (Figuras 5.50, 5.51 e 5.52). O arsénio, o crómio e o níquel encontram-se maioritariamente associados a outras fases minerais, mais estáveis, não representando perigo ambiental tão elevado como os restantes elementos (Figuras 5.49 a 5.52).

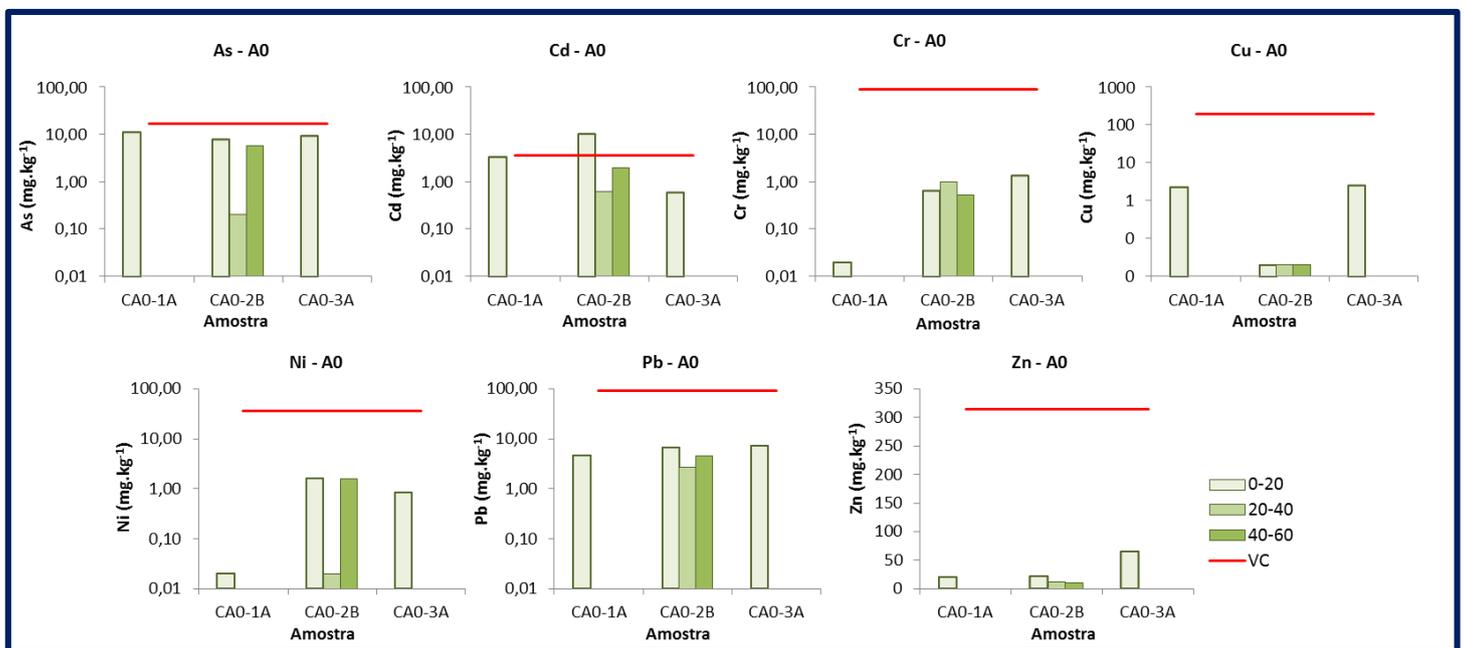


Figura 5.49: Comparação dos teores obtidos na primeira fase de extracção sequencial com o limite legislado – VC (Valor Crítico) (CONAMA, 2012), para a área A0. (Valores apresentados em escala logarítmica à excepção do zinco)

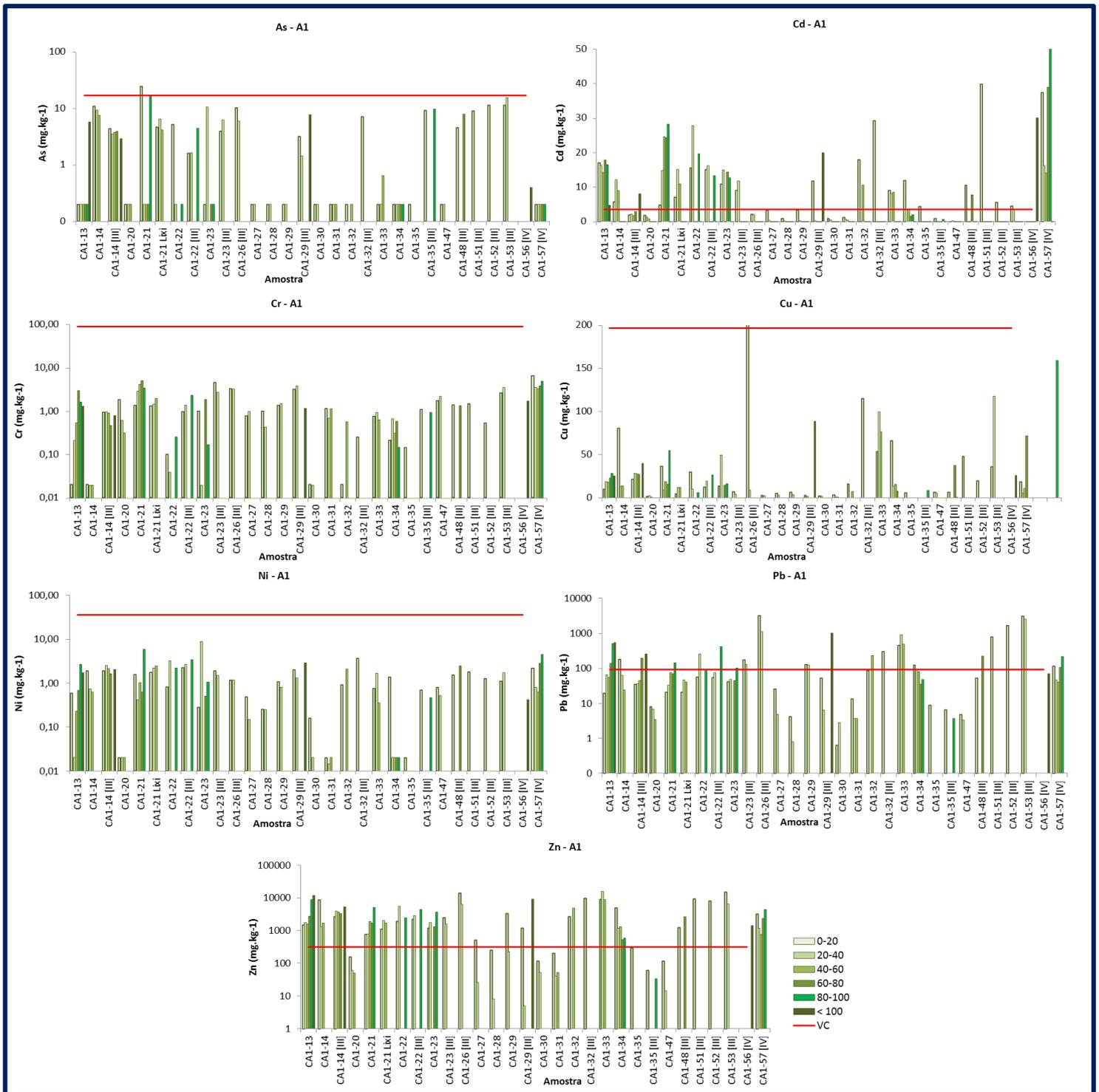


Figura 5.50: Comparação dos teores obtidos na primeira fase de extracção sequencial com o limite legislado – VC (Valor Crítico) (CONAMA, 2012), para a área A1. (Valores apresentados em escala logarítmica para o arsénio, o crómio, o níquel, o chumbo e o zinco).
As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva)

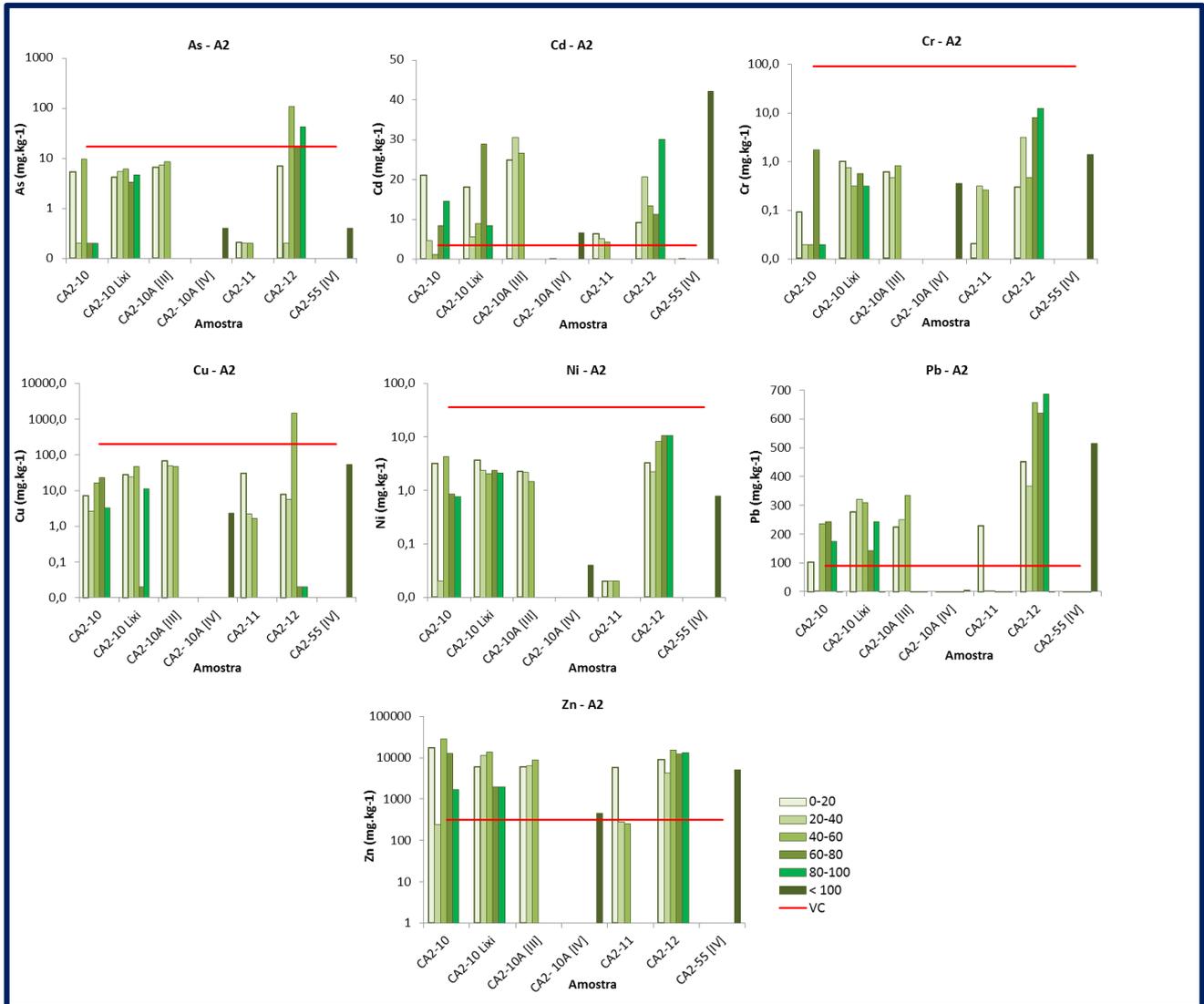


Figura 5.51: Comparação dos teores obtidos na primeira fase de extração sequencial com o limite legislado – VC (Valor Crítico) (CONAMA, 2012), para a área A2. (Valores apresentados em escala logarítmica para o arsénio, o crómio, o cobre, o níquel e o zinco. As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva)

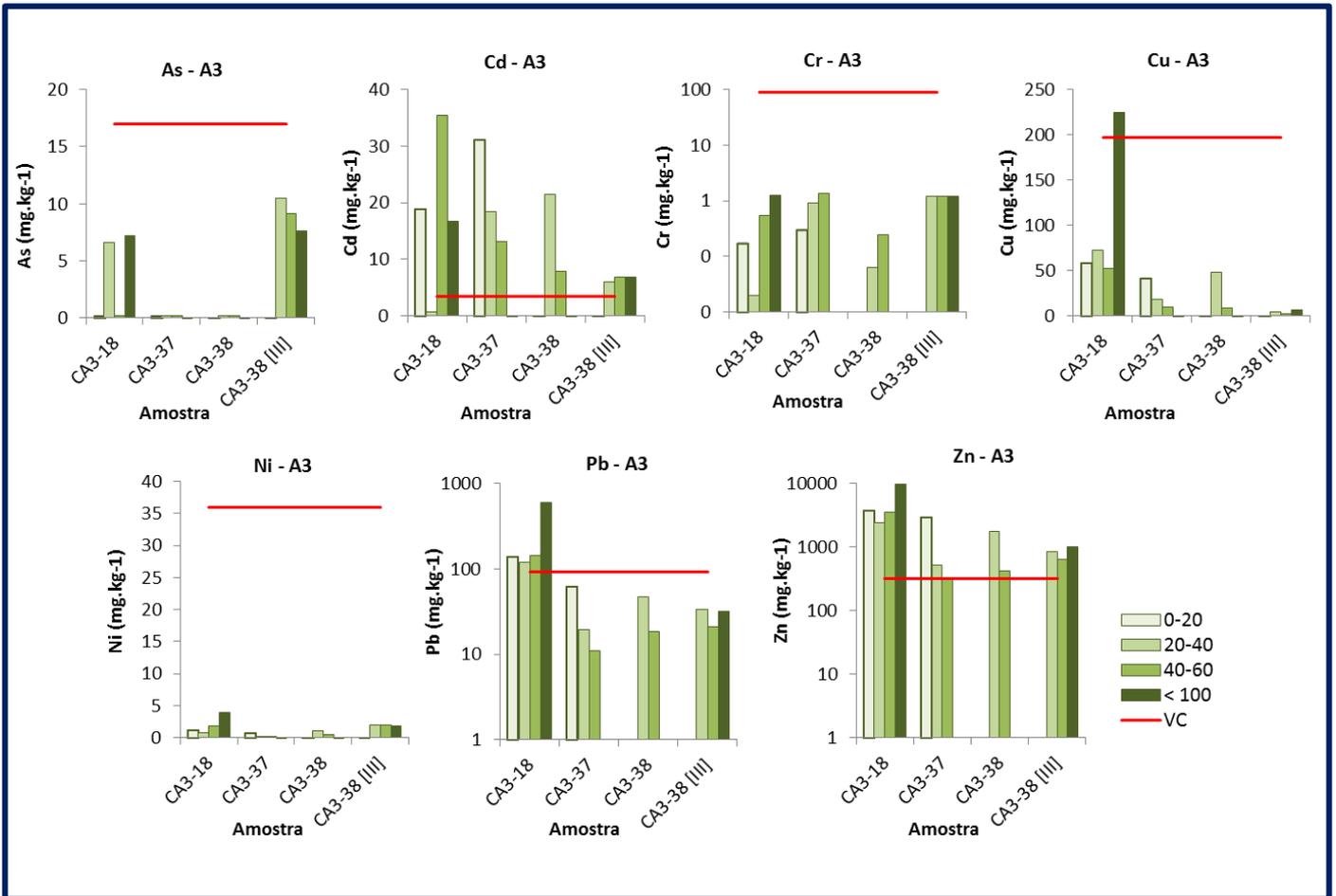


Figura 5.52: Comparação dos teores obtidos na primeira fase de extracção sequencial com o limite legislado – VC (Valor Crítico) (CONAMA, 2012), para a área A3. (Valores apresentados em escala logarítmica para o crómio, o chumbo e o zinco. As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós.chuva)

Esta comparação é ainda evidenciada pelo facto de se estarem a comparar uma fracção muito solúvel (#1 – extraível com acetato de amónio), com valores de referência para as fracções extraídas com *Aqua Regia* (fracções ligadas a compostos orgânicos e minerais á excepção dos silicatos). Assim, e tendo em conta este facto, verifica-se excedência dos valores críticos legislados em cádmio, chumbo, zinco (em maior proporção) e cobre (pontualmente), relevando um elevado e preocupante grau de contaminação da área em estudo e uma necessidade urgente da sua remediação.

5.1.7. Ensaio de Lixiviação

Após a caracterização do nível de contaminação através da digestão parcial (*Aqua Regia*) e a realização de ensaios de extracção sequencial que permitiram identificar quais as fases mais facilmente extraíveis de cada elemento analisado, procedeu-se à realização de ensaios de lixiviação para assim se compreender quais as fracções mais facilmente extraíveis pela acção da água. Tratando-se de um regime pluviométrico regional caracterizado por chuvas intensas momentâneas, podendo originar enxurradas e lixiviação intensa das zonas emersas, procedeu-se à determinação da fracção extraível por agitação com água ultra-pura com pH adequado, segundo as características químicas das chuvas da região (Fia *et al.*, 2013).

Tendo em conta os resultados obtidos, apresentados em Anexo (Anexo AI - Tabelas AI.23 a AI.27), a partir da análise dos extractos obtidos ao longo de diversos períodos de agitação (compreendidos entre 1 hora e 48 horas, verificou-se o efeito da lixiviação, na área em estudo, mais acentuada para o cádmio e zinco. Estes dados representados nas figuras 5.53 e 5.54. Para cada elemento traçou-se no gráfico o Valor de Investigação (VI) legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011). Definindo-se como Valor de Investigação (VI) a concentração a partir do qual ocorre risco potencial para a saúde humana (CONAMA, 2012).

Da análise das figuras 5.53 e 5.54, verifica-se nas aluviões dois comportamentos distintos, quer para o cádmio quer para o zinco:

- 1) Para a área A0 verificou-se um aumento em cádmio nas primeiras horas, até 18 horas de agitação com concentração elevada nesta hora para a generalidade das amostras, com aumento da concentração até 24 horas para as amostras CA0-1A 10-20 e CA0-2B 20-40 e posterior decréscimo até ao final do ensaio (48 horas). Relativamente ao zinco observa-se igualmente aumento de concentração nas primeiras horas de agitação, até 24 horas (CA0-2B 0-20; 20-40 e 40-60), com decréscimo acentuado a partir dessa hora principalmente nas amostras CA0-1A 0-20 e CA0-2B 20-40.
- 2) Nas restantes áreas, verificaram-se aumentos de concentração quer em cádmio quer em zinco, ao longo de todo o período de ensaio, observando-se teores superiores ao Valor de Intervenção (VI) em todas as áreas para os dois elementos.

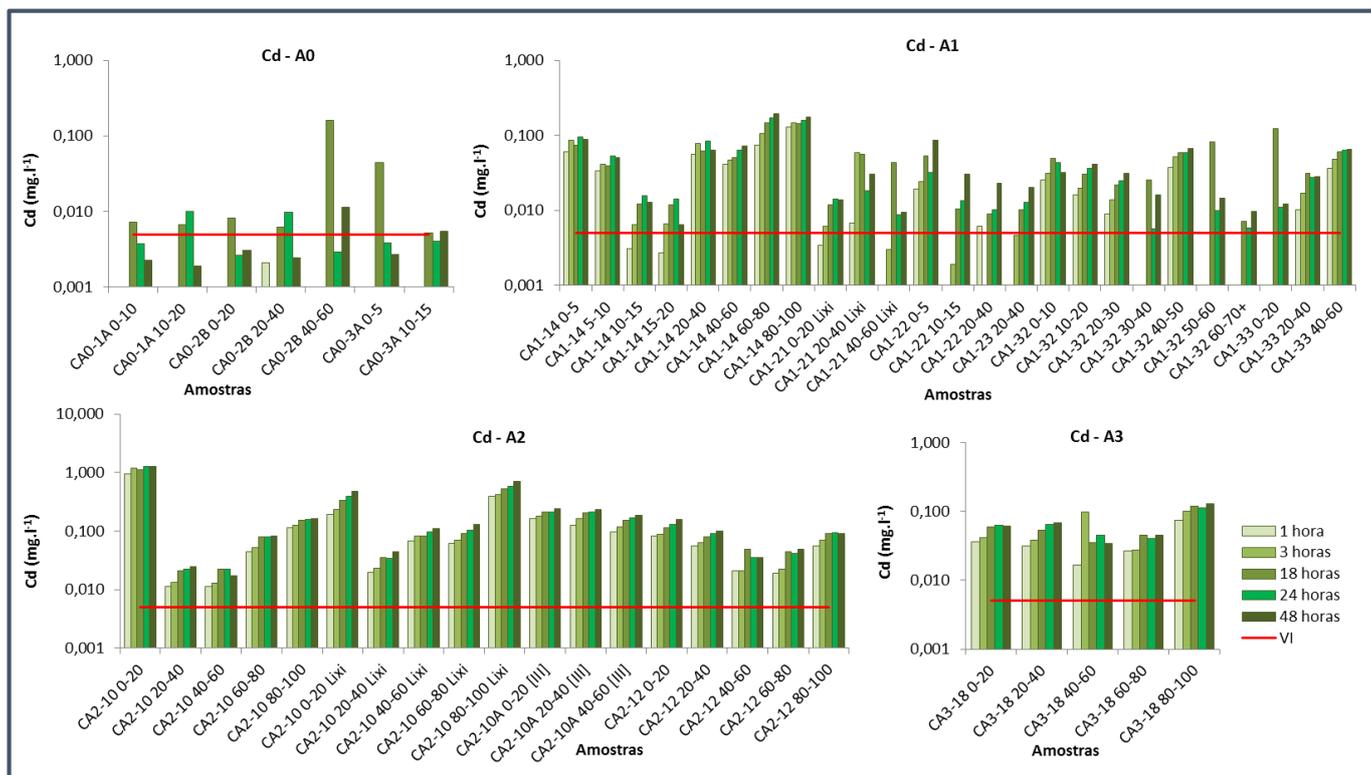


Figura 5.53: Variação da concentração de cádmio nas águas de lixiviação das aluviões ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. (A vermelho representa-se o Valor de Investigação (VI) legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011). As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva. Gráficos em escala logarítmica.)

O comportamento 1) associa-se a amostras em que o cádmio e o zinco não se encontram em fracções lixiviáveis ou muito solúveis, atingindo assim, na maioria das amostras, às 18 horas o máximo lixiviável. Verifica-se, a partir das 24 horas variações pouco significativas nos teores lixiviáveis, atingindo-se assim o equilíbrio do sistema. No entanto, nas restantes áreas traduzidas pelo comportamento 2), verifica-se um ligeiro aumento nas fracções lixiviáveis ao longo do período de ensaio, podendo corresponder à dissolução gradual das fases minerais a que os elementos se encontram associados ou ainda à libertação de elementos adsorvidos ou fixados nestas fases. Assim, verifica-se novamente a ocorrência de dois dos principais contaminantes da área em fases muito solúveis em água, sendo facilmente mobilizáveis após uma hora de agitação. Quando comparados com os Valores de Intervenção (VI) (COPAM,2011) verifica-se uma clara violação do limite legislado, com a única excepção na área A0 relativamente ao zinco, onde os valores se encontram abaixo do limite legal (Figura 5.54).

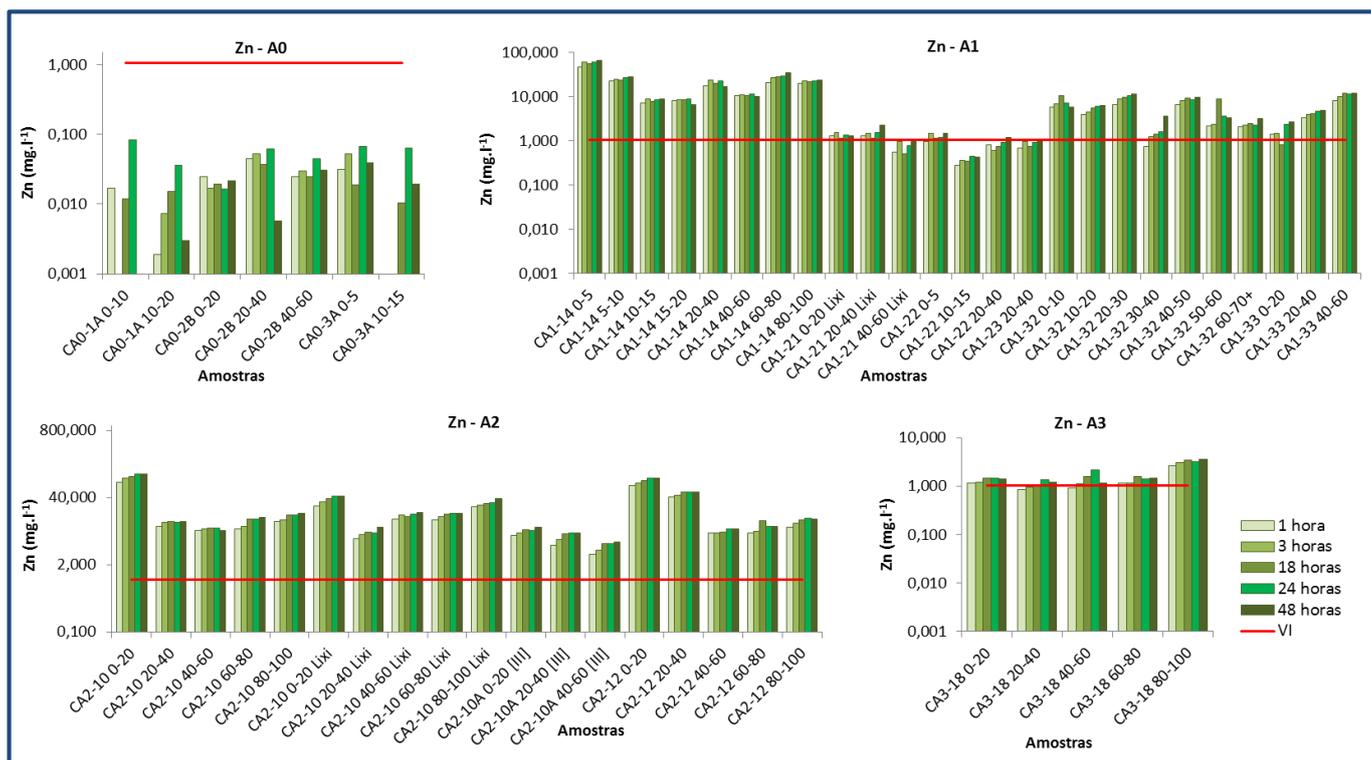


Figura 5.54: Variação da concentração de zinco nas águas de lixiviação das aluviões ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. (A vermelho representa-se o Valor de Investigação (VI) legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011). As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva. Gráficos em escala logarítmica.)

De forma a uma melhor compreensão sobre o comportamento da fracção lábil extraída no processo de extracção sequencial sob o efeito de precipitação, enxurradas ou aumento de caudal do córrego, foram comparados esses teores com as concentrações obtidas no ensaio de lixiviação. Esta comparação tem, como objectivo a quantificação da fracção mais facilmente removível por água, de entre, a fracção mais móvel, extraída na 1ª etapa do fracionamento dos elementos metálicos. Nas figuras 5.55 a 5.57, apresentam-se os dados resultantes desse estudo comparativo, tendo-se seleccionado como dados representativos do ensaio de lixiviação, os teores correspondentes a 18 horas de agitação, por representar o máximo lixiviável na generalidade das amostras, e nas que não o é apresentar diferenças muito pouco significativas. Esta comparação não foi realizada para o arsénio uma vez que os teores nos dois ensaios se mostraram maioritariamente inferiores ao limite de detecção utilizado na sua determinação.

Assim, de forma geral, a extracção (realizada por agitação) com acetato de amónio possui maior capacidade de remoção dos metais do que a agitação com água, facto que se poderá dever ao pH mais ácido desta solução, permitindo a instabilização e solubilização de mais fases minerais (por exemplo os carbonatos), que não são extraíveis por agitação em água. Observa-se que os elementos mais estáveis por agitação com água e que, correspondem aos elementos com maior

estabilidade e menor possibilidade de remobilização por acção da precipitação, são o crómio, o cobre, o níquel e o chumbo. Estes elementos apresentam teores lixiviados muito pequenos (e por vezes nulos) por agitação em água, provando a estabilidade em água das fases minerais a eles associadas. Ocorrem no entanto excepções, em algumas amostras, relativamente ao Cr (CA0-1A 10-20; CA1-14 5-10; CA2-10 20-40 e 40-60), ao Cu (CA1-14 40-60, CA1-33 20-40, CA2-10 20-40, CA2-12 60-80 e CA2-12 80-100) e ao Ni (CA0-2B 20-40) onde os teores extraídos por lixiviação em água ultrapassam os obtidos por agitação com acetato de amónio (Figuras 5.55, 5.56 e 5.57). Qualquer um destes elementos (Cr, Cu, Ni) tem uma baixa proporção em fases mais lábeis, podendo a maioria ser representada por formas solúveis na água intersticial e/ou as forças de ligação por adsorção às partículas constituintes das aluviões, serem fracas e consequentemente, facilmente removidas por acção da água. Deste modo, o tempo de agitação superior nos ensaios de lixiviação (18 H) quando comparado ao tempo de agitação com acetato de amónio (10 H e 40 minutos) poderá ter deslocado uma maior proporção dos catiões de Cu, Ni e Cr que estivessem como catiões de troca nas partículas coloidais dos materiais sedimentares. Relativamente ao ferro são extraídas fracções muito reduzidas por agitação em água comparativamente às obtidas por agitação em acetato de amónio (Figura 5.56), o que poderá demonstrar a relativa estabilidade dos óxidos cristalinos e amorfos deste elemento, muito abundantes na generalidade dos materiais aluvionares estudados.

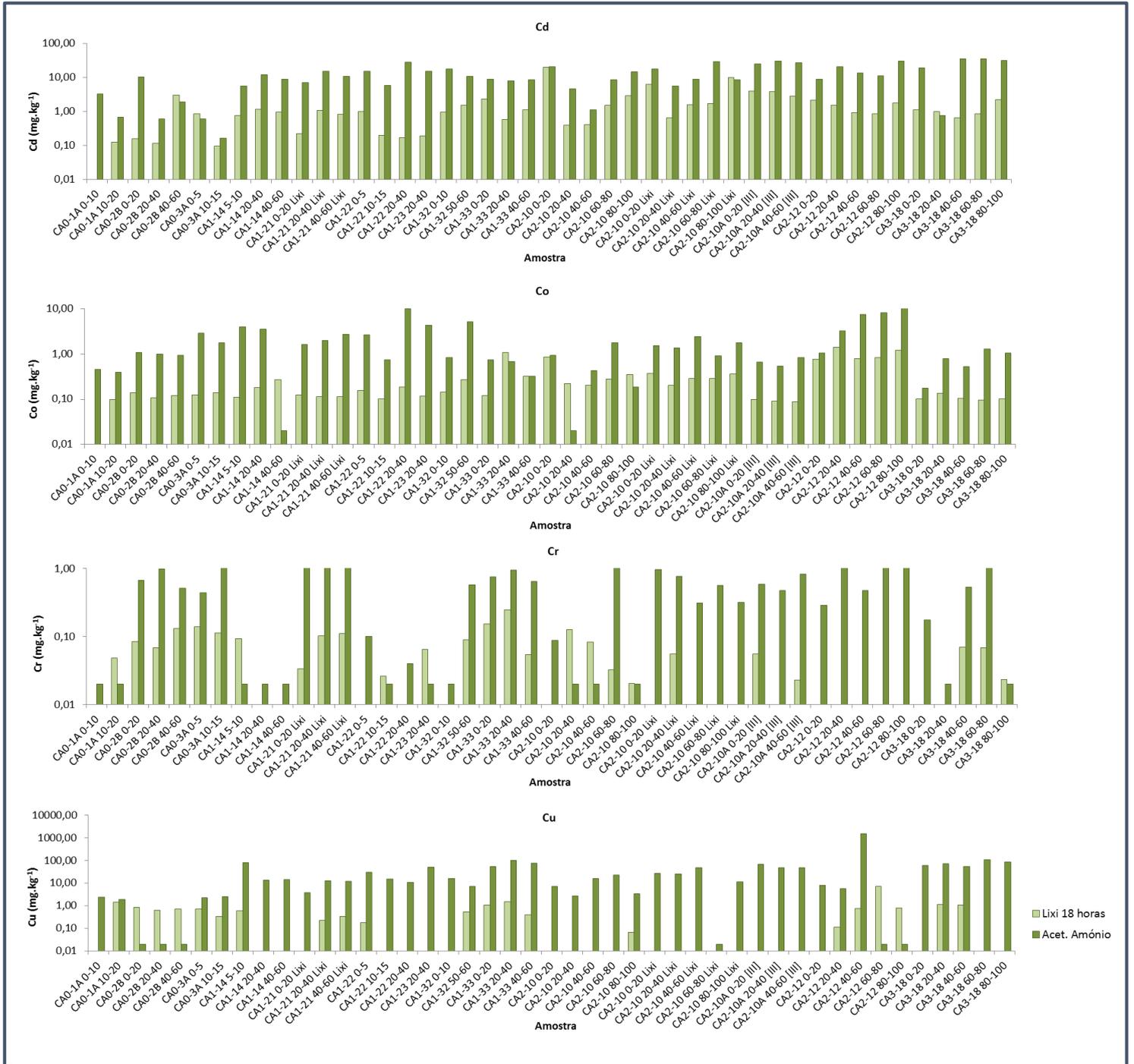


Figura 5.55: Comparação dos valores da lixiviação das aluviões por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extracção sequencial (Acetato de Amónio) para o cádmio, cobalto, crómio e cobre. (As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva. Gráficos em escala logarítmica.)

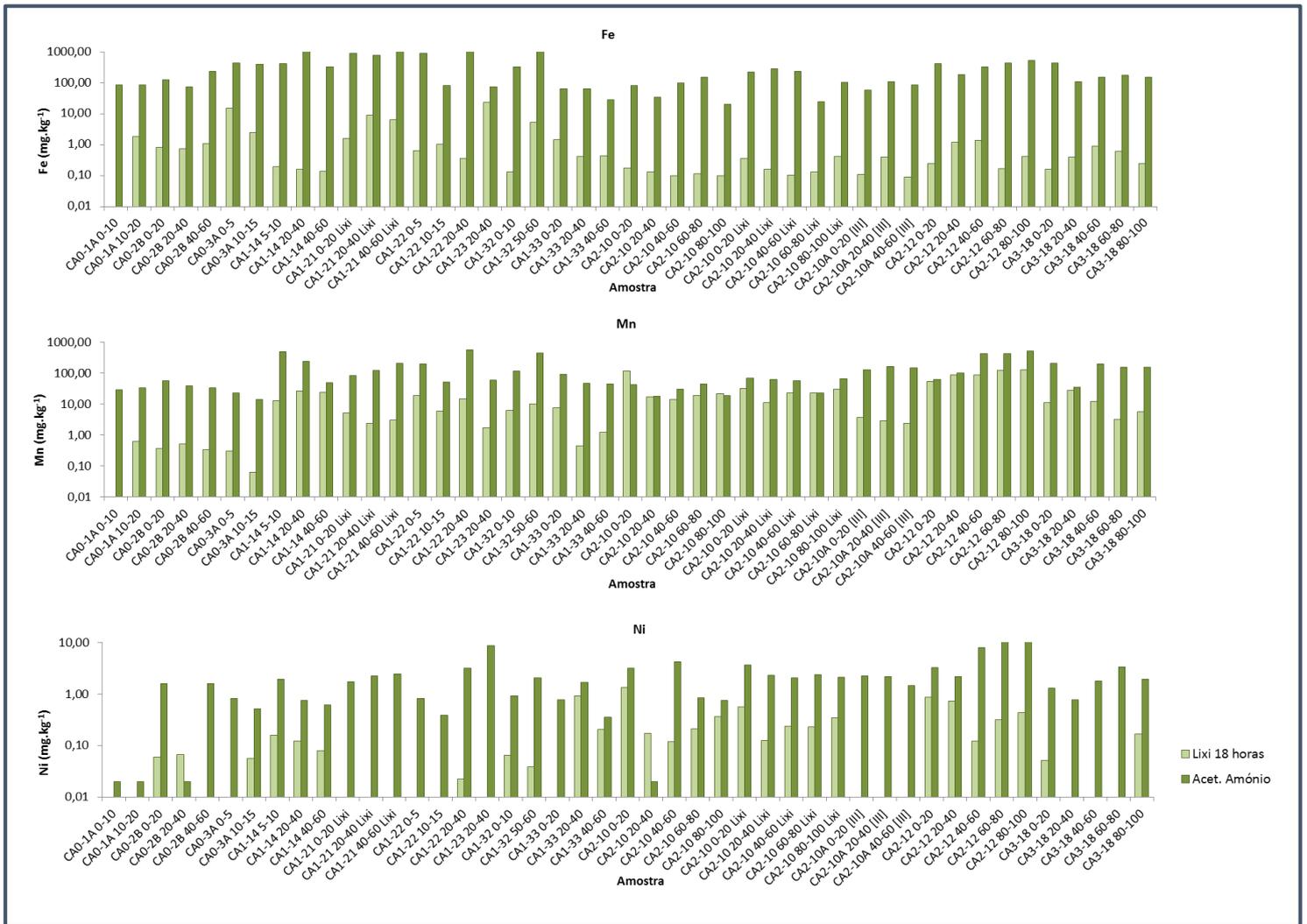


Figura 5.56: Comparação dos valores da lixiviação das aluviões por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extração sequencial (Acetato de Amônio) para o ferro o manganês e o níquel. (As amostras com designação [III] e [IV] correspondem à época pós-chuva. Gráficos em escala logarítmica.)

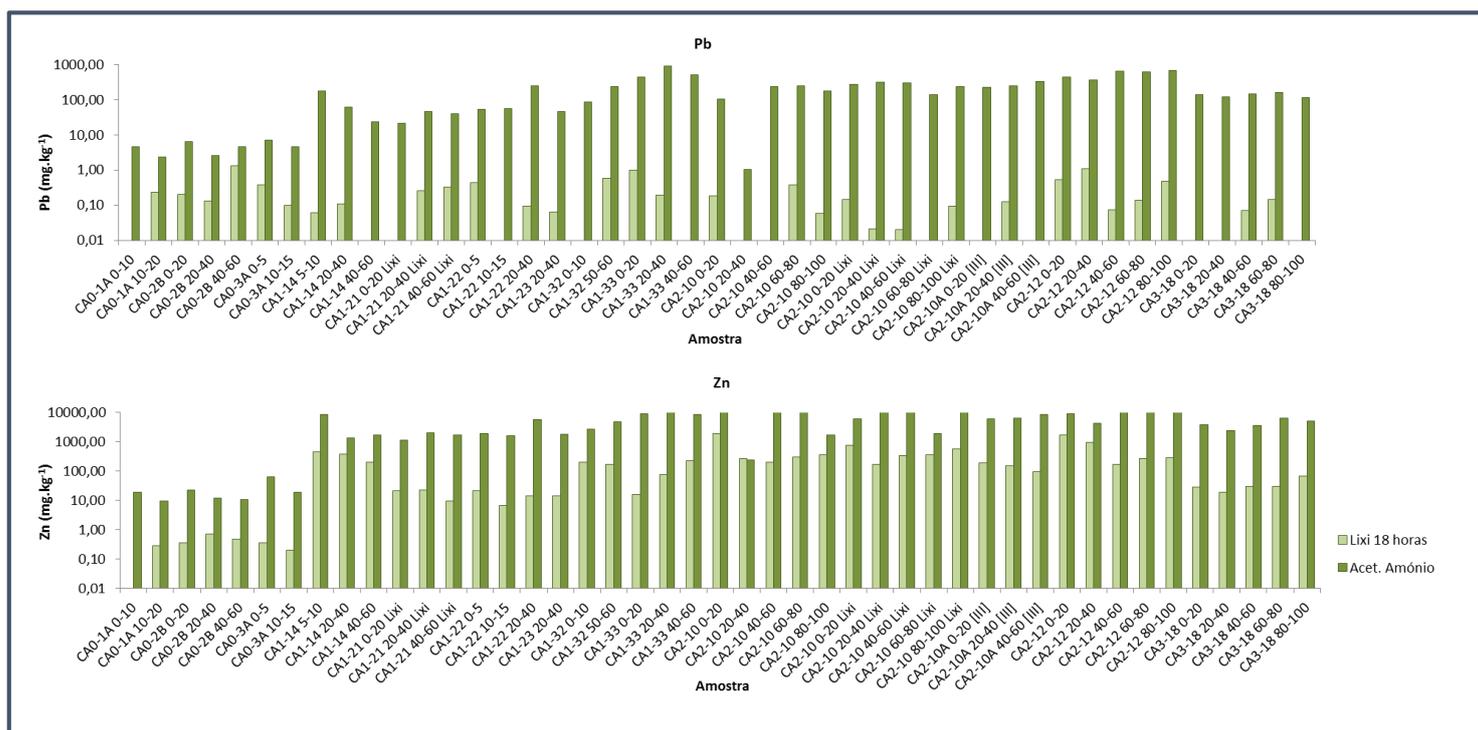


Figura 5.57: Comparação dos valores da lixiviação das aluviões por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extração sequencial (Acetato de Amônio) para o chumbo e o zinco. (As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva. Gráficos em escala logarítmica.)

5.1.8. Análise de Elementos Orgânicos: Análise Elementar

O conhecimento da concentração de nutrientes nas aluviões, especialmente carbono (C) e azoto (N), é muito importante na medida em que a sua determinação permite a identificação de possíveis contaminações de origem antrópica, muitas vezes associadas a descargas de efluentes domésticos e a quantificação de compostos orgânicos que frequentemente se associam aos elementos metálicos, formando complexos com elevada solubilidade. A análise do enxofre (S) permite ainda avaliar a contaminação das aluviões por sulfatos, compostos minerais secundários provenientes dos processos de oxidação química dos sulfuretos de zinco processados na unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A..

Assim foram determinadas as percentagens em carbono, azoto e enxofre, através de análise elementar, e representadas graficamente em profundidade, de forma a serem perceptíveis as suas variações. No entanto, há que ter em conta que os valores apresentados correspondem aos teores totais nestes elementos. Os resultados totais desta determinação encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.28).

5.1.8.1. Carbono

Relativamente ao carbono (representado na figura 5.58), verificam-se percentagens superiores nas camadas superficiais com uma tendência decrescente em profundidade, comportamento comum em materiais sedimentares, uma vez que as principais actividades microbiológicas ocorrem mais superficialmente. Ocorrem, no entanto, acumulações elevadas a maiores profundidades (por exemplo nas amostras CA1-21, CA1-22, CA2-10 Lixi ou CA3-38 [III]), que poderão dever-se a acumulações pontuais de material orgânico, aprisionado na aluvião, com posterior deposição de material inorgânico de origem distinta.

Correspondendo os valores determinados a carbono total (orgânico e inorgânico), estes foram comparados com a referência local (CONAMA, 2012). Assim, segundo a legislação vigente, o Valor de Alerta, ou seja, o valor acima do qual existe possibilidade de risco ambiental para o carbono orgânico total (considerando a técnica de dragagem como a técnica aconselhada para a recuperação desta área) é de 10%. Ora, de acordo com a figura 5.58 verifica-se que esse Valor de Alerta nunca é alcançado, verificando-se os valores máximos nas áreas A1 e A3 inferiores a 5% de carbono total. Não se verifica assim perigo de contaminação da área em estudo por excesso de carbono.

Um dos factores que poderá contribuir para estes valores de carbono total é a geologia da região, sendo esta caracterizada pela presença dominante de arenitos arcóscicos de granulometria fina a muito fina, intercalado com siltitos arcóscicos de cor cinza-esverdeados e violáceos, ricos em quartzo, feldspato e minerais pesados como óxidos de ferro. Assim de todo o carbono identificado nas amostras pode-se concluir que a maior parte será de origem orgânica e não inorgânica.

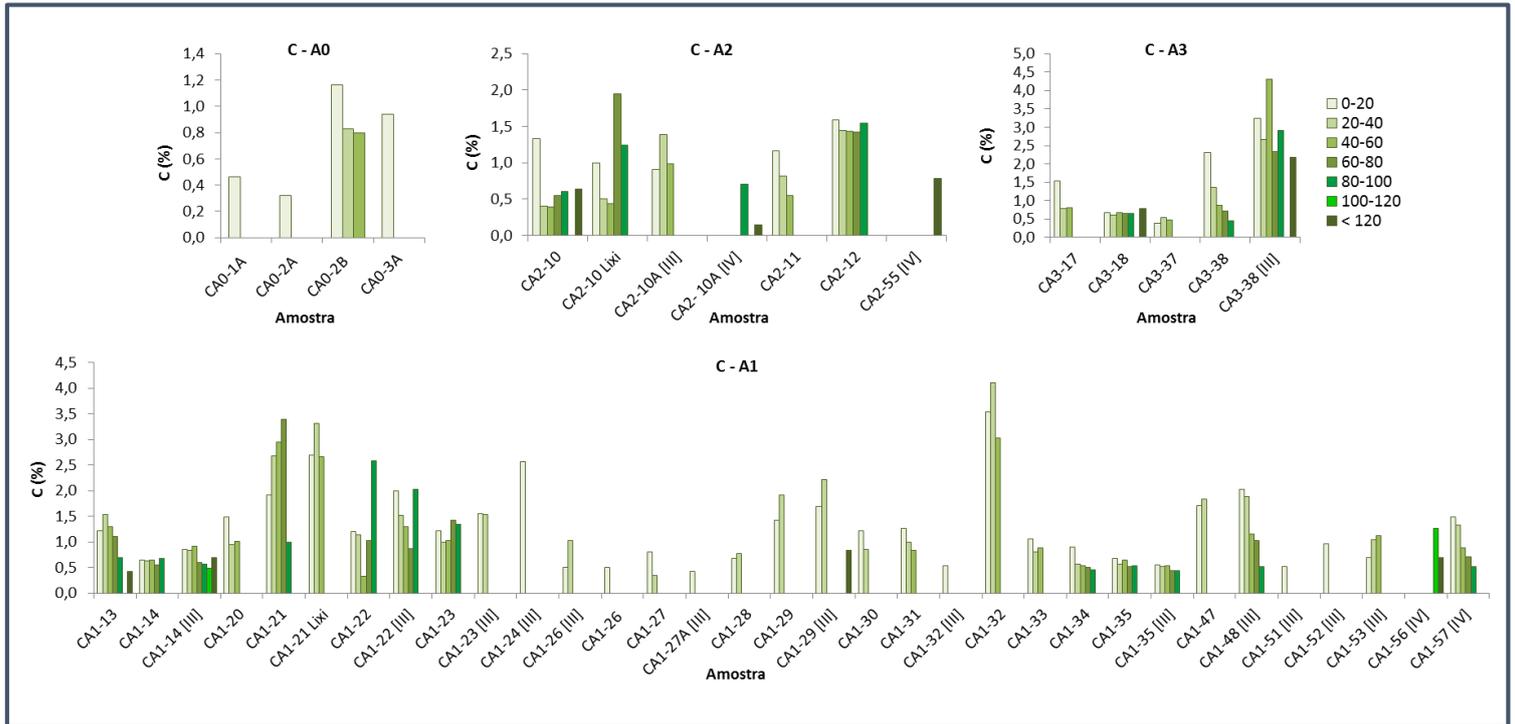


Figura 5.58: Percentagem de carbono (C) total obtida nas aluviões por análise elemental. (As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva.)

5.1.8.2. Azoto

A análise do azoto (N) nas aluviões é muito importante, uma vez que a sua mobilização, dissolução e passagem para as águas (superficiais ou subterrâneas) pode influenciar negativamente a sua qualidade. Elevadas concentrações de azoto podem ser associadas a contaminações originadas por efluentes domésticos ou industriais (indústria pecuária principalmente) (Resende, 2002). Por sua vez o enriquecimento excessivo deste nutriente poderá levar á eutrofização das águas (Resende, 2002), agravados aquando a formação de pegos durante épocas secas, facto que ocorre no troço do córrego Consciência envolvido na área em estudo.

Na figura 5.59, encontram-se representadas as percentagens determinadas em profundidade para este nutriente na área em estudo. No que se refere ao azoto não são visíveis padrões de distribuição em profundidade, podendo apenas considerar-se como aumento constante em profundidade o caso da amostra CA3-38. Tal como para o carbono foram comparados os valores normativos na legislação vigente (CONAMA, 2012). Neste caso, são aplicados os valores legislados para material a ser dragado, cujo Valor de Alerta para o azoto *Kjeldahl* total corresponde a 4800 mg.kg⁻¹. Os teores em azoto total determinados pelo método de *Kjeldahl* e pelo método de combustão (utilizado nesta determinação), possuem boas correlações, podendo por isso ser utilizados na determinação do azoto total (Pereira *et al.*, 2006). Assim, de acordo com as percentagens obtidas (Figura 5.59), não são esperadas contaminações por azoto na área em

estudo, nem na área de disposição de resíduos, caso se adopte uma solução de remediação que passe pela dragagem.

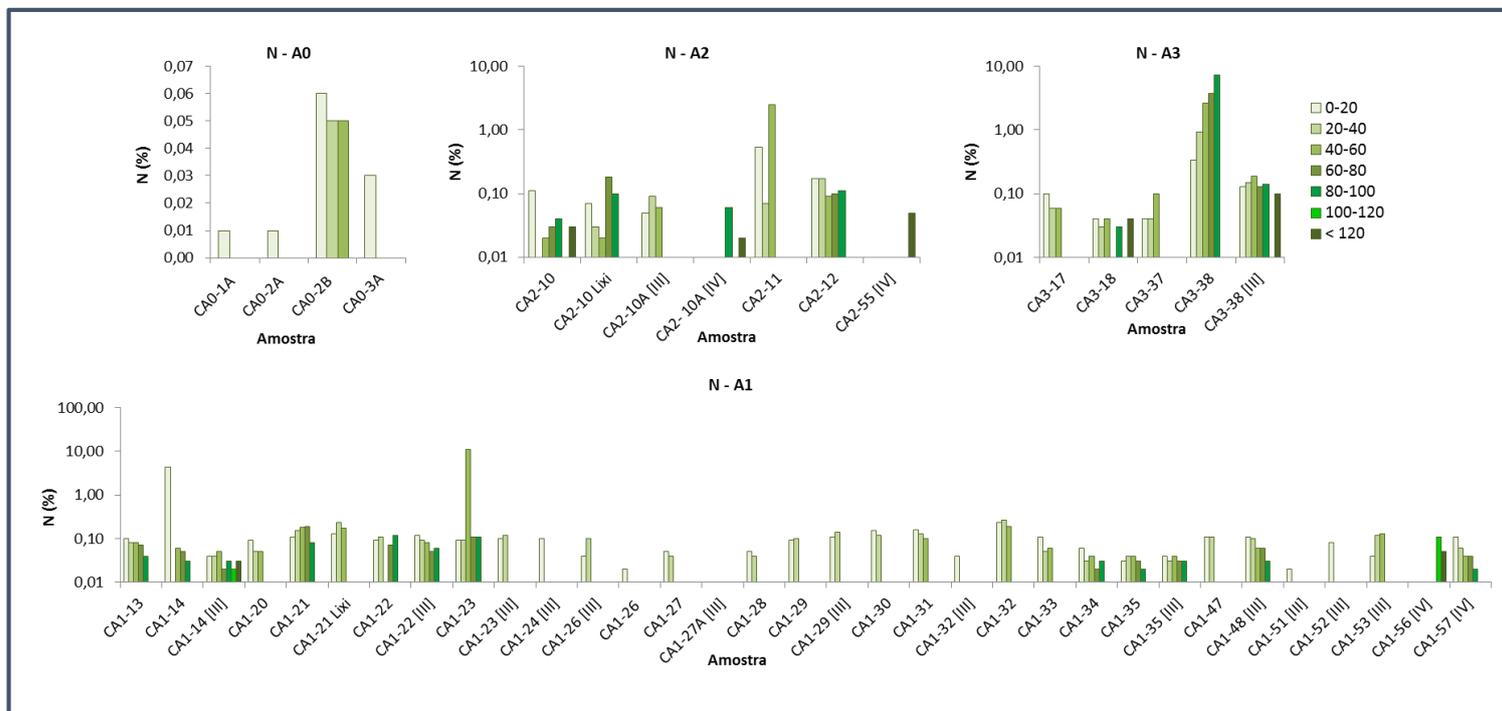


Figura 5.59: Percentagem de azoto (N) total obtida nas aluviões por análise elementar. (As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva. Gráficos das áreas A1, A2 e A3 em escala logarítmica.)

De uma forma geral os valores dos elementos que formam compostos orgânicos, são baixos, não devendo existir formação significativa de complexos solúveis com os elementos metálicos. Relativamente aos dois nutrientes, os valores mais elevados verificam-se nas áreas A1 e A3, especialmente durante a época mais seca. Os valores mais elevados deverão estar relacionados com acumulações pontuais de material orgânico, podendo os teores elevados de azoto relacionar-se com locais pontuais de descarga de efluentes e/ou tentativas de revegetação dos solos a montante destas áreas (França, 2011).

5.1.8.3. Enxofre

A determinação do enxofre nas aluviões da área em estudo é muito importante, tendo em conta a natureza sulfuretada de uma parte do minério utilizado na unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A., possibilitando a correlação entre as áreas mais contaminadas com a capacidade de degradação dos sulfuretos. Na figura 5.60 apresentam-se os valores obtidos por análise elementar, esquematizados graficamente em profundidade.

Assim, à semelhança do que ocorre para o azoto, não são encontrados padrões que expliquem a variação de enxofre em profundidade. No entanto, de forma geral, verificam-se concentrações mais elevadas nas camadas superficiais, especialmente na área A2. Esta distribuição pode dever-se à formação de minerais sulfatados secundários, bem visíveis nesta área, através da formação de extensas e espessas camadas de sulfatos à superfície, na época seca. Este elemento poderá ser originário de depósitos residuais localizados a montante da área A2, através da oxidação dos sulfuretos.

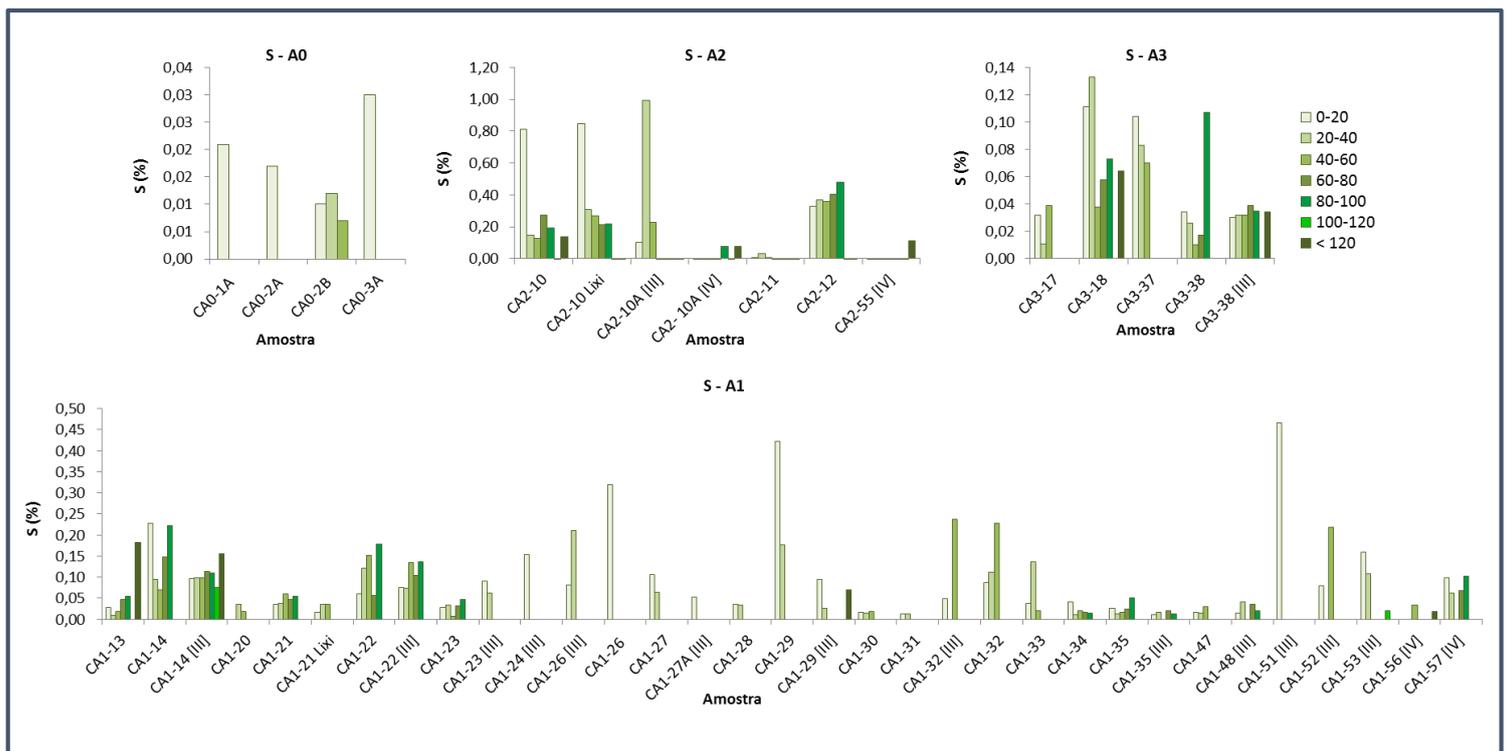


Figura 5.60: Percentagem de enxofre (S) total obtida nas aluviões por análise elementar. (As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva.)

5.1.9. Determinação do Teor em Fósforo

À semelhança do azoto, também o fósforo é um importante nutriente, podendo ainda ter um papel importante na complexação de catiões metálicos. Em ambientes tropicais, devido à forte retenção pelas partículas minerais, nomeadamente óxidos de ferro, a contaminação por fósforo em água subterrâneas não releva uma grande magnitude (Resende, 2002). No entanto, uma vez que o enriquecimento em fósforo promove o desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos por eutrofização (Resende, 2002), principalmente em águas pouco oxigenadas, como é o caso, na área em estudo, na formação de pegos durante a época seca.

Assim, de forma a caracterizar a área em estudo relativamente à concentração em fósforo, encontram-se nas figuras 5.61 e 5.62 a comparação dos teores obtidos em profundidade para as aluviões e para as águas intersticiais respectivamente. As concentrações totais obtidas encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabelas AI.29 e AI.30).

Observando a figura 5.61 não se verificam padrões significativos, no entanto observa-se para a área A2, uma maior concentração de fósforo relativamente às restantes áreas. Estes valores poderão relacionar-se com a mineralogia local, rica em óxidos de ferro os quais, quando presentes em grande quantidade, tendem a uma maior retenção de fósforo, especialmente sob formas inorgânicas (Resende, 2002; OMAFRA, 2006; Roy *et al.*, 2006; Wardlab). Quando se faz a comparação entre os teores obtidos e o valor de alerta (limite máximo) para o fósforo total em material dragado (CONAMA, 2012), verifica-se que os teores encontrados nas aluviões se encontram muito abaixo do valor legislado de 2000 mg.kg⁻¹.

Estes baixos teores de fósforo vão de encontro à sua origem, resultando da lixiviação e acumulação de resíduos da actividade da unidade industrial que processa minérios de zinco, não proporcionando a actividade biológica.

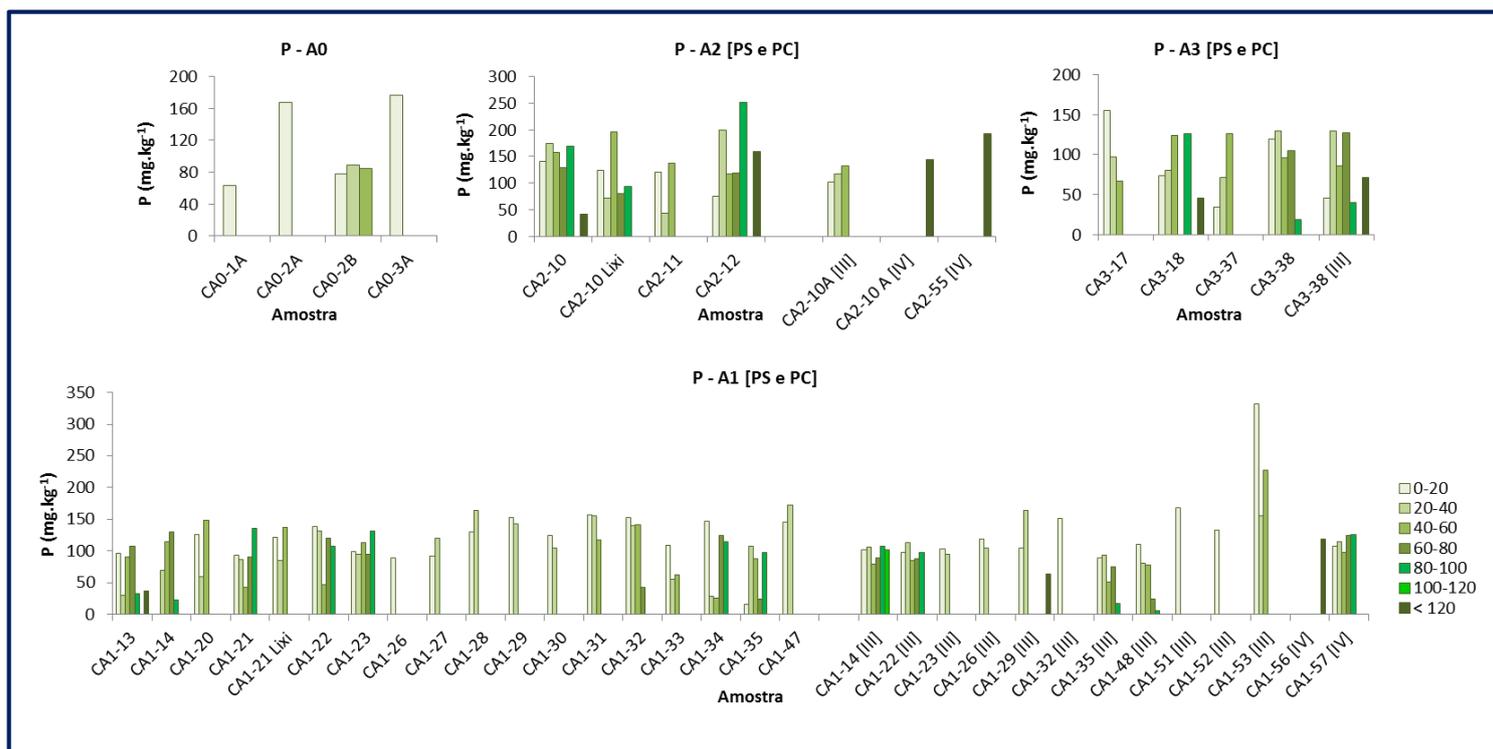


Figura 5.61: Teor em fósforo determinado nas aluviões da área em estudo. (As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva.)

Relativamente às águas intersticiais (Figura 5.62), verificaram-se teores em fósforo superiores ao limite máximo de fósforo total em ambientes lênticos de 0,020 mg.l⁻¹ (CONAMA, 2012). Encontram-se teores mais elevados nas camadas mais superficiais, destacando-se as áreas A1 e A2, com teores mais elevados, que são maiores em profundidade durante a época das chuvas (PS). Assim, verifica-se a ocorrência de fósforo principalmente sob a fase solúvel nas águas intersticiais, sendo que a dragagem, como possível método de remediação destes materiais, terá de ter em conta as condições que promovem a mobilidade do fósforo, principalmente durante os períodos de maior precipitação.

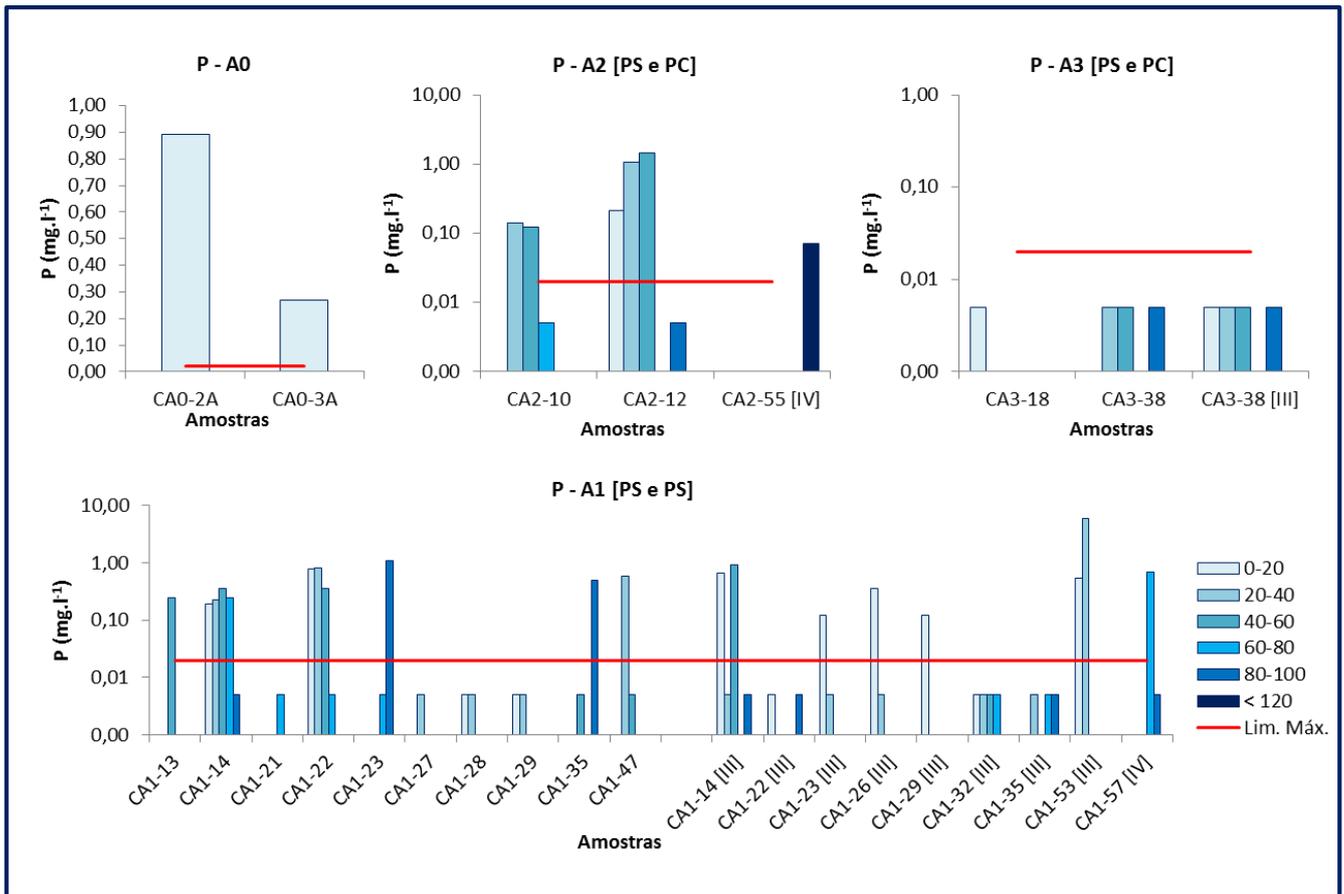


Figura 5.62: Teor em fósforo determinado nas águas intersticiais da área em estudo. (As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva. Gráficos das áreas A1, A2 e A3 em escala logarítmica.)

Estes valores baixos de concentração de azoto, fósforo (elementos que ocorrem maioritariamente na forma orgânica) e carbono, poderão explicar a baixa proporção dos elementos metálicos extraídos na quarta fase do método de extracção sequencial correspondendo as fracções associadas a matéria orgânica e sulfuretos. A maioria destes elementos apresenta valores médios inferiores a 5%, facto que, atendendo à mineralogia dos materiais processados, poderá associar a maioria dos metais a sulfuretos e não a material orgânico.

5.1.10. Determinação do Teor em Sulfatos

A determinação do teor em sulfatos nas aluviões e águas intersticiais da área em estudo, corresponde a um dado importante, no que se refere à contaminação, uma vez que a sua proveniência estará directamente relacionada com o minério processado na unidade industrial. Os sulfatos terão como processo de origem a oxidação química do sulfureto de zinco (esfalerite) beneficiado na unidade industrial para a produção de ligas de zinco.

Dada a sua elevada mobilidade geoquímica, os sulfatos são facilmente lixiviados e transportados em forma aniónica, por escorrência ou infiltração, ligando-se frequentemente a cátions metálicos, de que resulta a formação de complexos parcialmente solúveis. Contudo, a ligação preferencial destes iões, ocorre com cátions básicos, Ca^{2+} e Mg^{2+} (cátions com semelhante raio iónico), formando precipitados (Hooda, 2010).

Foram identificados através das análises mineralógicas abundantes minerais de gesso (CaSO_4) em diferentes fracções granulométricas, observando-se também na área, ocorrência de extensas camadas de gesso depositadas à superfície das planícies aluvionares e nas margens do córrego Consciência, mais abundantes durante a época pós-seca. Em fase aquosa os sulfatos migram com facilidade através de processos de advecção e difusão molecular para zonas distantes da sua fonte, inclusive, para a outra margem do córrego, através dos materiais aluvionares onde se encaixa esta linha de água.

O excesso de sulfatos nas aluviões, embora com menor índice de perigosidade, origina de igual forma problemas ambientais através do aumento da salinidade da coluna de água e das transformações químicas dos materiais depositados, algumas das quais poderão conduzir a uma maior lixiviação de elementos metálicos. Foram identificados, através das análises mineralógicas por micro-sonda electrónica variados sulfatos metálicos, como sulfatos de Pb, que ocorrem como inclusões pontuais associadas a material ferruginoso, sulfatos de Cu (ou de $\text{Cu}\pm\text{Zn}$) e jarosite (sulfato de Fe e K). Assim, devido a esta associação com metais, a maioria dos sulfatos tem propriedades contaminantes, podendo libertar facilmente elementos metálicos aquando a sua dissolução, por efeitos de maior pluviosidade e/ou consequente aumento do caudal do córrego. Foram assim analisados os teores em sulfatos não só nas aluviões mas também nas águas intersticiais nelas recolhidas.

Na água intersticial os teores de sulfatos compreendem os compostos sulfatados ligados a cátions metálicos como o Cd, Cu e Zn sob a forma de complexos solúveis, e os sulfatos de elementos alcalino-terrosos (Ca e Mg) que se encontram dissolvidos nos poros dos materiais sedimentares. Nas aluviões, o teor de sulfatos determinado corresponde ao sulfato total, que inclui os sulfatos associados a elementos metálicos e/ou a elementos alcalino-terrosos (Ca e Mg), que se encontram quer em fase solúvel, quer formando precipitados.

Uma vez que não existe regulamentação para os valores máximos admissíveis de sulfatos em solos e sendo a maior parte dos sulfatos facilmente solubilizada, os resultados obtidos nos materiais aluvionares foram comparados com os valores máximos permitidos para as águas subterrâneas, de acordo com a Resolução CONAMA nº357 de 2005 para águas salobras de Classe I (CONAMA, 2012), cujo valor é de 250 mg.kg⁻¹.

Nas figuras 5.63 a 5.65 encontram-se representados os teores em sulfatos determinados nas aluviões e nas águas intersticiais, respectivamente. Em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.31 e AI.32) encontram-se todos os teores obtidos para as aluviões e águas intersticiais analisadas.

Assim, segundo a figura 5.63 verificam-se teores em sulfatos superiores ao limite máximo considerado (250 mg.kg⁻¹) nas áreas A1, A2 e A3. Enquanto nas áreas A1 e A3 a maioria das amostras possui teores que se encontram abaixo do limite máximo, na área A2 todas as amostras ultrapassam esse limite. De facto é esta a área, onde também já se verificavam teores mais elevados de enxofre (Figura 5.60) nas camadas superficiais, relacionando-se com os depósitos de sulfatos precipitados à superfície (Figura 5.64).

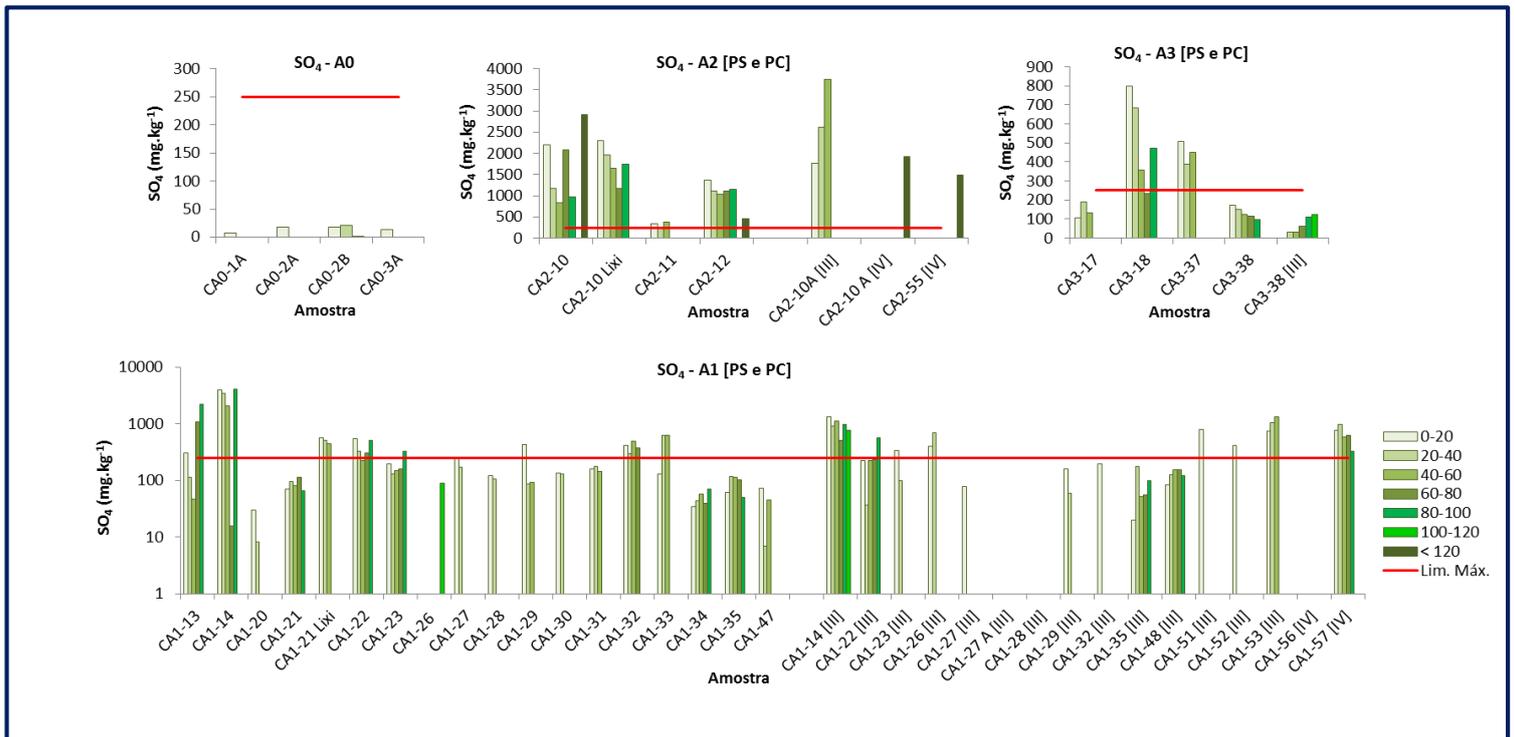


Figura 5.63: Teor em sulfatos determinado nas aluviões da área em estudo. (As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva. Gráfico da área A1 em escala logarítmica.)



Figura 5.64: Crostas de Sulfatos observadas na área A2, principalmente na época pós-chuva.

Relativamente aos sulfatos encontrados nas águas intersticiais (Figura 5.65), verificaram-se concentrações muito baixas. Estes teores, que correspondem, aos sulfatos solúveis, encontram-se muito a-baixo do limite máximo considerado de 250 mg.l^{-1} (CONAMA, 2012). Estes valores poderão corresponder a sulfatos de Cd, Cu e Zn, complexos parcialmente solúveis com facilidade de formação neste meio, dada a abundância de anião sulfato e destes metais em forma catiónica. O sulfato de Ca, o complexo sulfatado mais comum, deverá ter uma pequena fracção em fase solúvel, com maior percentagem sob a forma de precipitado, por evaporação da água, dado o ano de seca que se fez sentir em toda a região. No caso das aluviões depositadas no leito do córrego, em contacto com a coluna de água, devido a grande mobilidade destes compostos, são esperados valores de sulfatos solúveis muito reduzidos.

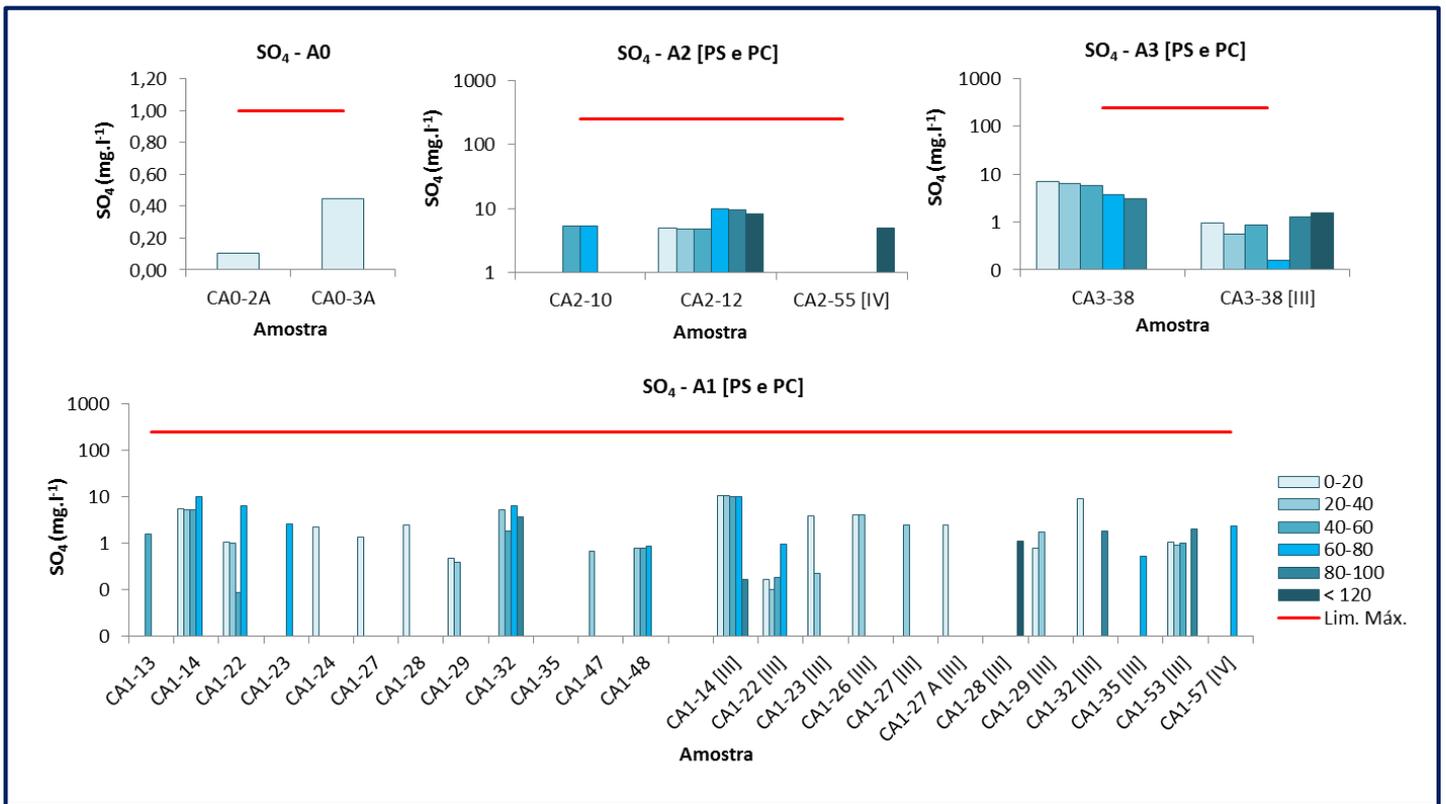


Figura 5.65: Teor em sulfatos determinado nas águas intersticiais da área em estudo. (As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva.)

Foram ainda determinados os teores em sulfatos nos extractos resultantes do ensaio de lixiviação por agitação de algumas amostras aluvionares. Assim, na figura 5.65 apresentam-se os teores obtidos para as referidas amostras de acordo com os períodos de agitação considerados. Os resultados absolutos desta análise encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.33).

De acordo com a figura 5.66 verifica-se que a lixiviação de sulfatos nas amostras aluvionares se expressa principalmente logo após a primeira hora de agitação, ultrapassando largamente o limite máximo considerado, 250 mg.l⁻¹ (CONAMA, 2012). Verifica-se ainda lixiviação ao longo dos restantes períodos mas de forma maioritariamente semelhante entre si, sendo que ocorrem ainda situações de transposição do limite máximo principalmente na área A2, como já era esperado, devido à ocorrência de crostas sulfatadas nesta área (Figura 5.64). De facto, a lixiviação obtida na primeira hora relacionar-se-á directamente com esse factor, aliando-se, como já anteriormente verificado na análise das aluviões e das suas águas intersticiais, à elevada solubilidade do anião sulfato facilmente lixiviável e, conseqüentemente transportado para áreas distintas. Verifica-se assim, a ocorrência de contaminação em sulfatos nas aluviões da área em estudo destacando-se a área A2.

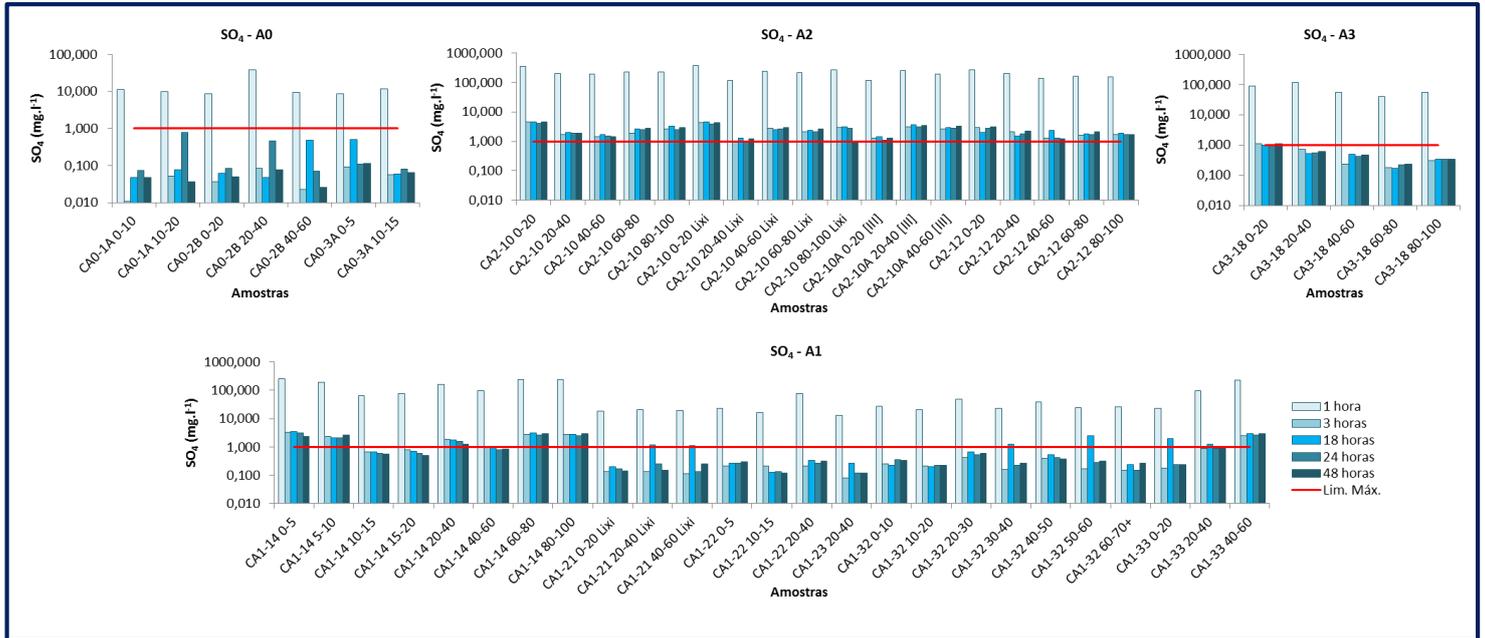


Figura 5.66: Teor em sulfatos determinado nos estratos resultantes do ensaio de lixiviação. (As amostras com designação [III] correspondem à época pós-chuva.)

5.2. Análises Físicas

5.2.1. Análise Granulométrica da Fração Arenosa

Devido à grande variabilidade dimensional apresentada pelas partículas sedimentares são encontrados na natureza depósitos sedimentares constituídos por partículas que variam entre metros a microm de diâmetro, ocorrendo por vezes depósitos constituídos por partículas granulares em matriz fina (por exemplo, depósitos formados através de alguns tipos de fluxos detríticos) (Dias, J. A., 2004). O conhecimento e análise das dimensões das partículas é importante pois permite inferir dados sobre a proveniência (designadamente sobre a disponibilidade de determinados tipos de partículas e sobre as rochas parentais), sobre o tipo de transporte sofrido (recorrendo-se, por exemplo, ao conceito de maturidade textural e à resistência das partículas de acordo com a sua composição, abrasão e alteração química), e sobre os potenciais ambientes deposicionais (Dias, J. A., 2004). Por outro lado, a granulometria das amostras sedimentares tem uma importante correlação com as suas características químicas dado que as diferentes fracções dimensionais têm composições mineralógicas específicas e diferentes actividades químicas.

A análise granulométrica consiste na determinação da dimensão das partículas constituintes de uma dada amostra e no posterior tratamento estatístico dessa informação. Assim, para se efectuar a descrição adequada de uma amostra, torna-se necessário proceder a uma análise cuidada, utilizando classes granulométricas com pequena amplitude. Quanto menor for a amplitude das classes, melhor é a descrição da variabilidade dimensional das partículas que constituem a amostra (Dias, J. A., 2004).

Classicamente, a granulometria em amostras muito grosseiras (cascalhos, seixos, balastros, etc.) é efectuada medindo (ou pesando) individualmente cada um dos elementos procedendo-se ainda à sua contagem. Contudo, para amostras menos grosseiras (cascalhos finos, areias), tal forma de mensuração não é prática, sendo nas areias muito difícil e extremamente morosa, mostrando-se praticamente impossível em siltes e argilas. Para este tipo de amostras (cascalhos finos e areias), a análise clássica recorre à separação mecânica (geralmente por via húmida) em classes dimensionais e posterior pesagem. No que se refere a amostras siltosas e argilosas, a classificação granulométrica é geralmente realizada por métodos de pipetagem (Dias, J. A., 2004).

5.2.1.1. Granulometria da Fracção Arenosa

Nas figuras 5.67, 5.68 e 5.69 estão representadas as curvas cumulativas médias da fracção arenosa de todas as amostras consideradas. Todos os resultados obtidos neste encontram-se em Anexo (Anexo AI – Tabela AI.34). A forma e o declive destas curvas fornecem dados sobre a evolução granulométrica das amostras, do grau de calibração e assimetria dos grãos. Assim, e para uma visualização e caracterização mais fácil dos parâmetros granulométricos, todas as curvas estão dispostas em relação a uma distribuição normal de *Gauss*. Por outro lado, o cálculo dos parâmetros de Folk e Ward (1957) vêm complementar as informações extraídas a partir das curvas.

De salientar que este estudo dos parâmetros granulométricos da fracção arenosa tem um significado mais amplo nos sedimentos das áreas A0 e A3, onde os teores médios de areia (fracção > 63µm) são relativamente elevados, correspondendo entre 40% e 70% do total das fracções granulométricas. Nas áreas A1 e A2, a generalidade das partículas dos sedimentos apresentam dimensão mais fina, representando a componente arenosa em apenas 20-30% dos materiais. Porém, mesmo em menor proporção, as informações retiradas a partir das curvas cumulativas e dos parâmetros granulométricos da fracção areia, têm igualmente importância no conhecimento da evolução sedimentar dos materiais depositados.

Na área A0 (Figura 5.67), a análise da fracção arenosa permitiu identificar declives acentuados, assimetria e afastamento das curvas relativamente à distribuição normal de *Gauss* (à excepção das curvas correspondentes às amostras CA0-2A e CA0-3A, mais próximas da distribuição normal). Estes dados sugerem a ocorrência de (1) padrões unimodais e bimodais, comuns à generalidade das amostras desta área (Figuras 5.70 – Gráfico A), (2) reduzido grau de seleção das populações granulométricas e (3) a introdução de elementos mais grosseiros relativamente às populações da moda principal (apresentando uma amostra com assimetria positiva – CA0-2B -, uma assimétrica – CA0-3A -, e as restantes com assimetria negativa, com a amostra CA0-1A a apresentar assimetria negativa marcada Tabela B1). Estas características apontam ainda para a existência de material originário com diferentes classes texturais e mineralógicas, significativas variações no tipo de transporte e nas taxas de distribuição e fornecimento de sedimentos.

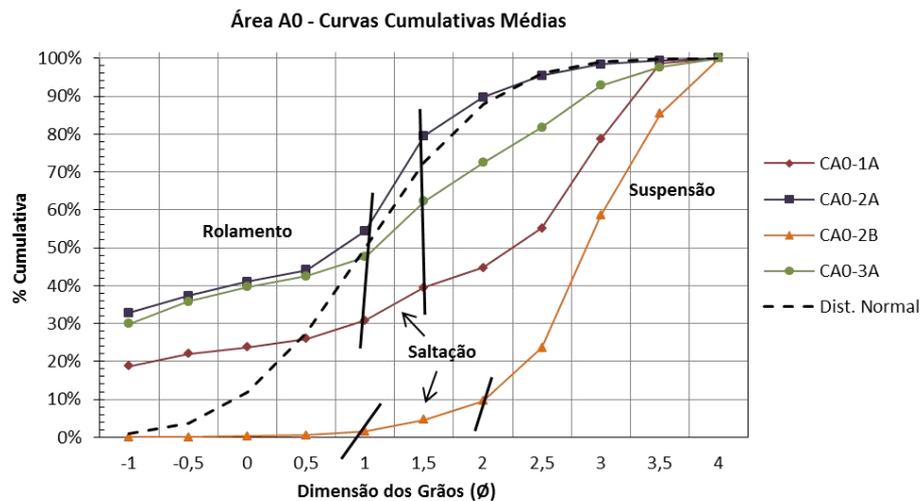


Figura 5.67: Curvas cumulativas médias da fracção arenosa e condições de transporte das várias dimensões constituintes das aluviões consideradas para a área A0. A curva a tracejado representa uma distribuição normal de Gauss, estando as principais inflexões das curvas marcadas por linhas verticais, delimitando assim as principais condições de transporte segundo Visger (1969).

A fraca calibração das aluviões desta área dever-se-á essencialmente à mistura de partículas mais grosseiras com as populações finas de areia, facto verificado através dos valores negativos de assimetria (à excepção da amostra CA0-2B que apresenta assimetria positiva) (Tabela 5.5). Já relativamente aos valores da curtose verifica-se que a fracção arenosa apresenta uma melhor calibração na extremidade da distribuição (distribuições platicúrticas e muito platicúrticas) para a generalidade das amostras, verificando-se excepção na amostra CA0-2B com uma melhor calibração na parte central da distribuição (distribuição leptocúrtica) (Tabela 5.5, Figura 5.67).

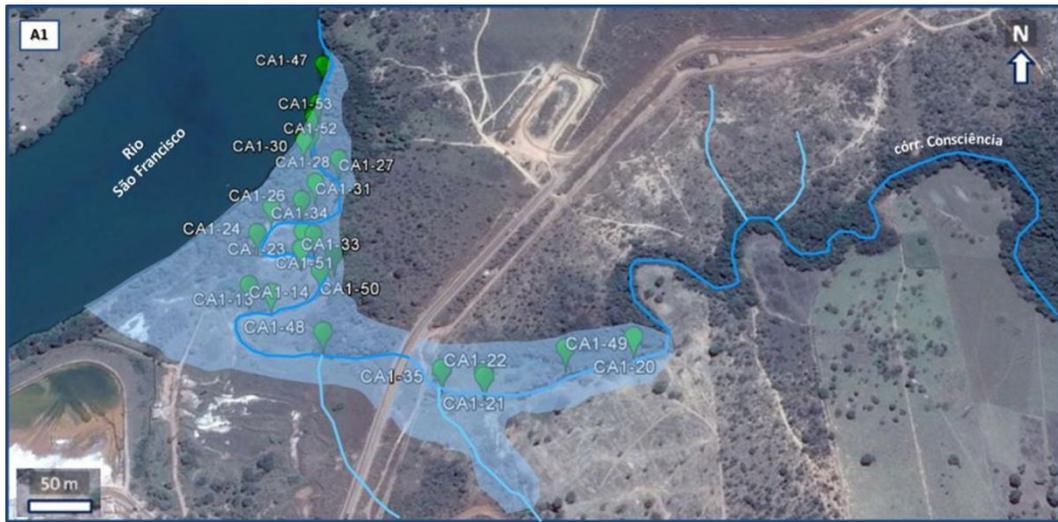
Tabela 5.5: Valores médios dos parâmetros de Folk e Ward (1957) calculados para a fracção arenosa das aluviões da área A0. (L – Leptocúrtica e MP – Muito Platicúrtica. Parâmetros classificados de acordo com as tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 - Capítulo 3).

Amostra	Diâmetro Médio (escala Ø)	Desvio Padrão (escala Ø)	Assimetria (escala Ø)	Curtose (escala Ø)
CA0-1A	1,400	1,662 (Mal calibr.)	-0,553 (Neg. marcada)	0,629 (MP)
CA0-2A	0,477	1,2 (Mal calibr.)	-0,153 (negativa)	0,585 (MP)
CA0-2B	2,867	0,709 (Mod. calibr.)	-0,246 (positiva)	1,255 (L)
CA0-3 ^a	0,867	1,494 (Mal calibr.)	-0,09 (assimétrica)	0,546 (MP)

Segundo Visser (1969), as curvas granulométricas de frequência cumulativa são frequentemente subdivididas em dois, três ou quatro segmentos lineares, representando subpopulações geralmente caracterizadas por condições dinâmicas de transporte distintas, tais como o rolamento, a saltação e a suspensão. As curvas granulométricas das amostras consideradas apresentam algumas inflexões (Figuras 5.67, 5.68 e 5.69). Inflexões que, segundo McManus (1998), apresentam-se nas curvas de frequência normal sob a forma de picos e depressões.

Assim, e com base na observação das curvas cumulativas referentes à área A0 (Figura 5.67), verifica-se que as inflexões representativas de cada processo de transporte se situam em diferentes populações dimensionais embora muito próximas. Considerando-se transporte por rolamento até 0,500 µm (1Ø), por saltação entre 0,500 µm - 0,350 µm (1Ø - 1,5Ø), com a amostra CA0-2B a prolongar esse transporte até aos 0,250 µm (2Ø), e por suspensão a partir da dimensão 0,350 µm (1,5Ø) (0,250 µm (2Ø) para a amostra CA0-2B) até à menor dimensão considerada correspondente a 0,063 µm (4Ø). Facto que aponta para fontes distintas e condições de transporte/deposição de partículas arenosas de granularidade semelhante. Estando este comportamento possivelmente relacionado com a localização destas amostras perto da confluência de linhas de água que à época de amostragem (época das chuvas) possuem maior capacidade de transporte e acarreio de material em suspensão.

Relativamente à área A1 (Figura 5.68), verificaram-se igualmente declives acentuados com assimetrias e curvas relativamente afastadas da distribuição normal de *Gauss*. Estes resultados sugerem a ocorrência de padrões unimodais e bimodais (Figura 5.70 – Gráficos B, B1 e B2), reduzido grau de seleção de populações granulométricas e possível introdução de elementos mais grosseiros relativamente às populações da moda principal (apresentando de forma geram uma assimetria negativa marcada –Tabela 5.6). Apontando, igualmente como verificado na área A0, para a ocorrência de material originário com diferentes classes texturais e mineralógicas, transportando através de diferentes agentes de transporte, aliado à forte influência antrópica que se faz sentir nesta área visto que as amostras foram recolhidas numa zona de depósito fortemente antropizada.



Planície Aluvionar — Linha de Água Principal — Linha de Água Secundária

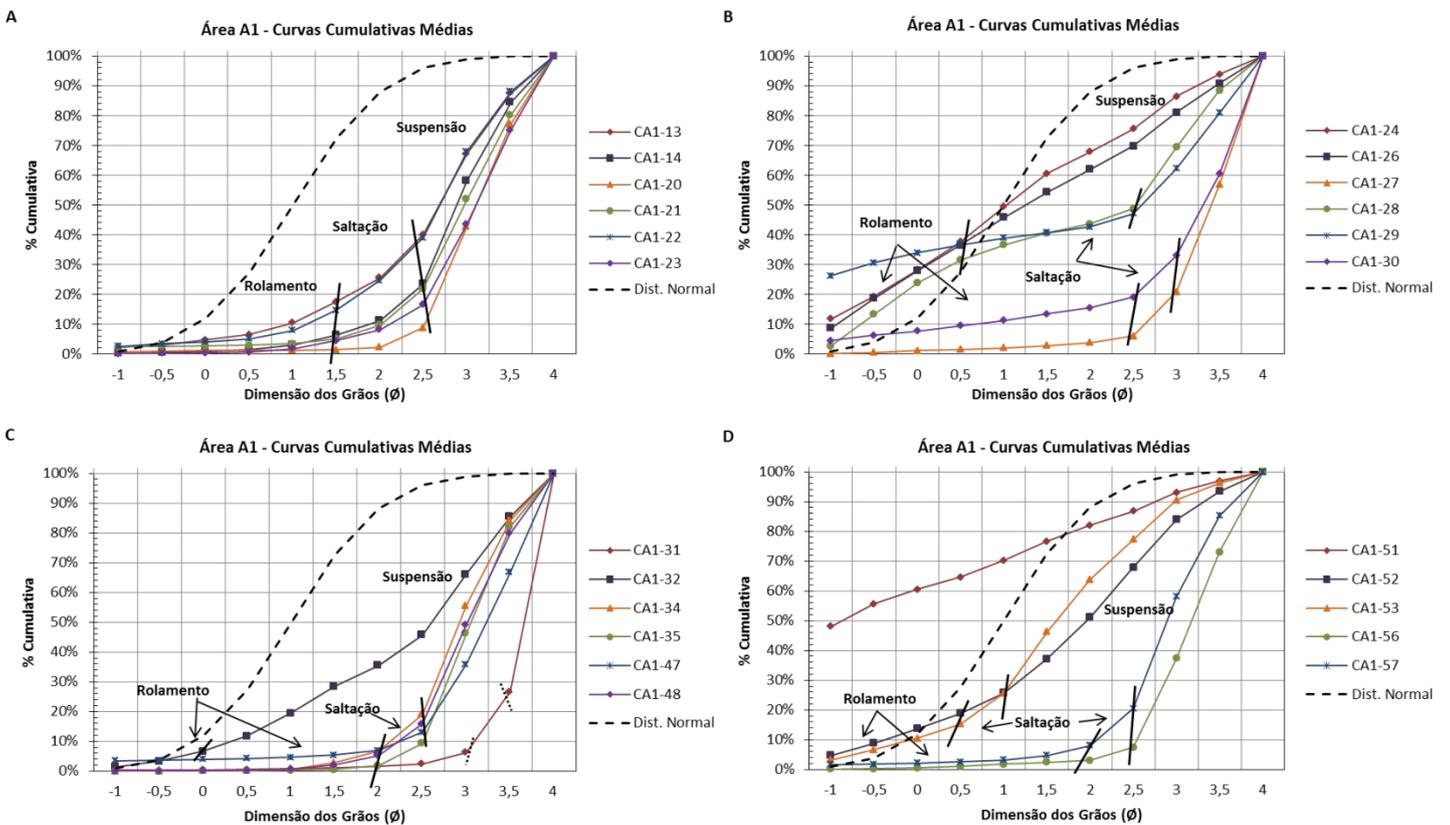


Figura 5.68: Curvas cumulativas médias da fracção arenosa e condições de transporte das várias dimensões constituintes das aluviões consideradas para a área A1. A curva a tracejado representa uma distribuição normal de Gauss, estando as principais inflexões das curvas marcadas por linhas verticais (a cheio e tracejado), delimitando assim as principais condições de transporte segundo Visher (1969).

A calibração das aluviões desta área apresenta-se em geral entre mal calibrada a moderadamente bem calibrada, relacionando-se possivelmente com a mistura de partículas grosseiras às populações finas de areia (embora menos evidente que na área A0), facto verificado através da maior percentagem de valores de assimetria acentuadamente negativa (à excepção das amostras CA1-20, CA1-35 e CA1-57 que apresentam assimetria positiva) (Tabela 5.6). No que se refere aos valores de curtose verifica-se uma melhor calibração da fracção arenosa na parte central da distribuição (distribuições leptocúrticas, muito leptocúrticas, mesocúrticas e muito mesocúrticas) (Tabela 5.6, Figura 5.68).

Tabela 5.6: Valores médios dos parâmetros de Folk e Ward (1957) calculados para a fracção arenosa das aluviões da área A1. (L – Leptocúrtica, ML – Muito Leptocúrtica, M – Mesocúrtica, P – Platicúrtica e MP – Muito Platicúrtica. Parâmetros classificados de acordo com as tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 - Capítulo 3).

Amostra	Diâmetro Médio (escala Ø)	Desvio Padrão (escala Ø)	Assimetria (escala Ø)	Curtose (escala Ø)
CA1-13	2,450	1,194 (Mal calibr.)	-0,378 (Neg. marcada)	1,452 (L)
CA1-14	2,833	0,731 (Mod. calibr.)	-0,134 (Neg. marcada)	1,254 (L)
CA1-20	3,200	0,608 (Mod. bem calibr.)	0,107 (positiva)	0,929 (M)
CA1-21	2,950	0,706 (Mod. bem calibr.)	-0,117 (negativa)	1,014 (M)
CA1-22	2,583	1,118 (Mal. calibr.)	-0,252 (Neg. marcada)	1,336 (L)
CA1-23	3,033	0,678 (Mod. bem calibr.)	-0,363 (Neg. marcada)	1,085 (M)
CA1-24	0,733	1,557 (Mal. calibr.)	-0,059 (Neg. marcada)	0,671 (P)
CA1-26	1,100	1,799 (Mal. calibr.)	-0,030 (Neg. marcada)	0,700 (P)
CA1-27	3,333	0,558 (Mod. bem calibr.)	-0,410 (negativa)	1,229 (L)
CA1-28	1,917	1,622 (Mal. calibr.)	-0,478 (Neg. marcada)	0,631 (MP)
CA1-29	1,700	1,865 (Mal. calibr.)	-0,519 (Neg. marcada)	0,457 (MP)
CA1-30	3,033	1,200 (Mal. calibr.)	-0,591 (Neg. marcada)	2,135 (ML)
CA1-31	3,600	0,425 (Bem calibr.)	-0,425 (Neg. marcada)	2,836(ML)
CA1-32	2,283	1,331 (Mal. calibr.)	-0,402 (Neg. marcada)	0,893 (P)
CA1-34	2,850	0,610 (Mod. bem calibr.)	-0,194 (Neg. marcada)	0,984 (M)
CA1-35	3,117	0,417 (Bem calibr.)	0,143 (positiva)	1,008 (M)
CA1-47	3,167	0,752 (Mod. calibr.)	-0,376 (Neg. marcada)	1,398 (L)
CA1-48	3,017	0,550 (Mod. bem calibr.)	-0,003 (Neg. marcada)	0,973 (M)
CA1-51	0,033	1,441 (Mal. calibr.)	1,082 (Posit. Marcada)	0,739 (P)
CA1-52	1,750	1,369 (Mal. calibr.)	-0,303 (negativa)	1,054 (M)
CA1-53	1,667	1,283 (Mal. calibr.)	-0,022 (Neg. marcada)	1,576 (ML)
CA1-56	3,167	0,525 (Mod. bem calibr.)	-0,121 (Neg. marcada)	0,939 (M)
CA1-57	2,817	0,656 (Mod. bem calibr.)	0,219 (positiva)	1,338 (L)

Relativamente ao tipo de transporte para as aluviões da área A1 representado na figura 5.68, verificam-se igualmente inflexões representativas de cada processo de transporte em diferentes populações dimensionais próximas nas amostras consideradas no gráfico A – Figura 5.68 e mais variáveis e distantes nas amostras representadas nos restantes gráficos, neste caso o transporte por rolamento ocorre até 0,350 µm (1,5Ø), por saltação entre 0,350 µm – 0,177 µm (1,5Ø- 2,5Ø) e por suspensão a partir de 0,177 µm (2,5Ø) até à menor dimensão considerada

correspondente a $0,063 \mu\text{m}$ (4ϕ). Nas restantes amostras verificam-se igualmente inflexões correspondentes, geralmente, a três tipos de transporte sedimentar embora a sua proximidade seja mais variável de amostra para amostra verificando-se capacidades de transporte por rolamento máximo até $0,177 \mu\text{m}$ ($2,5\phi$) (Gráfico B – Figura 5.68) correspondendo às amostras CA1-27 e CA1-30 amostradas em época pós-seca: neste caso é notória uma capacidade de transporte mais elevada, possivelmente devido ao volume hídrico disponível. O transporte por saltação varia entre $0,710 \mu\text{m}$ – $0,125 \mu\text{m}$ ($0,5\phi$ - 3ϕ) (Gráficos B, C e D – Figura 5.68) com períodos dimensionais mais extensos nas amostras CA1-28 e CA1-29, com a amostra CA1-28 a corresponder a uma época pouco chuvosa e localizada em zona muito próxima à foz do córrego Consciência. Relativamente ao transporte por suspensão verifica-se o transporte de populações granulométricas, principalmente a partir de $0,177 \mu\text{m}$ ($2,5\phi$) até à menor dimensão considerada correspondente a $0,063 \mu\text{m}$ (4ϕ). Em algumas amostras verifica-se este tipo de transporte mais cedo a partir $0,500 \mu\text{m}$ (1ϕ) como é o caso das amostras CA1-52 e CA1-53 (Gráfico D – Figura 5.68) que embora tenham sido recolhidas em época seca apresentam elevado potencial de transporte por suspensão, geralmente associado a consideráveis colunas de água, facto que poderá ser explicado devido à situação anómala do clima sentida no ano de amostragem (já referido e considerado como influenciador em alguns ensaios geoquímicos realizados).

Nesta área A1, tal como para as áreas A2 e A3, embora se possam extrair elações importantes sobre o processo sedimentar dos depósitos aluvionares, terá sempre de ser reconhecido que uma parte das populações granulométricas poderá não corresponder a um processo de transporte sedimentar seguindo o ciclo natural, podendo corresponder a processos introduzidos pela actividade antrópica no local; nestas áreas, particularmente na área A2, é do conhecimento terem sido depositados inúmeros materiais de aterro que se foram misturando com os sedimentos aluvionares ao longo do tempo. Dada a área A1 corresponder a toda a faixa marginal do córrego Consciência, a influência destes materiais de aterro terá sido menor que nas restantes áreas.

Para as áreas A2 e A3 (Figura 5.69), observam-se curvas cumulativas com, declives acentuados, afastadas (à semelhança das restantes áreas) da distribuição normal de *Gauss*. Sugerindo ocorrências de padrões unimodais (Figura 5.70 – Gráficos C e D), reduzido grau de seleção de populações granulométricas e possível introdução de elementos mais grosseiros relativamente às populações da moda principal (apresentando uma assimetria negativa marcada – Tabela 5.7), apontando ainda para uma ocorrência de material originário com diferentes classes texturais e mineralógicas. Uma parte dessa heterogeneidade poderá ter como origem o transporte das partículas sedimentares, através de diferentes processos de transporte e com diferentes condições energéticas. Contudo, o factor principal deverá ser a deposição de distintos materiais

de aterro que se foram acumulando e misturando com os materiais sedimentares naturais durante décadas.

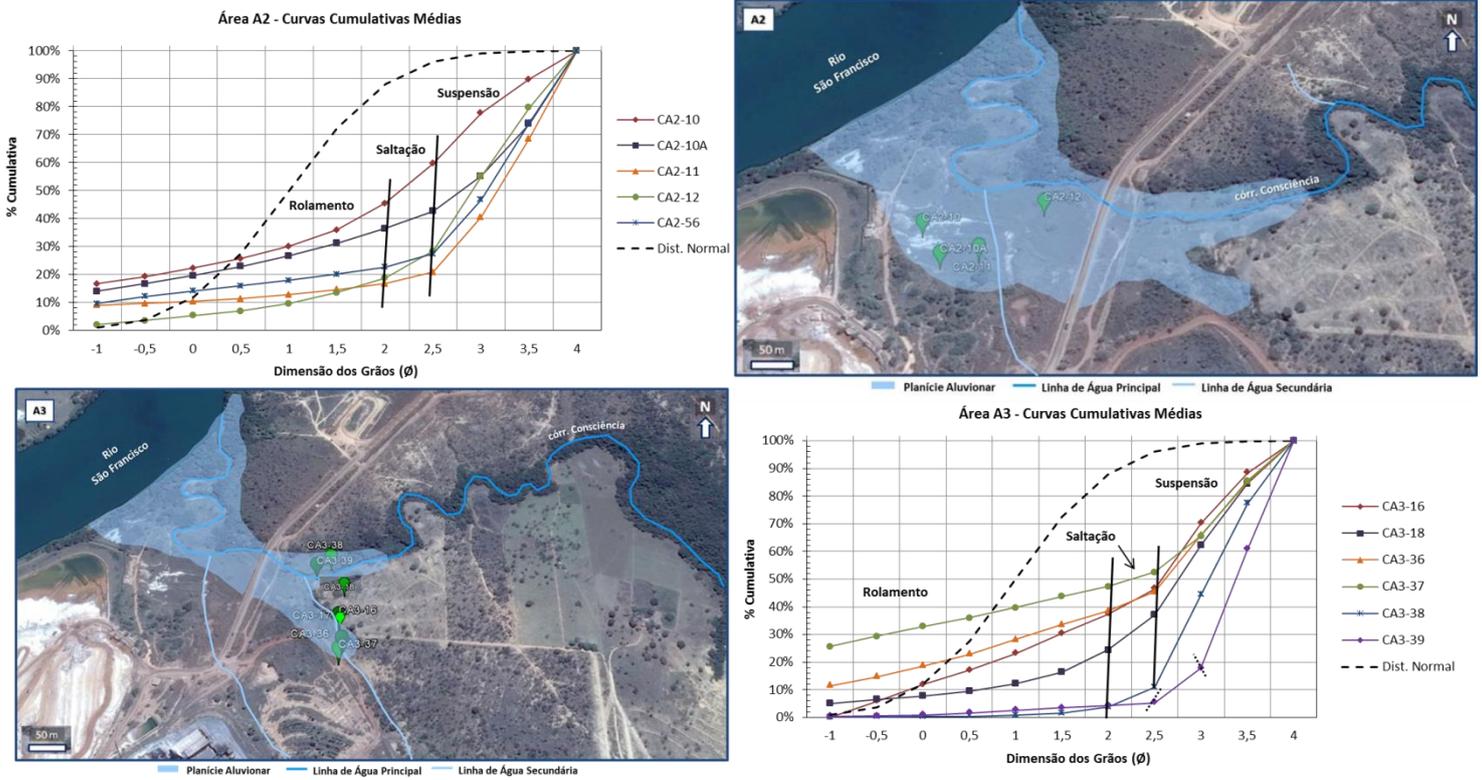


Figura 5.69: Curvas cumulativas médias da fracção arenosa e condições de transporte das várias dimensões constituintes das aluviões consideradas para as áreas A2 e A3. (A curva a tracejado representa uma distribuição normal de Gauss, estando as principais inflexões das curvas marcadas por linhas verticais (a cheio e tracejado), delimitando assim as principais condições de transporte segundo Visher (1969).

A calibração das aluviões desta área apresenta-se em geral fraca, relacionando-se possivelmente com a mistura de partículas grosseiras às populações finas de areia. Facto verificado através da maior percentagem de valores de assimetria negativa marcada (à excepção da amostra CA2-12 que apresenta assimetria negativa) (Tabela 5.7). No que se refere aos valores de curtose verifica-se, no geral uma melhor calibração da fracção arenosa na parte central da distribuição (distribuições leptocúrticas, muito leptocúrticas, mesocúrticas e muito mesocúrticas), para aluviões das duas áreas (Tabela 5.7 e Figura 5.69). Ocorrem no entanto amostras quer na área A2 (CA2-10 e CA2-10A), quer na área A3 (CA3-36 e CA3-37), com melhor distribuição nas extremidades da distribuição cumulativa (com distribuições platicúrticas e muito platicúrticas) (Tabela 5.7 e Figura 5.69).

Tabela 5.7: Valores médios dos parâmetros de Folk e Ward (1957) calculados para a fracção arenosa das aluviões da área A2 e A3. (L – Leptocúrtica, ML – Muito Leptocúrtica, P – Platicúrtica e MP – Muito Platicúrtica. Parâmetros classificados de acordo com as tabelas 3.1. 3.2 e 3.3 – Capítulo 3).

Amostra	Diâmetro Médio (escala Ø)	Desvio Padrão (escala Ø)	Assimetria (escala Ø)	Curtose (escala Ø)
Área A2				
CA2-10	1,483	1,782 (Mod. calibr.)	-0,427 (Neg. marcada)	0,828 (P)
CA2- 10 ^a	1,833	1,929 (Mal calibr.)	-0,555 (Neg. marcada)	0,669 (MP)
CA2-11	2,817	1,305 (Mal calibr.)	-0,613 (Neg. marcada)	2,008 (ML)
CA2-12	2,650	1,053 (Mal calibr.)	-0,126 (negativa)	1,414 (L)
CA2-56	2,417	1,542 (Mal calibr.)	-0,623 (Neg. marcada)	1,434 (L)
Área A3				
CA3-16	2,467	1,608 (Mal calibr.)	-0,663 (Neg. marcada)	2,689 (ML)
CA3-18	2,850	1,085 (Mal calibr.)	-0,612 (Neg. marcada)	1,885 (ML)
CA3-36	2,200	1,813 (Mal calibr.)	-0,785 (Neg. marcada)	0,738 (P)
CA3-37	1,583	1,875 (Mal calibr.)	-0,379 (Neg. marcada)	0,477 (MP)
CA3-38	3,167	0,570 (Mod. Bem calibr.)	-0,348 (Neg. marcada)	0,999 (M)
CA3-39	3,283	0,570 (Mod. Bem calibr.)	-0,283 (Neg. marcada)	1,332 (L)

No que se refere às inflexões representativas de cada processo de transporte, verifica-se que para as áreas A2 e A3 (Figura 5.69), estas se situam igualmente em diferentes populações dimensionais. Considerando-se transporte por rolamento até 0,250 µm (2Ø), por saltação entre 0,250 µm - 0,177 µm (2Ø - 2,5Ø), com a amostra CA3-39 a prolongar esse transporte até aos 0,125 µm (3Ø), e por suspensão a partir da dimensão 0,177 µm (2,5Ø) (0,125 µm (3Ø) para a amostra CA3-39) até à menor dimensão considerada correspondente a 0,063 µm (4Ø). A proporção de fracções transportadas por rolamento e saltação poderá inferir uma capacidade de transporte com alguma velocidade associada, que para as amostras da área A2 poderá dever-se a transporte eólico e a transporte por forte escorrência proveniente da fábrica, uma vez que esta área se encontra mais distante dos corpos hídricos principais e secundários e se localiza numa zona a cota mais baixa e muito próxima das áreas de laboração industrial. Situação diferente deverá ocorrer na área A3 onde as amostras foram recolhidas mais próximas ao córrego Consciência e à linha de água secundário que o aflui.

A análise dos sistemas de transporte nas três áreas através do traçado das curvas cumulativas, sugere que uma parte do material arenoso terá origem nos mesmos litótipos tendo sido transportado para as diferentes áreas, em períodos distintos, por acção de agentes de transporte hidrológicos e eólicos com intensidade variável. Há ainda que considerar, principalmente na planície aluvionar da área A2, a forte influência de depósitos de aterro, com granulometrias variadas e origens distintas.

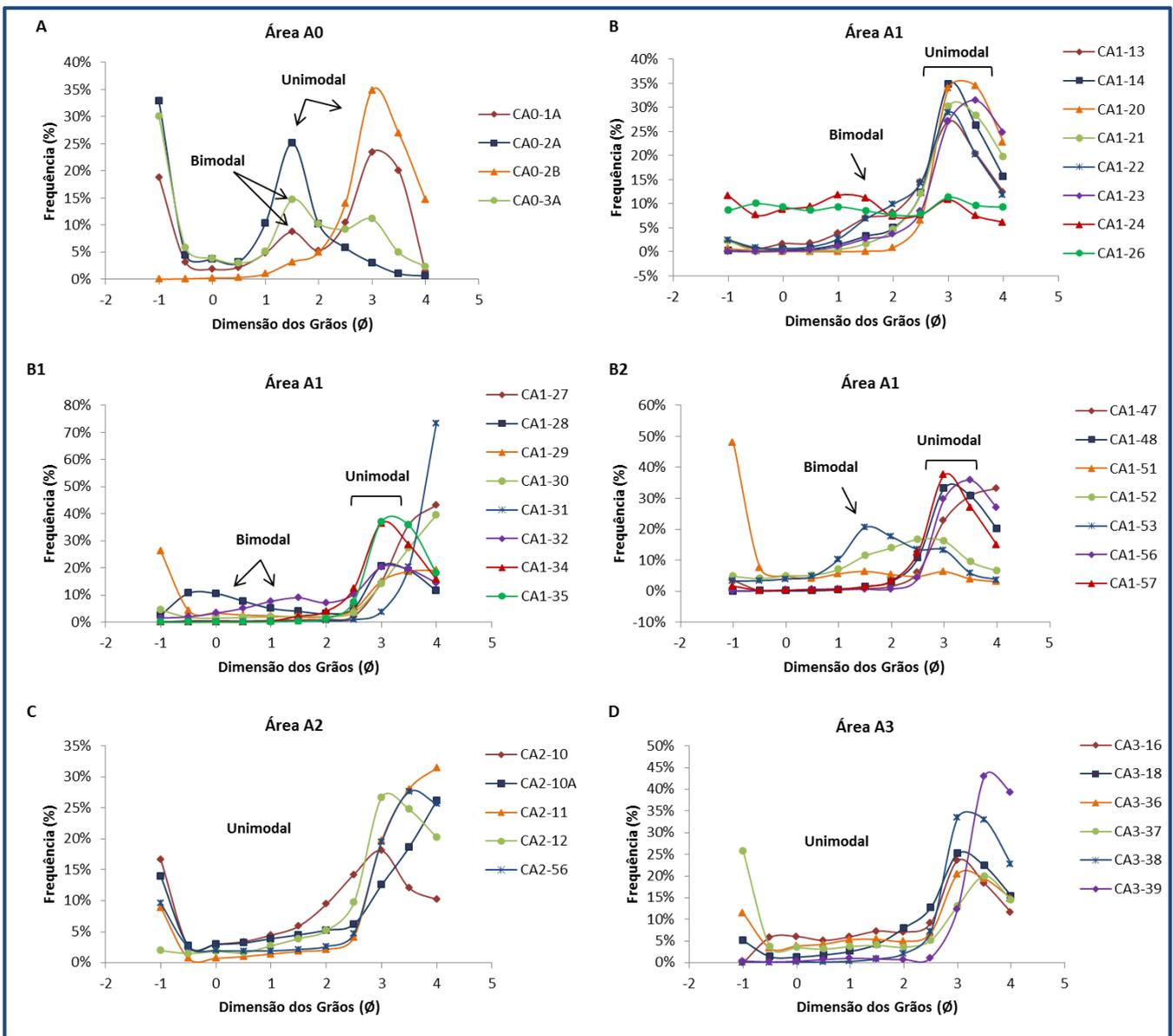


Figura 5.70: Distribuição modal da dimensão dos grãos relativamente à percentagem obtida para as áreas A1, A2 e A3.

Relativamente à comparação entre o desvio padrão e o diâmetro médio das partículas arenosas (Figura 5.71 – Gráfico A), verifica-se uma distribuição mais uniforme nas áreas A1, A2 e A3 (com diâmetros médios $2,45\phi$, $2,24\phi$ e $2,56\phi$ respectivamente) relativamente à área A0 (com diâmetro médio de $1,40\phi$). Os valores obtidos para as áreas A1, A2 e A3 correspondem à transição areia média/ areia fina. As aluviões fortemente unimodais em todas as áreas (à excepção da área A0 que apresenta amostras bimodais) situam-se preferencialmente nas classes de areia fina. A correlação entre o grau de seleção do material arenoso e a granulometria média, pode ser observado através do gráfico de correlação linear (Figura 5.71 - Gráfico A). Os valores de desvio padrão não diferem muito para as áreas A1, A2 e A3, o que explica, juntamente com a

uniformidade das classes modais, a semelhança do traçado das curvas cumulativas (Figura 5.68 e 5.69) das amostras pertencentes a essas áreas, contrariamente ao que sucede nas amostras da área A0. Esta diferença traduz mais uma vez a importante influência antrópica na área em estudo, sendo que a área A0, correspondente ao *background* geoquímico, traduzindo mais proximamente ao comportamento granulométrico de um sistema natural do que as restantes áreas abordadas.

Quando relacionada a assimetria com o diâmetro dos grãos (Figura 5.71 – Gráfico B), verifica-se a presença de uma assimetria maioritariamente negativa em todas as áreas com valores de R^2 muito deficientes apresentando, à semelhança do desvio padrão, uma distribuição muito heterogénea. Estes valores extremos de assimetria, segundo Folk e Ward (1957), surgem em consequência da introdução de elementos mais finos e mais grosseiros em relação às populações da moda principal, o que se poderá justificar mais uma vez pela acção antrópica fortemente sentida na área em estudo. A relação entre a assimetria e a dimensão dos grãos não é linear, facto que se poderá ser justificado pela geral má calibração das aluviões estudadas.

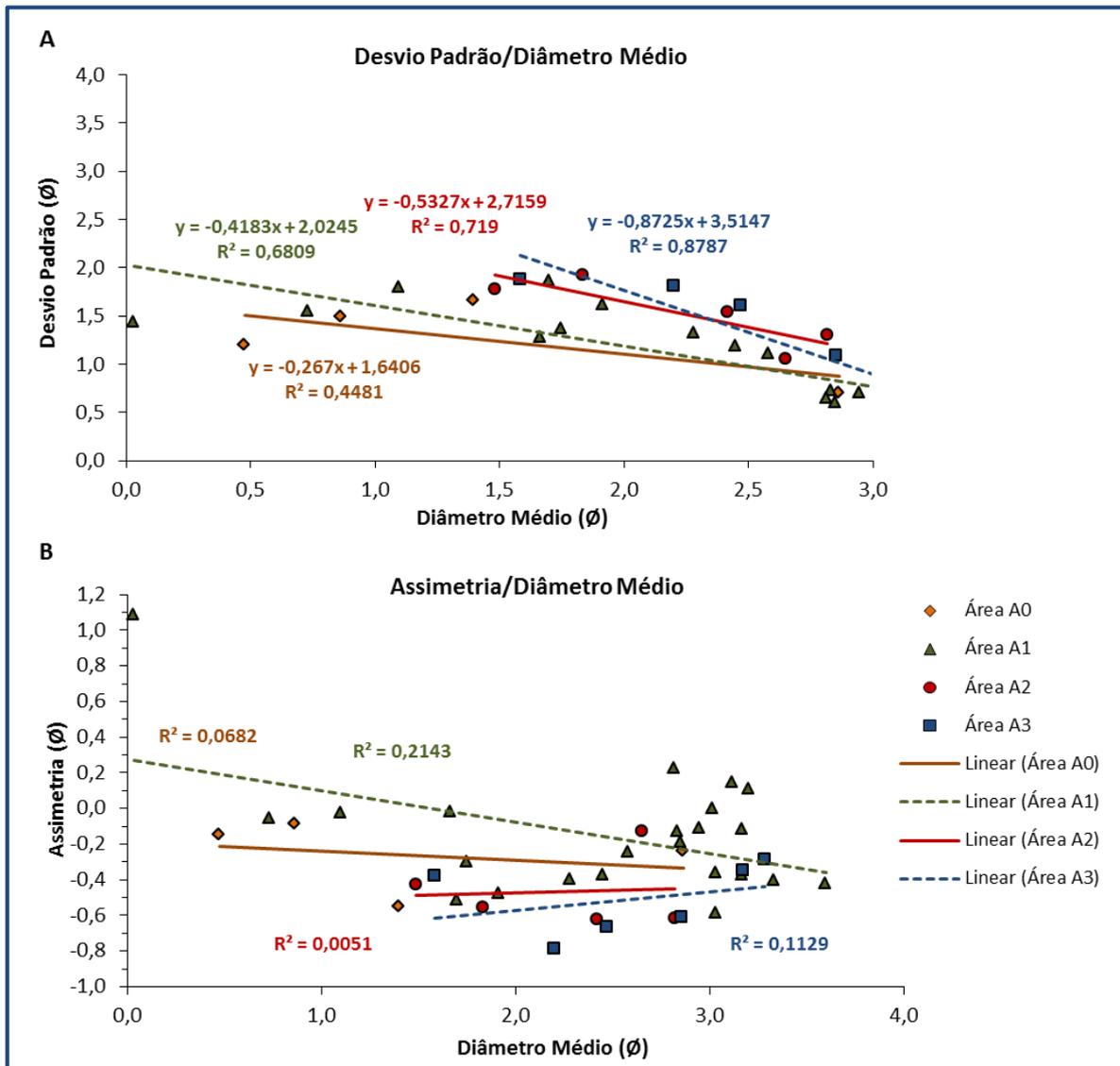


Figura 5.71: Correlação linear entre o desvio padrão e o diâmetro médio (Gráfico A) e entre a assimetria e o diâmetro médio das partículas arenosas (Gráfico B), das aluviões estudadas recolhidas nas áreas A0, A1, A2 e A3.

5.2.1.2. Classificação Textural das Amostras.

A determinação da textura corresponde a um importante parâmetro aquando a classificação de materiais para aplicação de diversas técnicas de tratamento e remediação ambiental, nomeadamente a dragagem desses materiais (OSPAR Commission, 2009; CONAMA, 2012). A análise textural permite uma primeira aproximação da coesão, do potencial de ressuspensão e velocidade de sedimentação dos materiais, o que permite inferir o potencial de acumulação de contaminantes (OSPAR Commission, 2009).

Assim, de forma à classificação das amostras em estudo, procedeu-se à projeção das percentagens de areia, silte e argila obtidas em diagrama triangular de *Shepard* (Pettijohn, 1975), estando as aluviões representadas por áreas na figura 5.72. Todos os resultados obtidos neste ensaio e a respectiva classificação encontram-se em Anexo (Anexo AI – Tabela AI.35).

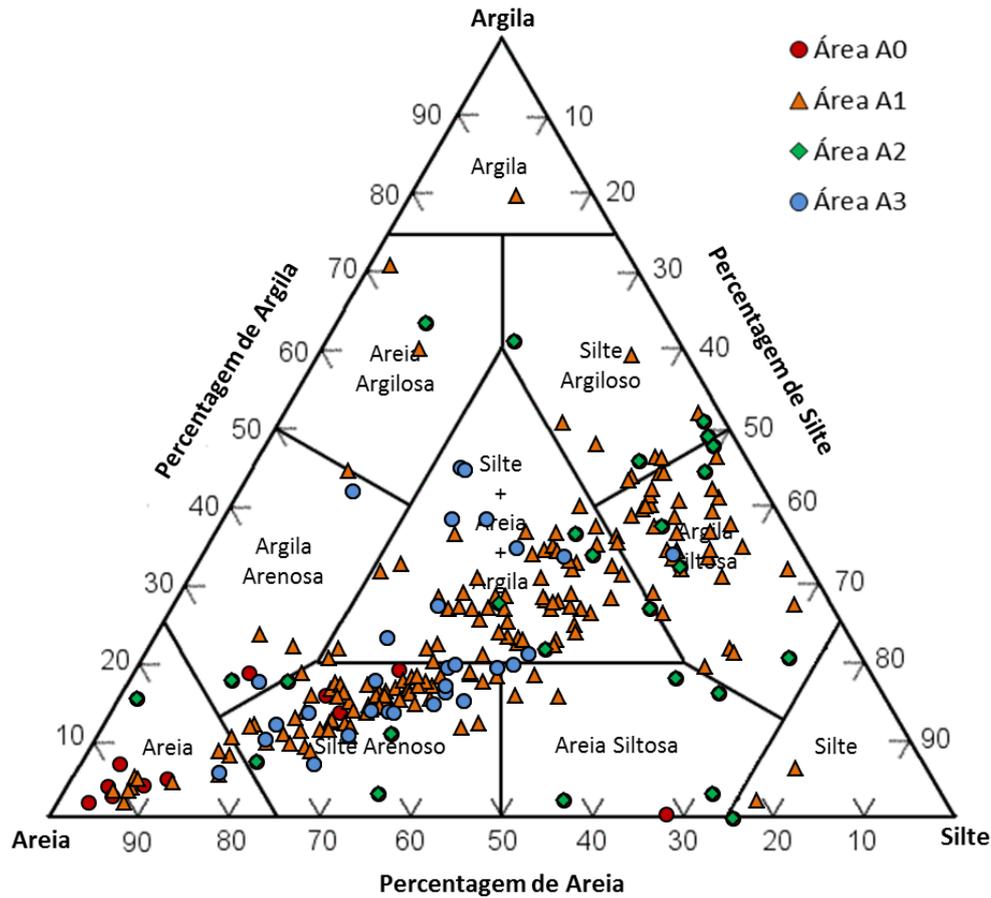


Figura 5.72: Classificação segundo o diagrama de *Shepard* para as aluviões da área em estudo.

De acordo com o diagrama de *Shepard* (Figura 5.72), foram identificadas menores percentagens de areia comparativamente com a fracção siltosa e argilosa identificada nas amostras, sendo estas as fracções predominantes.

Assim, de forma geral foram identificadas três classes texturais nas amostras analisadas: arenosa, siltosa e argilosa, sendo as duas últimas as fracções dominantes. As fracções siltosas e arenosas analisadas na fracção inferior a 63 μm revelaram a textura preferencialmente fina dos materiais sedimentares. As amostras seguem assim uma tendência similar nas áreas A1, A2 e A3 (Figura 5.72), prevalecendo classificações entre o Silte Arenoso e a Argila Siltosa.

Esta variabilidade poder-se-á dever ao clima local, demarcado por um regime pluviométrico muito variável ao longo do ano do qual se poderá esperar uma maior arraste de fracções mais arenosas (ou até cascalhentas) nas épocas mais chuvosas, aquando do extravasamento do córrego do seu leito ordinário e do aumento do caudal, e depositação de fracções mais siltosas ou silto-argilosas, em épocas mais secas, onde o caudal do córrego e potencial de transporte de materiais será menor. Esta dispersão será ainda causada pela intensa actividade antrópica, principalmente na planície aluvionar da área A2, onde ocorreu durante algumas décadas a deposição de material de aterro com origens diversas, e que ao longo do tempo, foi sendo misturado com os materiais sedimentares transportados pelo córrego Consciência nos períodos de maior precipitação e com os materiais provenientes das escorrências da fábrica.

5.2.2. Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade

A porosidade e a densidade aparente correspondem a características importantes aquando a classificação de materiais contaminados, especialmente se a sua estratégia de remediação passar pela sua dragagem. Parâmetros estes que, aliados à percentagem de argila, fornecem dados relevantes referentes à consolidação do material, facto de elevada importância aquando da escolha da metodologia de remediação a adoptar (OSPAR Commission, 2009).

Assim, realizou-se a comparação da porosidade das amostras com o seu teor em argila, de forma a verificar a existência ou não de uma correlação entre os dois parâmetros. Os resultados obtidos encontram-se graficamente representados nas figuras 5.73 e 5.74.

De acordo com as figuras 5.73 e 5.74, é possível estabelecer-se uma relação entre estes dois parâmetros. Assim, com o aumento da percentagem de argila verifica-se uma tendência para o aumento da porosidade e vice-versa, revelando a ocorrência de micro-porosidade (porosidade relacionada com os microporos e menos acessível à absorção de água pelas plantas). Este comportamento é observado em todas as áreas estudadas, no entanto nem sempre notório uma vez que, para além da percentagem de argila, as percentagens de balastro, areia e silte (macro-porosidade), o grau de empacotamento, e a sua forma (relacionado directamente com o seu transporte sedimentar) influenciam a porosidade de uma dada amostra (Sander, 2002).

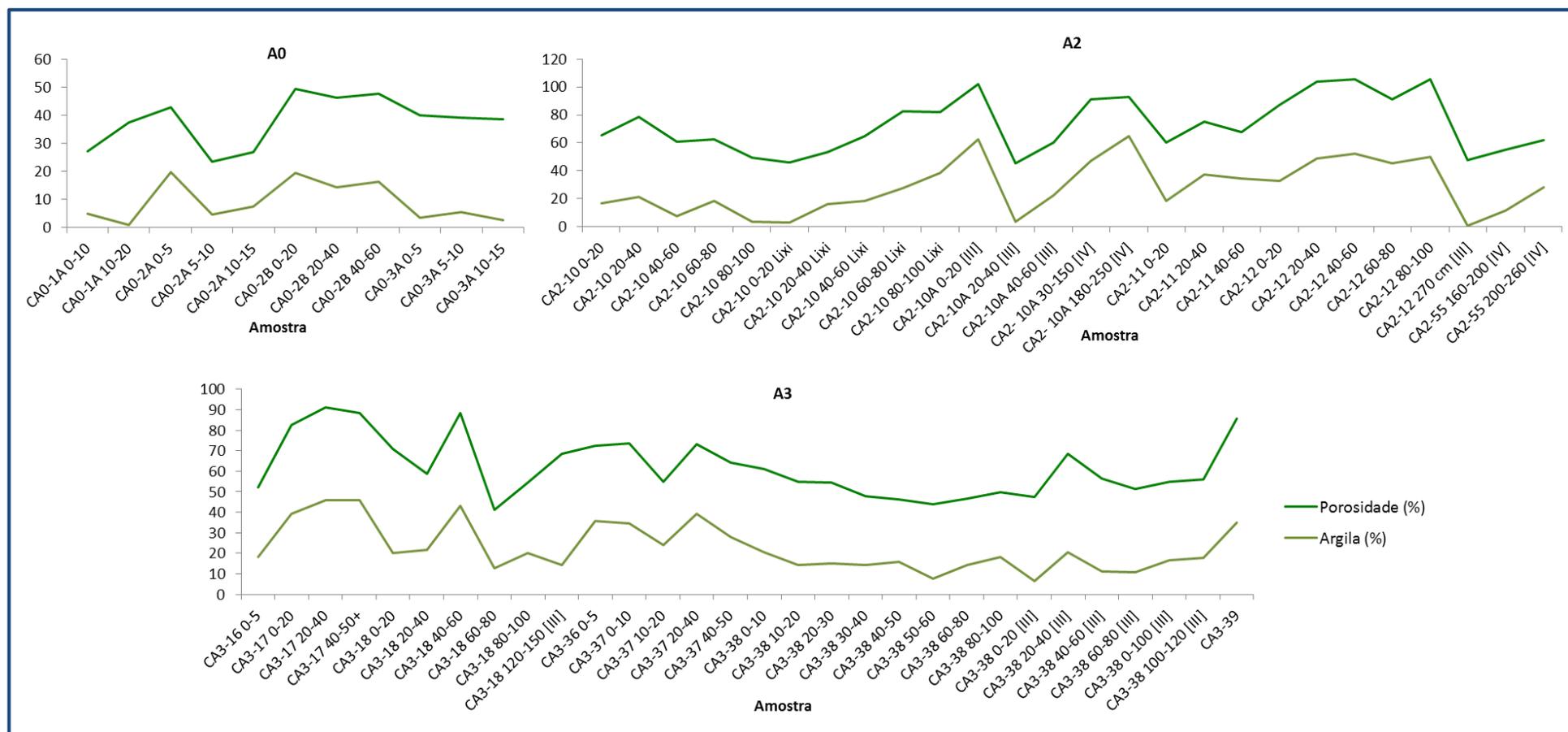


Figura 5.73: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nas aluviões das áreas A0, A2 e A3.

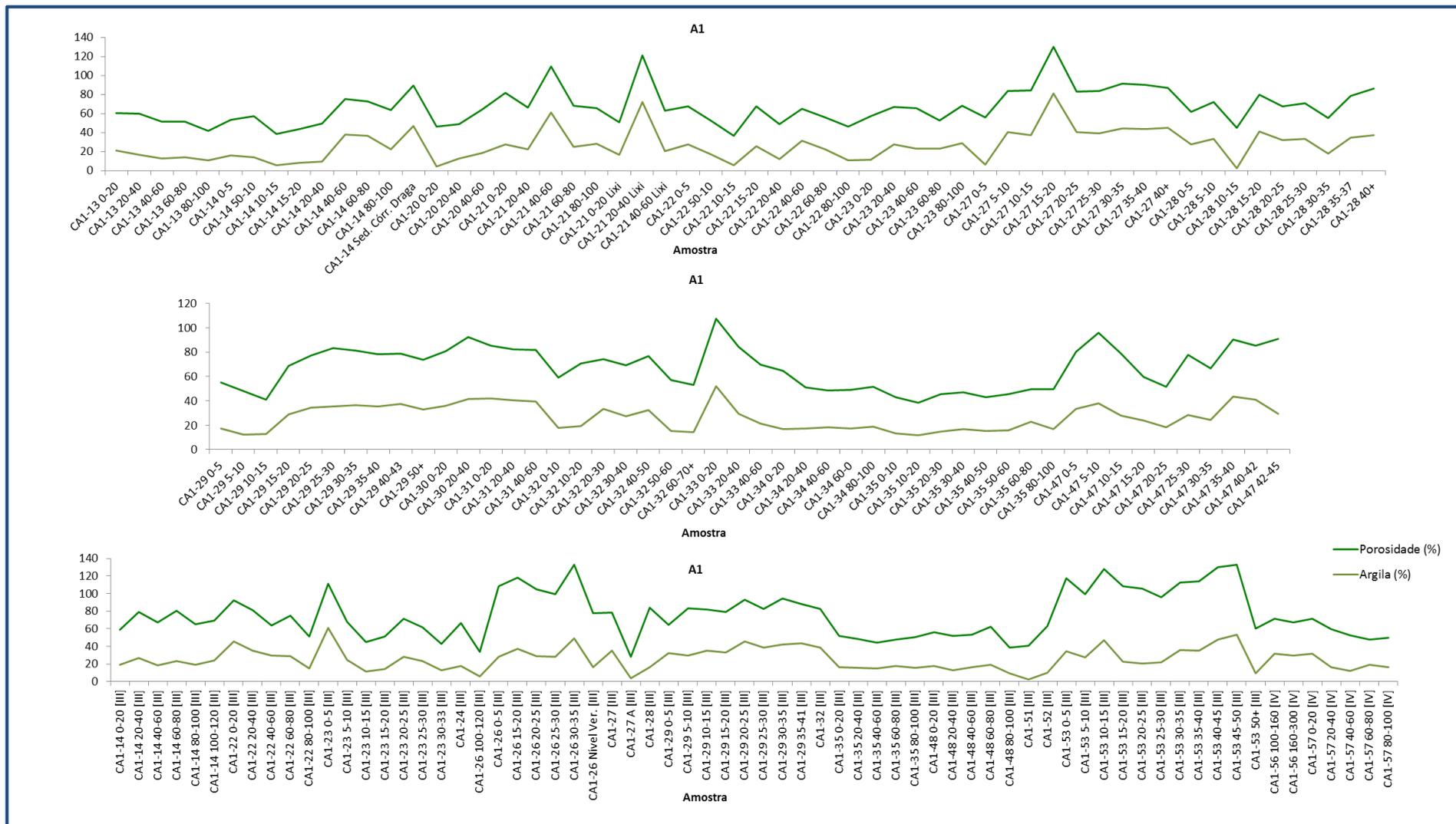


Figura 5.74: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nas aluviões para a área A1.

Tendo em conta os valores de porosidade e percentagem de argila nas aluviões, realizou-se a interpolação das percentagens médias dos dois parâmetros para a zona aluvionar de forma a se tornar mais perceptível a distribuição espacial média destes parâmetros. Esta interpolação média encontra-se representada na figura 5.75 onde a imagem a) corresponde à distribuição média da porosidade e a imagem b) à distribuição média da percentagem de argila determinadas nas aluviões.

A distribuição espacial representada na figura 5.75 a) permitiu verificar que os valores máximos de porosidade concentraram-se na área A2, devido à elevada influência de actividade antrópica relacionada com o despejo de matérias de aterro que ao longo do tempo se misturaram com os sedimentos que se foram depositando e os provenientes da subida de caudal do córrego Consciência e da lixiviação de materiais vindos da actividade da fábrica.

Os materiais que apresentam os segundos maiores valores de porosidade localizam-se na área A1, o que poderá ser explicável pela contínua deposição de material sedimentar transportado pelo córrego ao longo dos ciclos de maior caudal do rio, algum do qual poderá ser de novo ressuspensão e transportado pela linha de água para zonas mais a jusante. Desta forma, pela contínua deposição e remobilização, os materiais ficam com um menor grau de compactação e, conseqüentemente, uma menor porosidade.

A distribuição espacial da percentagem de argila (Figura 5.75 b)), vem confirmar a tendência já descrita quanto à porosidade uma vez que os materiais mais argilosos apresentam uma distribuição entre 25-30% nas áreas A1 e A2, o que influencia directamente os valores de porosidade obtidos. Estes materiais por apresentarem uma textura muito fina suportam ainda a hipótese de ressuspensão e posterior transporte pela linha de água mais a jusante, o menor grau de compactação e a conseqüente menor porosidade.

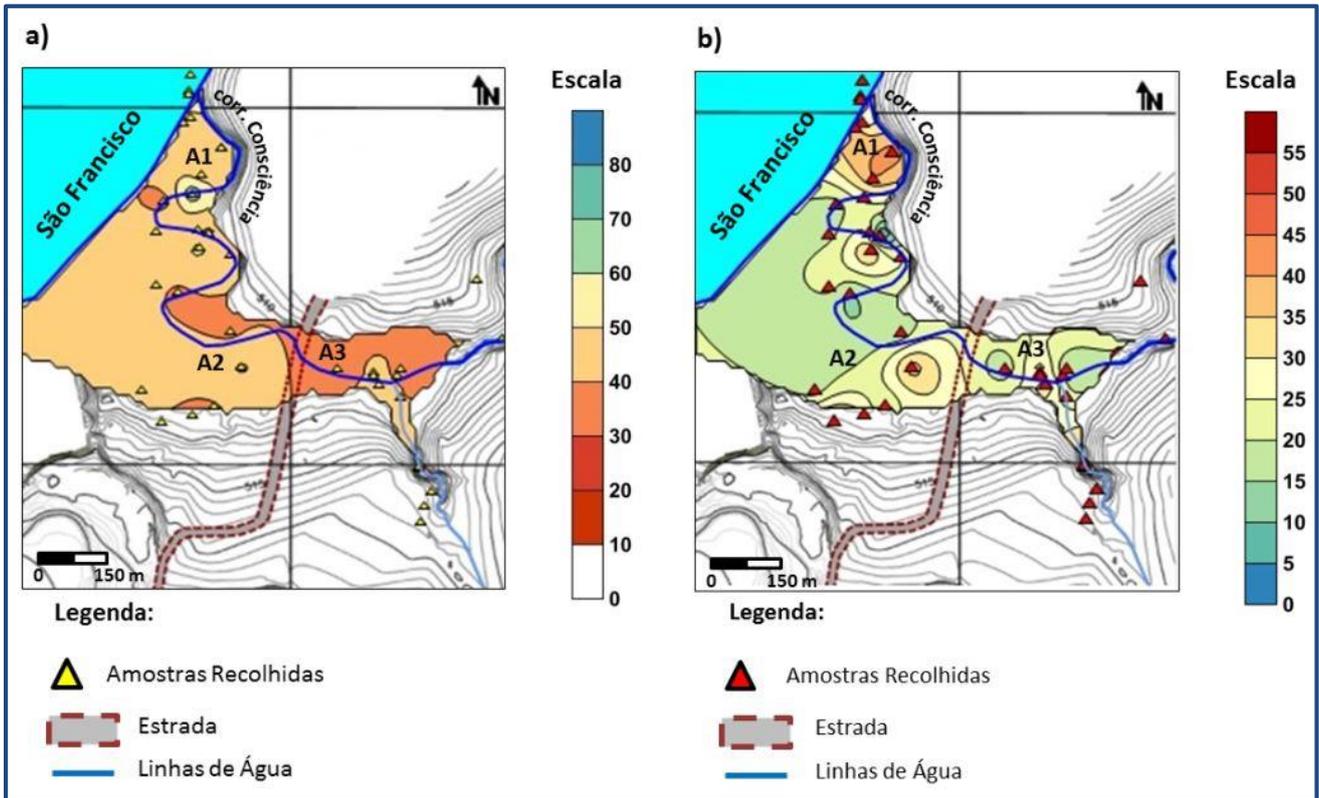


Figura 5.75: Distribuição espacial da porosidade média em percentagem (à esquerda – a) e percentagem média de argila (à direita – b)) para a zona aluvionar.

5.2.3. Condutividade Hidráulica Saturada (Permeabilidade)

Como já verificado através da análise das águas intersticiais, os elementos metálicos sob a forma solúvel ou associados a partículas coloidais em suspensão, podem evoluir em profundidade ao longo da coluna sedimentar (Tack, 2010). Este transporte de solutos em fase líquida nos solos sofre influência dos processos de advecção e dispersão hidrodinâmica (Van *et al.*, 1976, *in* Smith, 1986). O processo de advecção favorece o movimento de elementos químicos dissolvidos ou sob a forma de partículas em suspensão juntamente com a solução, assim a quantidade de elementos transportados depende da concentração dos mesmos nas águas intersticiais e da velocidade da massa de água em movimento. Deste modo, o processo de advecção permite o transporte diferenciado de contaminantes, a diferentes velocidades, de acordo com as características de cada camada sedimentar. Por sua vez, a dispersão hidrodinâmica resulta do efeito combinado da difusão molecular e da dispersão mecânica, sendo causada pelo movimento *Browniano* das partículas (os contaminantes na água tendem a migrar, por difusão das zonas com maior concentração para zonas de menor concentração). A dispersão mecânica, fortemente influenciada

pela forma das partículas dos solos ou materiais sedimentares, permite que partículas individuais sigam diferentes trajetórias na estrutura porosa dos materiais.

A advecção é um mecanismo determinado pela condutividade hidráulica, a qual depende principalmente da estrutura e textura dos materiais. Contudo, existem outros parâmetros que influenciam o movimento dos metais em solução, nomeadamente, a composição mineralógica e o teor em componentes orgânicos, os quais, dependendo da sua natureza, poderão oferecer mais ou menos superfícies para a adsorção dos metais, diminuindo assim, a sua migração em profundidade. Assim, enquanto a porosidade corresponde à medição do espaço vazio existente entre as partículas dos solos, a permeabilidade (ou condutividade hidráulica) quantifica a capacidade que os materiais têm de passar a água através dos seus poros, em condições de saturação, dependendo da forma e dimensão dos poros e da interconexão entre eles. Em materiais aluvionares, não consolidados, o principal mecanismo de fluxo é o fluxo intergranular (Lewis *et al.*, 2006)

De forma a avaliar o risco de migração de metais pesados na zona aluvionar foi determinada a condutividade hidráulica em condições de saturação (K_s) em amostras aluvionares perturbadas. Embora este ensaio tenha sido realizado em quase todas as amostras, existiram algumas, em especial as amostras de aluvião provenientes das colunas sedimentares recolhidas no leito do córrego, que por não possuírem quantidade suficiente, não puderam ser realizadas. Todos os resultados obtidos pelos ensaios de permeabilidade encontram-se em Anexo (Anexo AI - Tabela AI.38).

Tendo em conta a relação entre a permeabilidade e a porosidade, procedeu-se à comparação das percentagens obtidas para os dois parâmetros, encontrando-se nas figuras 5.76 e 5.77 o resultado dessa comparação. Assim verifica-se uma correlação notória entre os dois parâmetros, sendo a evolução da permeabilidade realizada em função da porosidade e vice-versa, com permeabilidades mais reduzidas em amostras que apresentam menor porosidade (principalmente na área A1 – Figura 5.77). Nas restantes áreas (A0, A2 e A3 – Figura 5.76) verifica-se que, para algumas amostras, os valores de permeabilidades mais elevadas correspondem a amostras com porosidades mais reduzidas, podendo dever-se à granulometria mais grosseira dessas amostras, uma vez que a porosidade é tanto mais reduzida quanto menor for a granulometria presente.

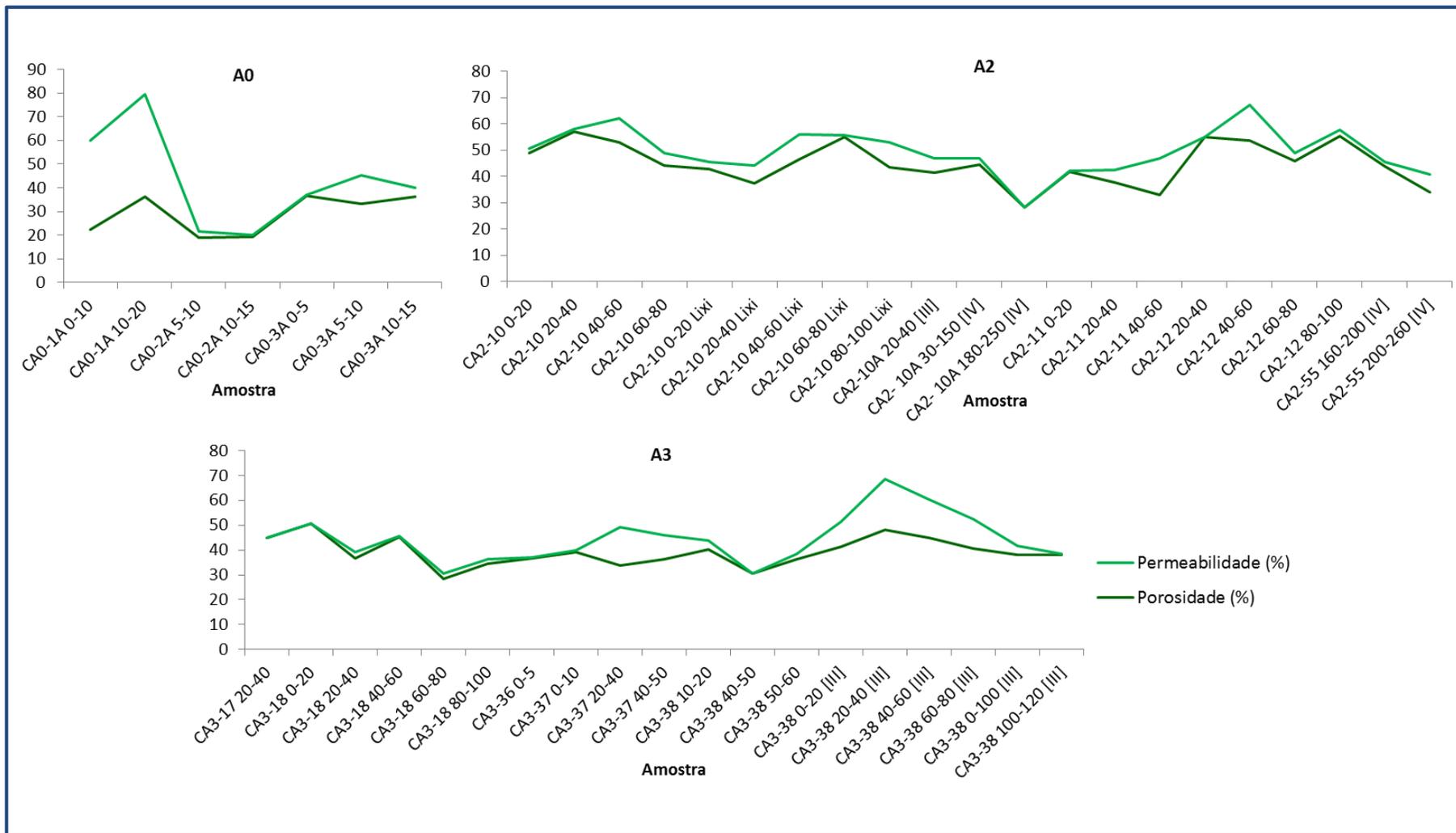


Figura 5.76: Relação entre a permeabilidade e a porosidade aluviões nas áreas A0, A2 e A3.

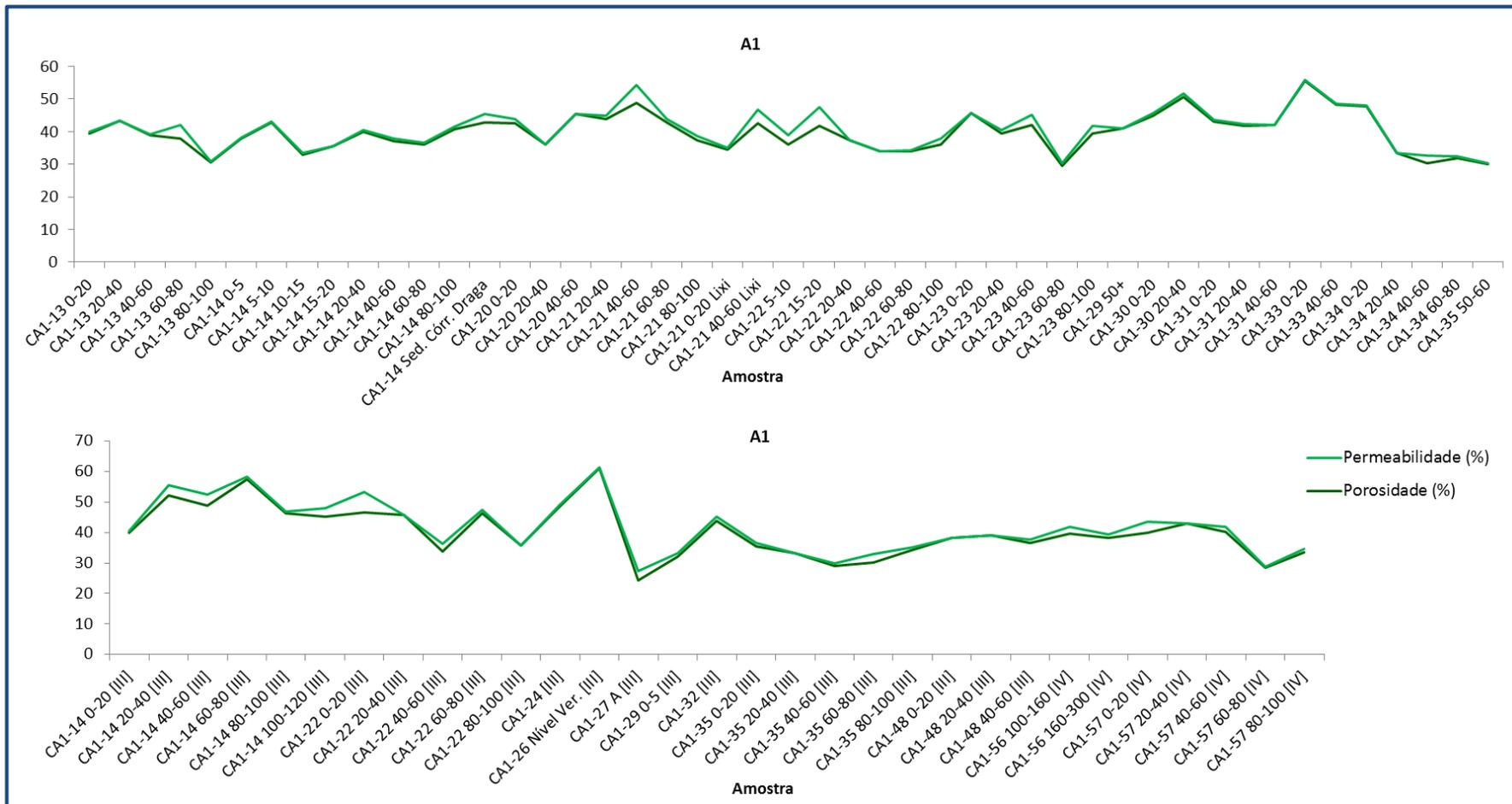


Figura 5.77: Relação entre a permeabilidade e a porosidade aluviões na áreaA1.

Assim, e tendo em conta os valores de permeabilidade e porosidade nas aluviões, realizou-se a interpolação das percentagens médias dos dois parâmetros para a zona aluvionar de forma a se tornar mais perceptível a distribuição espacial média destes parâmetros. Esta interpolação média encontra-se representada na figura 5.78 onde a imagem a) corresponde à distribuição média da permeabilidade e a imagem b) à distribuição média da porosidade determinadas nas aluviões.

A distribuição espacial representada na figura 5.78 a) permitiu verificar que os valores mais elevados de permeabilidade concentraram-se na área A2, tal como os valores de porosidade (Figura 5.78 b)), devido principalmente à forte influência antrópica que incluem o despejo de matérias de aterro, misturados ao longo do tempo como sedimentos autóctnes. Como já seria de esperar, na área A1 verificam-se igualmente permeabilidades elevadas, principalmente junto às margens do córrego Consciência (Figura 5.78 a)), sendo este comportamento relacionado com a sedimentação transitória que ocorre nas margens do córrego. Este comportamento está directamente relacionado com a porosidade nesta área (Figura 5.78 b)), anteriormente descrito.

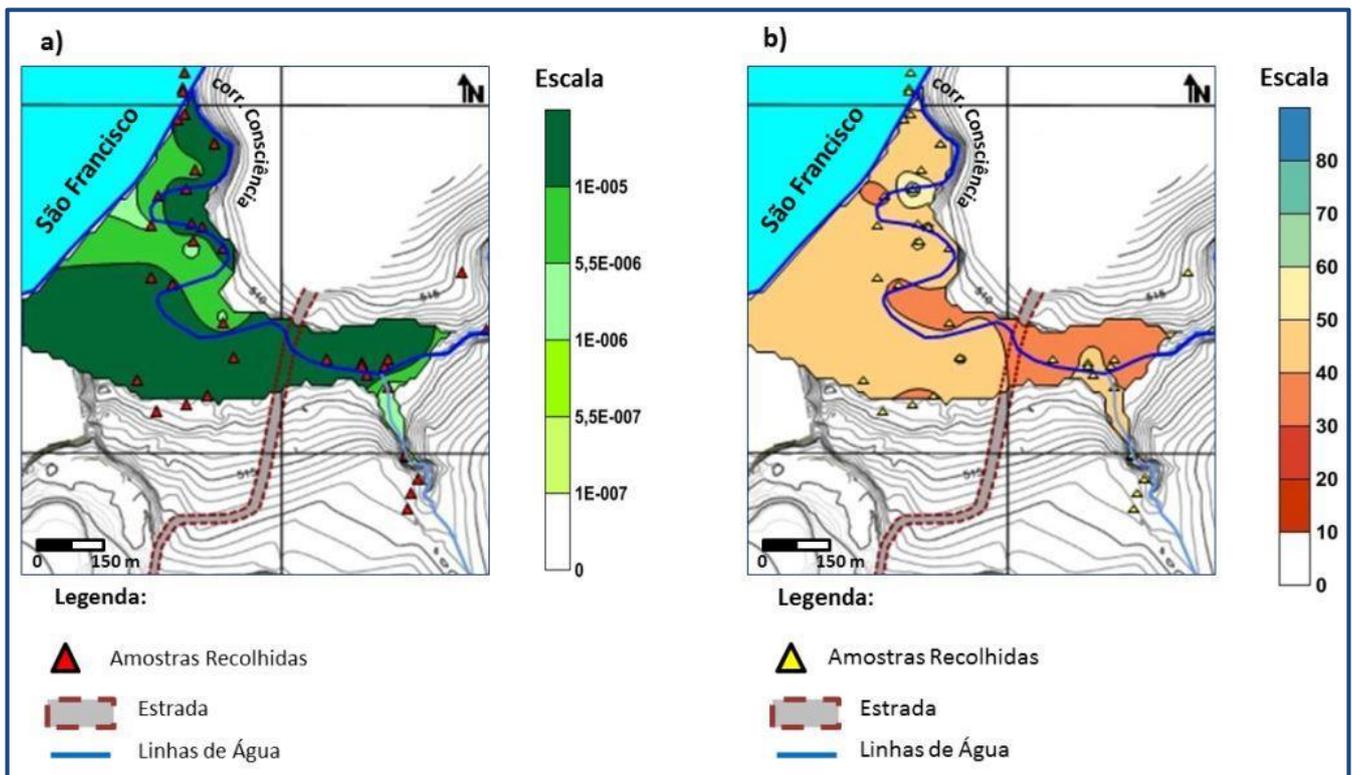


Figura 5.78: Distribuição espacial da permeabilidade média (à esquerda – a)) e porosidade média (à direita – b)) para a zona aluvionar.

5.2.4. Caracterização Mineralógica

Foram escolhidas algumas amostras, distribuídas pelas quatro áreas de estudo (A0-A3), pelos diferentes períodos de amostragem, selecionadas com base na composição química e correspondentes a várias profundidades amostradas, para a identificação dos principais constituintes minerais, incluindo fases minerais primárias e secundárias associadas aos elementos metálicos, principais minerais argilosos e óxidos Fe-Al. Este estudo pretendeu conhecer a dinâmica dos elementos metálicos permitindo avaliar a sua especiação e biodisponibilidade no meio.

O estudo mineralógico teve dois principais objectivos:

- 1) A identificação e caracterização dos componentes mais activos das aluviões que se concentram preferencialmente na fracção mais fina, representados por minerais argilosos a que se associam frequentemente óxidos de Fe e Al. Estes minerais, resultantes dos processos de meteorização dos minerais primários das rochas que constituem o soco da região, pela sua pequena dimensão e forte carácter electronegativo, são responsáveis pela maioria dos fenómenos de adsorção e solubilização dos elementos metálicos. Dependendo da sua natureza, que influi na sua capacidade de retenção iónica, os metais poderão ficar mais ou menos imobilizados. No caso de existirem minerais argilosos com forte capacidade de adsorção, os metais poderão ficar fortemente retidos à superfície destes filossilicatos ou no espaço inter-folhetos, diminuindo a sua passagem para a fase aquosa e, conseqüentemente, diminuindo a sua perigosidade ambiental. Contudo, poderá ocorrer a possibilidade, quando os locais de adsorção em redor das partículas ficam saturados, de libertarem iões H^+ retidos no seu complexo de troca, provocando a diminuição do pH com o conseqüente aumento da solubilidade dos metais que passam para a fase aquosa.
- 2) Identificação de fases minerais primárias ou secundárias, portadoras de metais contaminantes. De entre estas, procuraram-se identificar sulfuretos de diferente natureza, dado pertencerem a esta classe mineral, uma parte do minério que é processado na unidade industrial local. A existirem concentrados em partículas nas aluviões, os sulfuretos poderão ter origem em resíduos de materiais provenientes da laboração da fábrica ou poderão constituir sulfuretos secundários, formados por redução dos sulfatos libertados pelos processos de oxidação do minério no processamento metalúrgico. Relativamente a este segundo processo químico, como consequência de i) existência simultânea de elevadas concentrações de sulfatos e de metais solúveis, ii) do balanço hídrico desta região, onde a taxa de evaporação é superior à taxa de precipitação, iii) do

baixo hidrodinamismo e baixa profundidade dos cursos de água que apresentam características de transição entre um sistema lótico e um sistema lêntico, iv) da existência de extensas planícies aluvionares com sedimentos finos, com níveis de humidade constante na quase totalidade da sua espessura, poderão ser criadas condições de redução que poderão levar à transformação dos sulfatos por ligação aos catiões metálicos móveis, formando sulfuretos metálicos, secundários.

Qualquer que seja a natureza dos sulfuretos presentes (primários ou secundários), em condições aquosas e oxidantes, decompõem-se rapidamente, libertando os metais pesados para a solução e produzindo hidrogeniões H^+ , responsáveis pela acidificação do meio. A diminuição do pH poderá ainda facilitar a solubilização de metais que estavam ligados a outras fases minerais tais como óxidos e hidróxidos de Fe. Em virtude destes mecanismos de oxidação, a existirem nas aluviões em estudo, os sulfuretos possivelmente não ocorrerão nas zonas do córrego Consciência mais junto à foz, onde a coluna de água é maior e existe maior energia hidráulica.

Assim, em consequência da natureza mineralógica, os materiais sedimentares depositados no córrego Consciência ou nas planícies aluvionares, poderão funcionar: (1) como armadilhas aos metais pesados, uma vez que estes poderão ficar adsorvidos à superfície de partículas mais finas, precipitados ou co-precipitados em óxidos e sulfuretos mas, também, (2) como fontes, dado que qualquer modificação física, química ou biológica que ocorra neste sistema, poderá libertar os elementos metálicos retidos e aumentar substancialmente os seus teores na massa de água.

Assim para a identificação e caracterização dos minerais presentes, utilizaram-se duas técnicas de análises mineralógicas:

- Estudo petrográfico e mineralógico realizado na fracção arenosa ($> 63 \mu m$) de aluviões ricos em Zn e Fe.
- Difraccção de raios-X em dois tipos de amostra aluvionares: i) fracção argilosa (inferior a $2 \mu m$) e ii) fracção inferior $63 \mu m$.

5.2.4.1. Petrografia e Mineralogia da Fracção Arenosa

A descrição petrográfica e mineralógica da fracção arenosa (> 63 µm) de algumas aluviões da área em estudo teve como objectivo a identificação de possíveis fases portadoras de metais contaminantes (nomeadamente Zn, Cd, Pb e As). Assim, segue-se em seguida a descrição mais pormenorizada das amostras estudadas.

Este estudo petrográfico foi efectuado pela Prof.^a Isabel Ribeiro da Costa, do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) e membro da equipa do projecto em que a tese se insere.

❖ Amostra CA1-14 (80-100 cm)

A amostra observada apresenta essencialmente fases minerais resultantes da desagregação e alteração de rochas parentais (Figura 5.79), onde se destacam minerais de quartzo, na forma de grãos relativamente bem rolados, de dimensão fina e média, alguns grãos de pequena dimensão de feldspato-K, anédricos e sub-rolados, finas lamelas de moscovite e Fe-biotite (Biotite ferromagnésiana), esta última por vezes cloritizada (Figura 5.79 - A), formando pequenos agregados associados a quartzo ou a feldspatos, com algum material argiloso/sericítico a envolver os grãos quartzo e clorite, contendo por vezes inclusões de barite (Figura 5.79 - B) e óxidos de ferro (~5%), essencialmente de dimensão fina, correspondendo a magnetite. Foram ainda identificados como fases contaminantes minerais de Willemite (silicato de Zn – Figura 5.79 - C).

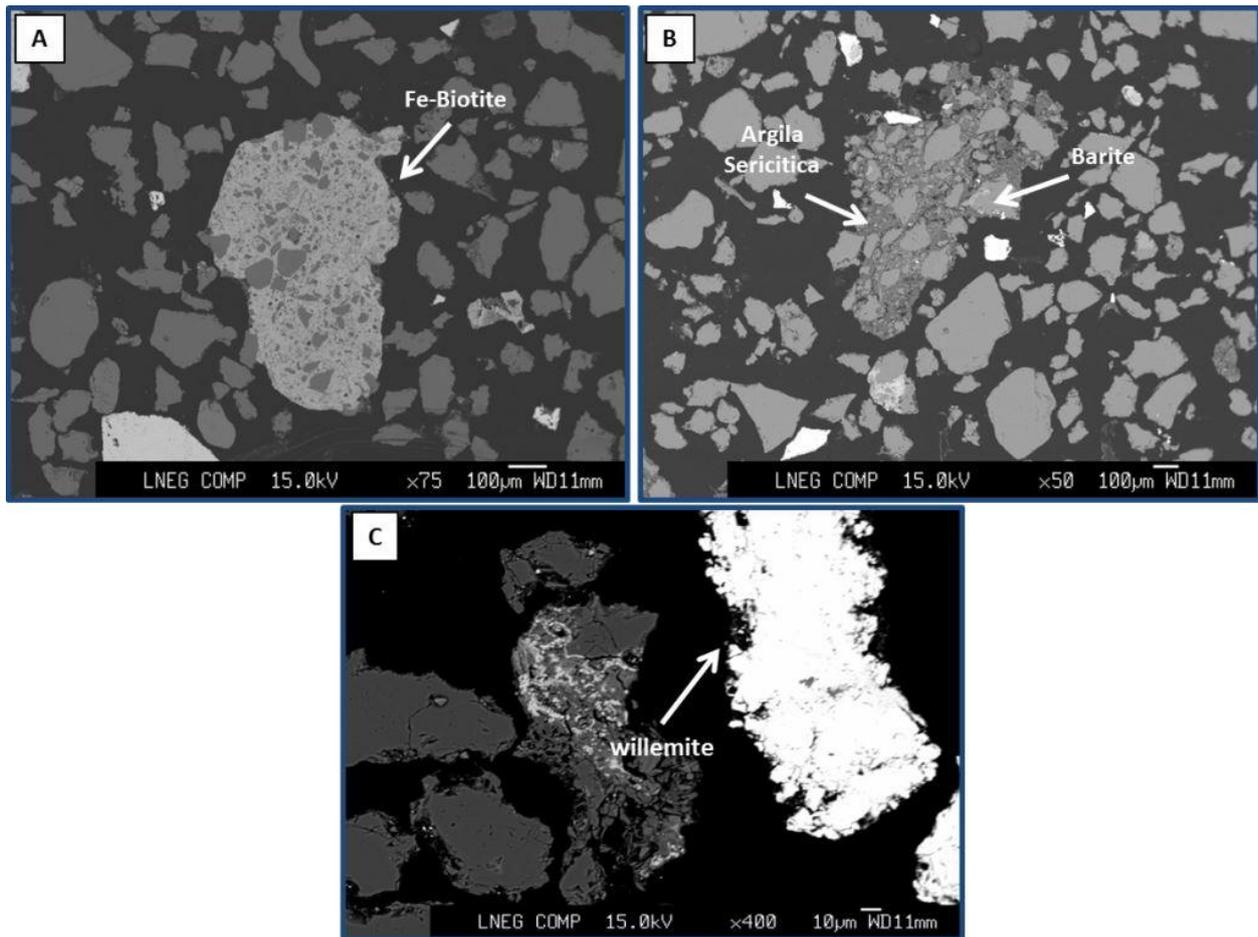


Figura 5.79: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA1-14 (80-100 cm).

❖ Amostra CA1-26 (0-20 cm)

A amostra observada apresenta essencialmente fases minerais resultantes da desagregação e alteração de rochas parentais, onde se destacam minerais de quartzo abundantes, na forma de grãos relativamente bem rolados, de dimensão fina e média, raros grãos de feldspato-K e de albite (de pequena dimensão), com formas anédricas e sub-rolados. Foram ainda identificados como fases contaminantes minerais de Willemite (silicato de Zn – Figura 5.80) mais frequente do que na amostra anterior, predominando as formas angulosas.

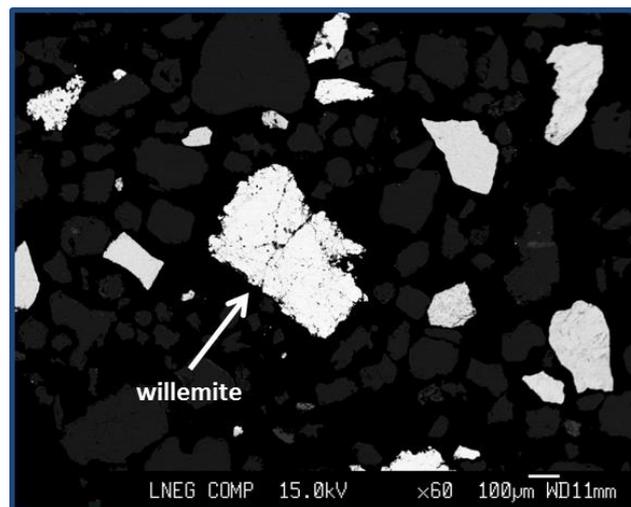


Figura 5.80: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA1-26 (0-20 cm).

❖ **Amostra CA1-29 (0-5 cm)**

A amostra observada apresenta essencialmente fases minerais resultantes da desagregação e alteração de rochas parentais, destacando-se como principais constituintes o quartzo (abundante), em grãos relativamente bem rolados, de dimensão fina e média, alguns grãos de pequena dimensão, anédricos/sub-rolados, de feldspato-K, alguns carbonatos (Figura 5.81 - B). Apresenta ainda zircão (com frequente abundância), por vezes de dimensão média, ocasionalmente grão de estauroilite (Figura 5.81 - C), óxidos de ferro, essencialmente de dimensão fina a média (correspondendo a magnetite), por vezes com os bordos/limites oxidados para hematite, ocorrência ainda de ilmenite, por vezes apresentando exsoluções de magnetite (Figura 5.81 - A) e algumas inclusões de cromite em grãos de quartzo.

Foram ainda identificados como fases contaminantes minerais de Willemite (silicato de Zn) mais frequente do que na amostra anterior, predominando as formas angulosas, frequentemente contendo inclusões de Pb (provavelmente galena).

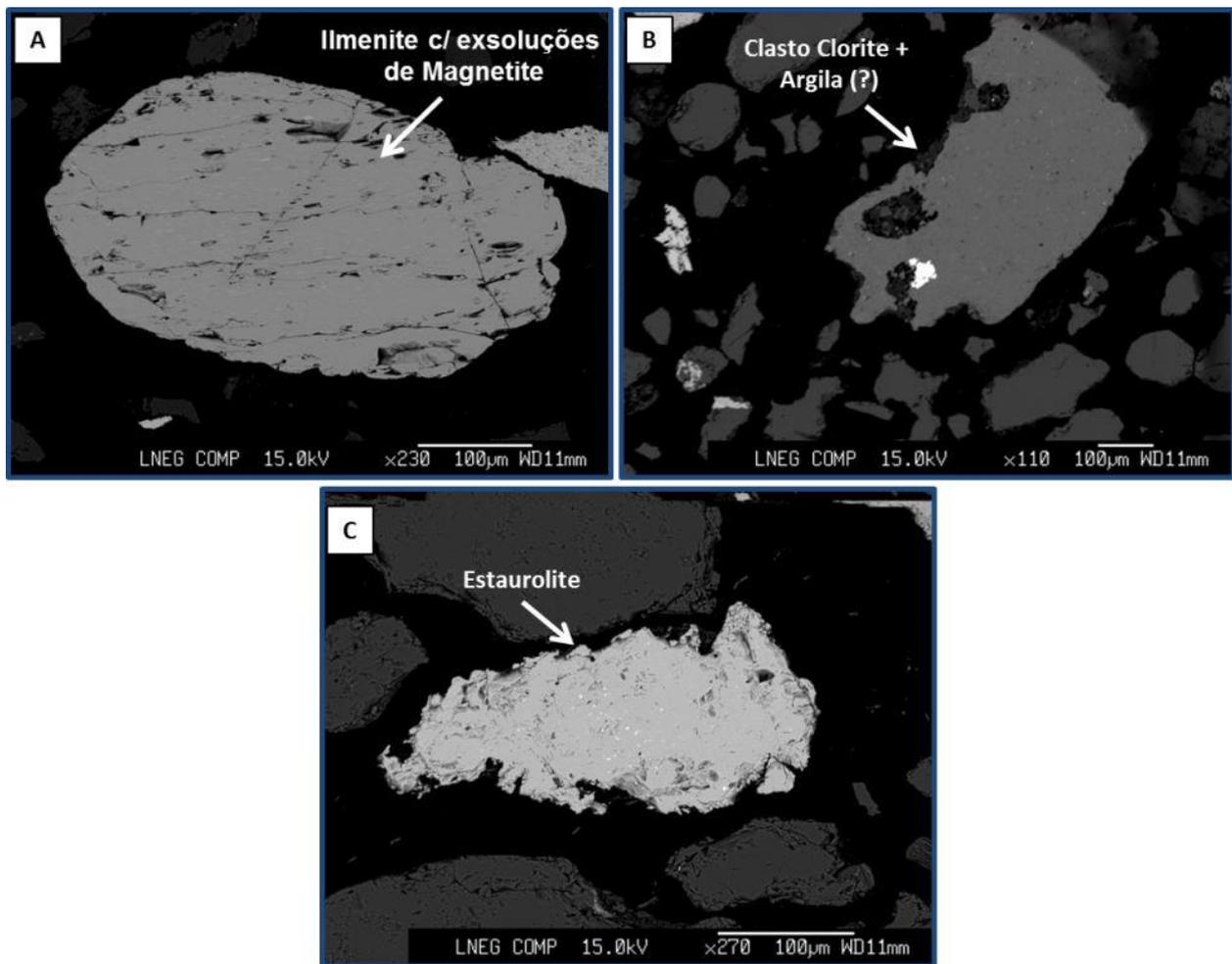


Figura 5.81: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA1-29 (0-5 cm).

❖ Amostra CA1-51 (0-20 cm)

A amostra observada apresenta essencialmente fases minerais resultantes da desagregação e alteração de rochas parentais, destacando-se como principais constituintes o quartzo (abundante) na forma de grãos relativamente bem rolados, de dimensão fina e média, alguns grãos pequenos, anédricos a sub-rolados, de feldspato-K e albite, reduzidos agregados de biotite e moscovite, com inclusões de apatite, magnetite, zircão, ilmenites, rútilo, feldspato, esfalerite rica em Cd, presença de alguns clastos constituídos por uma mistura microgranular de hidróxidos de Fe., quartzo, feldspato e mica.

Foram ainda identificados como fases contaminantes minerais de Willemite (silicato de Zn) mais abundante do que na amostra anterior, predominando as formas angulosas, frequentemente contendo inclusões de Pb (provavelmente galena), formando frequentemente agregados policristalinos e esfalerite rica em Cd, inclusa em agregados micáceos.

❖ Amostra CA2-10 (0-20 cm)

A amostra observada apresenta essencialmente fases minerais resultantes da desagregação e alteração de rochas parentais, destacando-se como principais constituintes o quartzo (abundante) com grãos relativamente bem rolados, de dimensão fina e média e biotite (Figura 5.82 – A, B e C). Foram ainda identificados como fases contaminantes minerais de Willemite (silicato de Zn) relativamente abundante, predominando as formas angulosas, frequentemente contendo inclusões de Pb (provavelmente galena), formando frequentemente agregados policristalinos, ocorrendo por vezes inclusa ou associada a magnetite ou a clastos microgranulares com hidróxidos de Fe, ocorrem ainda alguns silicatos de Al, Fe e Zn, provavelmente relacionados com a mineração (essencialmente Willemite).

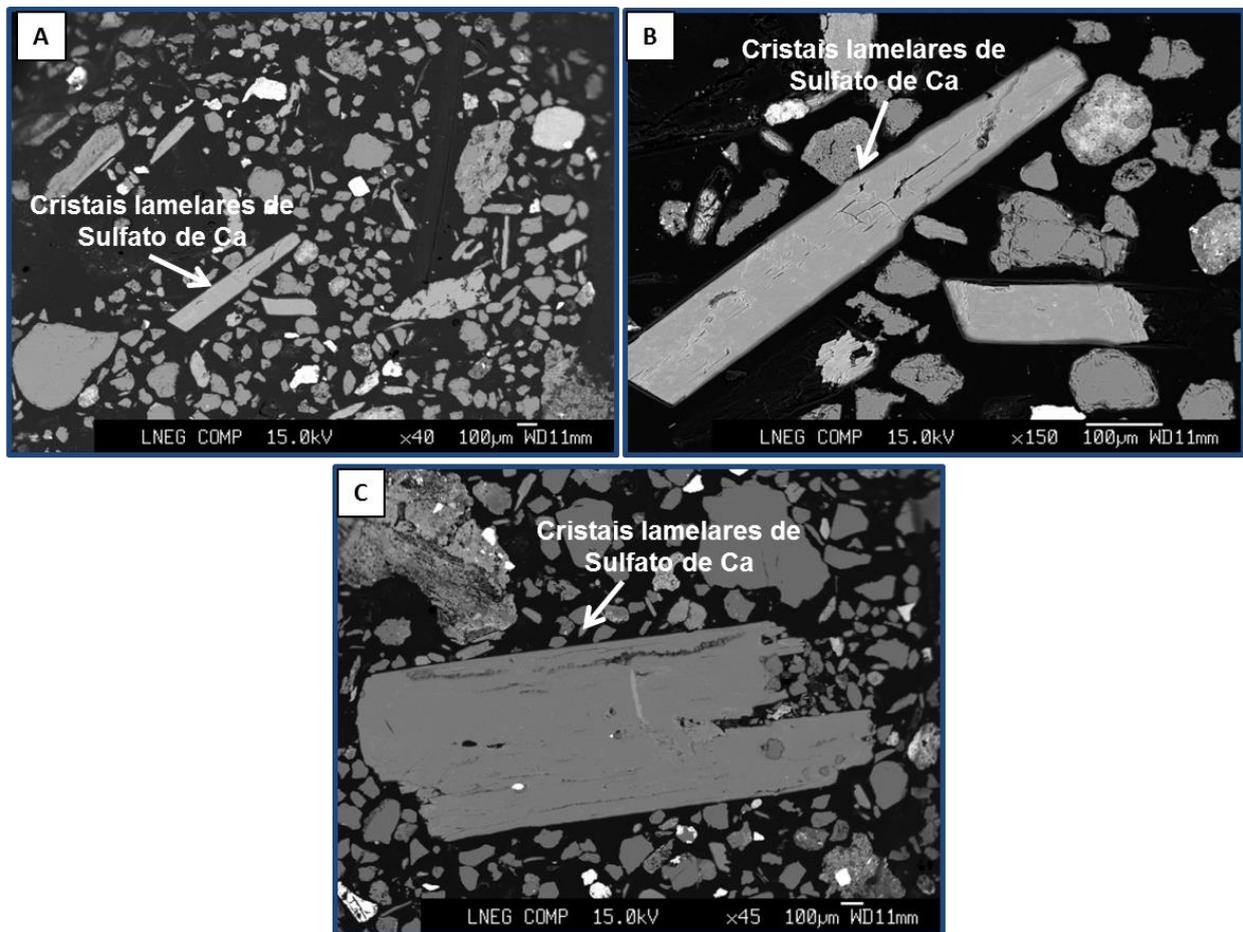


Figura 5.82: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA2-10 (0-20 cm).

❖ Amostra CA2-10 (20-40 cm)

A amostra observada apresenta essencialmente fases minerais resultantes da desagregação e alteração de rochas parentais, destacando-se como principais constituintes o quartzo (abundante), em grãos relativamente bem rolados, de dimensão fina e média. Identificando-se ainda grãos isolados de calcite como inclusões em feldspatos e em minerais opacos. Foram ainda identificados como fases contaminantes minerais de Willemite (silicato de Zn) com aparente menor abundância do que nas aluviões mais superficiais da mesma amostra (0-20 cm).

Ocorrem ainda pequenos clastos policristalinos, constituídos por sulfatos de Zn e de Zn+Cu, alguns grãos anédicos, mal rolados, de dimensões médias, de um mineral de cor azul ou verde, que corresponde a sulfato de Cu e $Zn \pm Cd \pm As$ (identificado por EDS – Figura 5.83 - A), detectaram-se também grãos de óxidos de Mn, de Mn+Ba, e de Mn+Pb+K+Al (Figura 5.83 - B) e grãos pontuais de óxido de Zn (possivelmente zincite (?)) (Figura 5.83 - C e D), associados à magnetite.

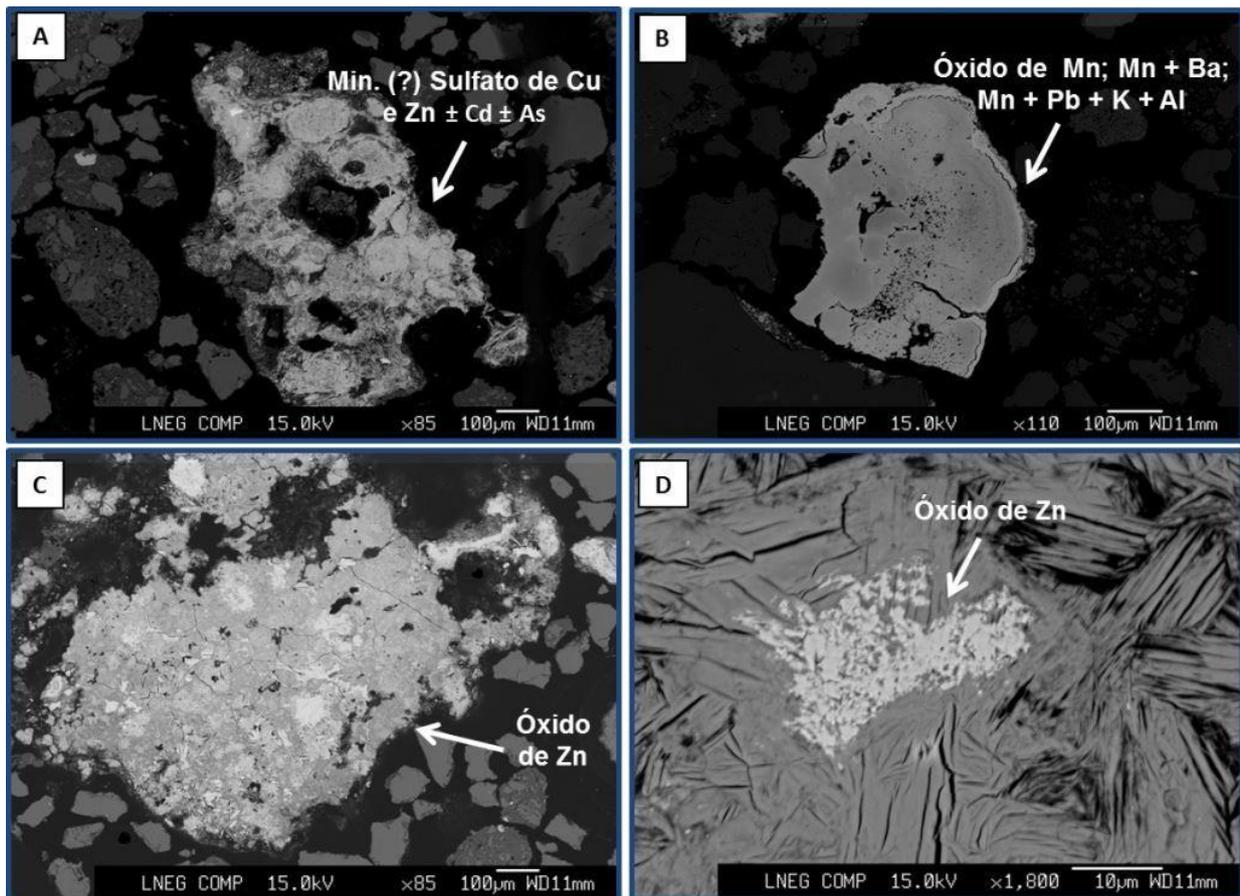


Figura 5.83: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA2-10 (20-40 cm).

❖ **Amostra CA2-12 (20-40 cm)**

A amostra observada apresenta um predomínio de material ferruginoso, embora ainda contenha algumas outras fases herdadas de rochas parentais ou resultantes da sua alteração. Apresenta como principais constituintes quartzo (abundante), de grão muito fino e geralmente anguloso, não se identificaram feldspatos na amostra estudada. Verificaram-se ainda goethite (\pm hematite) ou mistura de goethite e materiais siliciosos muito finos, ocorrendo na forma de grãos anédricos de pequena dimensão.

Foram ainda identificados como fases contaminantes minerais de Willemite (silicato de Zn) encontrado apenas um grão rolado deste mineral, de dimensão média, pelo que parece ser menos abundante do que noutras amostras já analisadas.

❖ **Amostra CA2-12 (40-60 cm)**

Nesta amostra, há um nítido predomínio de material ferruginoso, embora ainda contenha algumas outras fases herdadas de rochas parentais ou resultantes da sua alteração. Contrariamente a outras amostras analisadas o quartzo é quase inexistente, sendo os poucos grãos visíveis na amostra angulosos e de pequena dimensão. A esta profundidade (40-60 cm) predominam largamente os materiais ferruginosos ($> 90\%$), na forma de pequenos grãos ou de clastos de dimensão intermédia e goethite finamente associada a algum material filitoso (geralmente mica) contendo inclusões pontuais várias. Foram ainda identificados como fases contaminantes minerais de Willemite (silicato de Zn) em grão muito fino.

❖ **Amostra CA2-12 (60-80 cm)**

Este nível da amostra CA2-12 (60-80 cm) é muito parecido com o do nível anterior (40-60 cm), predominando o material ferruginoso, na forma de grãos anédricos de magnetite (\pm hematite) e de abundantes clastos de goethite (possivelmente misturada com algum material filitoso). Apresentando escassos grãos de quartzo, de muito pequena dimensão, e escassas ocorrências isoladas de material filitoso (provavelmente mica). Como fase contaminante apresenta igualmente Willemite (silicato de Zn) tendo só sido observado um pequeno grão deste mineral.

❖ **Amostra CA2-12 (80-100 cm)**

Neste nível amostrado, o material ferruginoso continua a ser predominante, mas conseguem identificar-se algumas outras fases residuais, embora de dimensão muito fina (microscópica a sub-microscópica). O quartzo, em geral anguloso e de grão bastante fino, é mais abundante do que o observado nos níveis superiores desta amostra. O material ferruginoso, muito abundante (~90% da amostra) e extremamente heterométrico (de dimensão fina a muito grosseira), corresponde essencialmente a hidróxido de Fe (goethite), com raros núcleos de magnetite ou hematite (Figura 5.84), Como fase contaminante apresenta igualmente Willemite (silicato de Zn) raro dada a sua dimensão fina a extremamente fina.

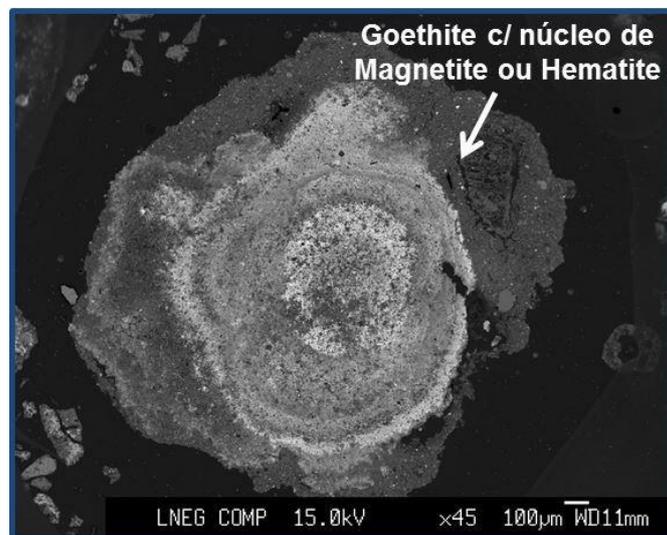


Figura 5.84: Análise petrográfica realizada através de micro-sonda electrónica da amostra CA2-12 (80-100 cm).

❖ **Amostra CA3-18 (20-40 cm)**

A amostra observada apresenta essencialmente fases minerais resultantes da desagregação e alteração de rochas parentais, destacando-se como principais constituintes o quartzo (muito abundante), na forma de grãos angulosos (os de dimensão fina) ou relativamente bem rolados (os de dimensão média), alguns grãos anédricos/sub-rolados, de feldspato-K (microclina) e de albite, de dimensão média. Ocorre ainda alguma mica (moscovite e biotite-Fe parcialmente cloritizada), muito fina, e misturada com o material ferruginoso (hidróxidos de Fe e alguns óxidos residuais) que constitui grande parte dos clastos desta amostra. Encontraram-se alguns grãos de hematite relativamente grosseiros, clastos rolados constituídos essencialmente por hidróxidos de Fe. Foram ainda identificados como fases contaminantes minerais de Willemite (silicato de Zn) pouco abundantes observando-se apenas alguns grãos pequenos dispersos pela amostra.

5.2.4.2. Estudo Mineralógico Através de Difracção de Raios-X

De forma à obtenção de uma correlação entre as formas químicas preferenciais dos minerais nas aluviões e a sua composição mineralógica, foram seleccionadas para o estudo por difracção de Raios-X preferencialmente amostras anteriormente analisadas pelo processo de extracção sequencial. A difracção de Raios-X foi realizada na fracção argilosa (inferior a 2 μm), dado o facto de ser geralmente na fracção mais fina onde ocorre preferencialmente a concentração destes minerais. Identificaram-se ainda alguns minerais não argilosos os quais se encontram geralmente associados a este grupo mineral nas fracções mais finas dos materiais sedimentares. Para o caso dos restantes minerais primários, óxidos e sulfuretos associados a metais pesados, foi realizada a análise DRX na fracção inferior a 63 μm , representado a fracção siltosa e argilosa em materiais sedimentares.

Relativamente ao estudo por difracção de Raios-X da fracção mais global (inferior a 63 μm), foram identificadas as seguintes fases minerais (Figuras 5.85 e 5.86):

- Nítido predomínio de quartzo, devendo-se essencialmente à herança da fase particulada destes materiais a partir das rochas detríticas encaixantes.
- Presença de ilite e/ou moscovite, como mineral com a segunda maior representação em todas as áreas. Mineral este igualmente frequente nas rochas constituintes do soco, algumas das quais com forte componente micácea (siltitos argilosos micáceos). A presença abundante de ilites prende-se por estas serem provenientes de processos de transformação que ocorrem em moscovites (por meteorização). Processos esses, que incluem uma diminuição da dimensão original que apresentavam nas rochas parentais, perda de uma parte de K^+ fixado nos espaços interfolhetos e hidratação. A ilite surge em todas as amostras analisadas com concentrações moderadas a muito elevadas, principalmente na área A2, onde se verificam as maiores concentrações deste mineral. É de facto na área A2, correspondente a uma extensa superfície aluvionar onde ocorre acumulação de diversos materiais sedimentares misturados com materiais de aterro de natureza diversa (unidade industrial da Votorantim Metais e acarreo sedimentar por transporte hídrico e eólico), onde se verificam as maiores concentrações de Fe (determinado pelo método de extracção sequencial), que se deposita sob a forma de hematite e goethite (encontrados nesta área com concentrações entre vestigial e moderado). Estes minerais foram também identificados nas restantes áreas porém com concentrações preferencialmente vestigiais. Para além destes minerais, ocorre também em abundância a caulinite e a gibbsite nesta área, estando a caulinite presente nas restantes

áreas embora com teores moderados a reduzidos. Já a gibsite, ocorre nas restantes áreas geralmente em concentrações baixas, entre o vestigial e o reduzido.

- Foram ainda identificados alguns minerais não herdados das rochas constituintes do soco, mas provenientes da actividade de produção de ligas metálicas desenvolvida nesta indústria, nomeadamente a esfalerite (sulfureto de Zn - ZnS) e willemite (silicato de Zn - $ZnSiO_4$). A esfalerite foi apenas identificada em aluviões da área A2 e em camadas profundas. Esta escassez dever-se-á ao facto de se tratar de um sulfureto metálico, e por esta análise ter sido realizada em partículas de pequena dimensão (inferior a 63 μm), em contacto com a água e com o ar promovendo a tendência de uma rápida oxidação, originado sulfato e libertando os cations metálicos. Por este motivo, este mineral, nos materiais sedimentares apenas se concentra em níveis mais profundos, onde prevalecem condições de redução. A willemite, por ser um silicato e, portanto, mais resistente aos processos de alteração química, encontra-se nos materiais de todas as áreas em concentrações que vão, desde o moderado (área A2) até ao reduzido ou vestigial (nas restantes áreas).
- Encontraram-se ainda mais dois tipos de sulfatos, o gesso (sulfato de cálcio di-hidratado - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) a jarosite (sulfato hidratado de K e Fe - $KFe^{3+}_3(OH)_6(SO_4)_2$), provenientes dos processos de beneficiação do minério na unidade industrial. Assim, o gesso, com um processo de cristalização mais simples e rápido, ocorre em concentrações reduzidas a moderadas em todas as áreas. Já a jarosite foi identificada em todas as áreas com concentrações vestigiais a reduzidos.

De forma a uma quantificação mais precisa dos minerais identificados, foram calculadas as percentagens, referentes aos minerais mais abundantes, para algumas das amostras analisadas, representando-se nas figuras 5.85 e 5.86 os difractogramas obtidos. Este cálculo foi realizado de acordo com a metodologia descrita no Capítulo 3, encontrando-se na tabela 5.8 os resultados obtidos.

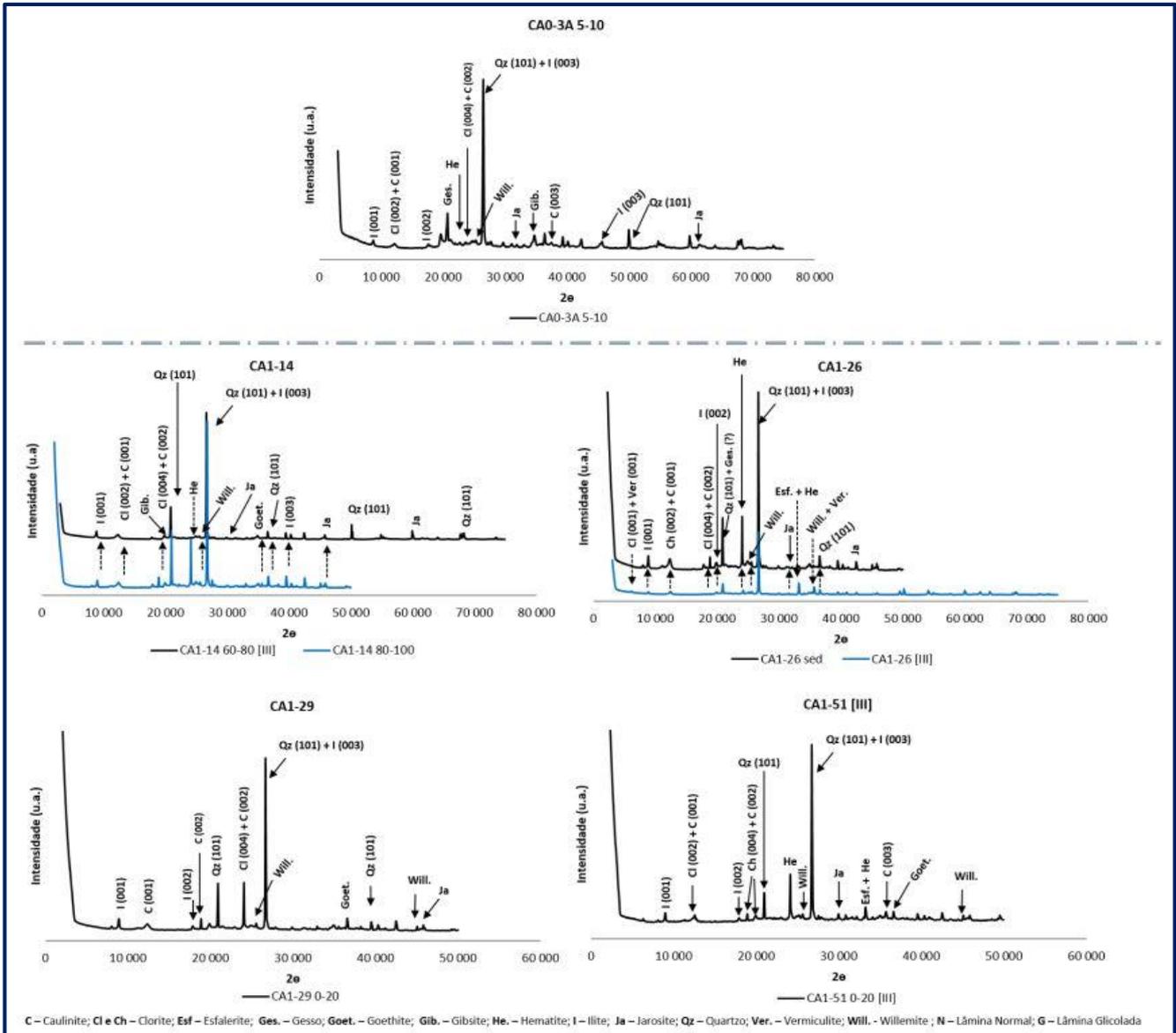


Figura 5.85: Difractograma correspondentes à análise por difração de Raios-X na fracção < 63 µm para algumas das amostras consideradas das áreas A0 e A1.

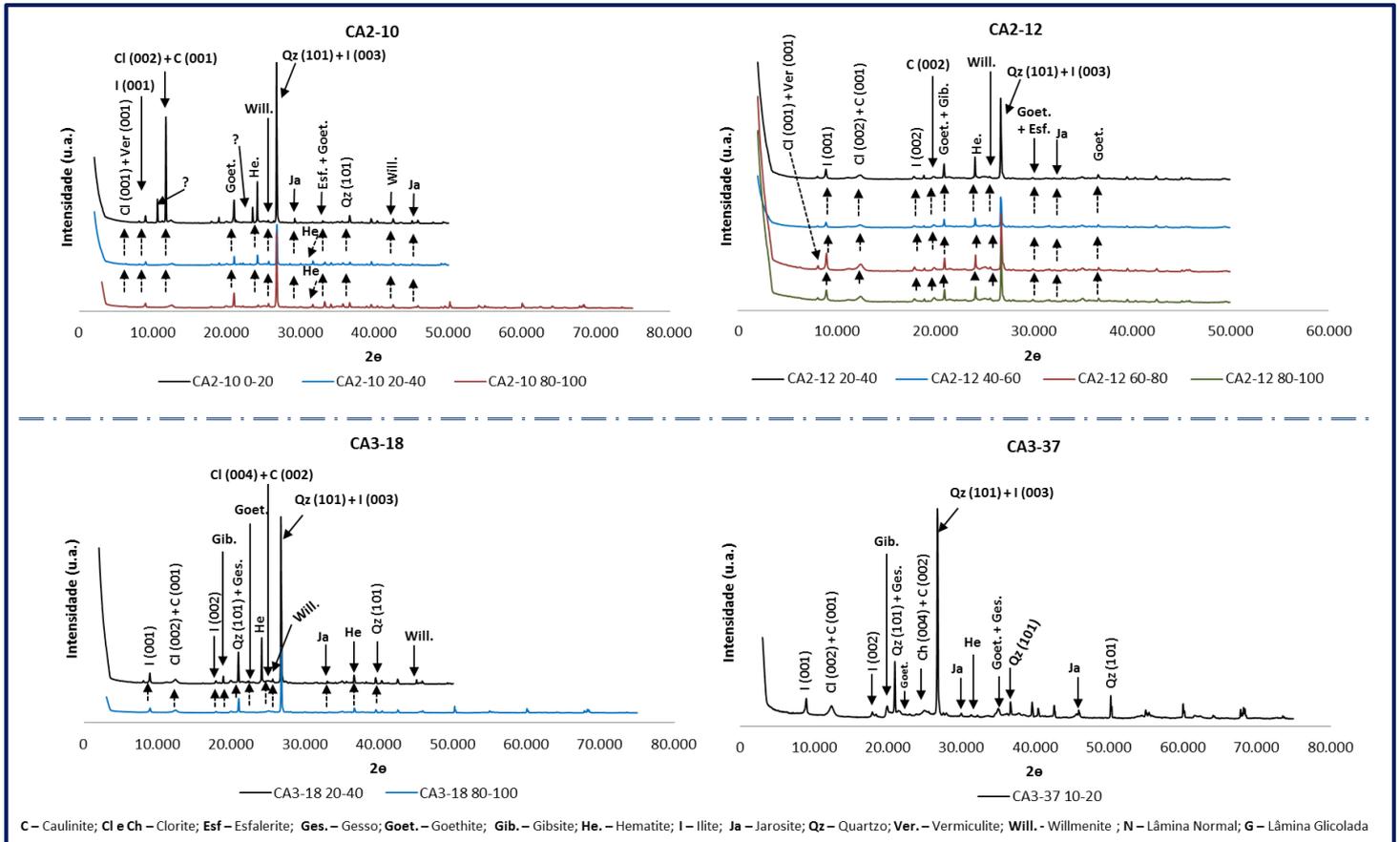


Figura 5.86: Difractograma correspondentes à análise por difração de Raios-X na fracção < 63 µm para algumas das amostras consideradas das áreas A2 e A3.

Assim, e de acordo com as percentagens obtidas, verifica-se nesta fracção (< 63 µm) uma composição mineralógica semelhante entre as amostras analisadas (Tabela 5.8). De entre os minerais identificados verifica-se a presença de minerais secundários (goethite e gibsite) o que aponta claramente para a importância das condições climáticas como condicionante nos processos de meteorização (tratando-se de amostras recolhidas em clima tropical) e, conseqüentemente, a formação destes minerais.

A análise e quantificação mineralógica destas amostras permitiram assim identificar como principais minerais a ilite geralmente muito degradada com taxas de interestratificada elevadas, a caulinite com cristalização elevada a muito elevada em todas as amostras consideradas e clorite muito degradada sendo esta uma característica das clorites de solos. Relativamente aos minerais secundários identificaram-se a goethite apresentando-se muito degradada (à excepção da amostra CA2-10 0-20), a gibsite em algumas amostras e igualmente muito degradada e pontualmente vermiculite, também muito degradada e num reduzido número de amostras (Tabela 5.8).

Relativamente à contabilização dos restantes minerais identificados, optou-se por adoptar uma análise qualitativa baseada no cálculo da área dos seus picos correspondentes (metodologia descrita no Capítulo 3). Assim, de acordo com a tabela 5.8 e a legenda associada, verificou-se a ocorrência de esfalerite entre reduzido a elevado em cinco das amostras analisadas, gesso com ocorrência vestigial ou nula na maioria das amostras e com uma ocorrência elevada na amostra CA0-3A 5-10, hematite maioritariamente com ocorrência elevada apresentando-se muito elevada na amostra CA1-51 [III], willemite com ocorrência entre reduzido a elevado (CA1-26 Sed [III]) e jarosite com ocorrência reduzida em todas as amostras.

A reduzida ocorrência de vermiculite, mineral característico de climas temperados e, gesso abundante em climas com médias a baixas taxas de precipitação anual, poder-se-á relacionar com a ocorrência de um período anómalo de seca da área em estudo aliado seu clima tropical.

Tabela 5.8: Resultados quantitativos e qualitativos (calculados e analisados de acordo com as áreas dos picos) obtidos a partir da análise das amostras consideradas por difracção de Raios-X da fracção mais global (inferior a 63 µm).

	Ilite	Caulinite	Clorite	Vermiculite	Goethite	Gibbsite	Total (%)	Esfalerite	Gesso	Hematite	Willemite	Járosite
Amostras DRX	Área - A0											
CA0-3A 5-10	8,47	63,04	27,72	-	-	0,76	100	---	++	-	-	-
	Área - A1											
CA1-14 60-80 [III]	64,83	30,29	-	-	1,16	3,70	100	---	---	---	-	-
CA1-14 80-100	58,70	38,40	-	-	2,94	-	100	---	---	-	-	-
CA1-26 Sed	50,15	49,85	-	-	-	-	100	---	--	++	-	-
CA1-26 Sed [III]	18,58	57,63	22,06	0,58	1,16	-	100	++	--	+	++	-
CA1-29 0-5	58,07	34,63	-	-	7,26	-	100	---	---	---	-	-
CA1-51 [III]	31,58	48,96	16,51	-	2,96	-	100	-	---	+++	-	-
	Área - A2											
CA2-10 0-20	25,19	46,87	15,09	1,52	11,34	-	100	-	---	++	-	-
CA2-10 20-40	16,30	56,15	24,05	3,49	4,33	-	104	+	---	++	+	-
CA2-10 80-100	10,55	54,52	24,84	4,14	5,93	-	100	-	---	+	-	-
CA2-12 20-40	20,87	51,78	23,95	-	0,26	3,13	100	---	---	++	-	-
CA2-12 40-60	34,72	53,83	5,15	-	1,09	5,21	100	---	---	++	+	-
CA2-12 60-80	49,29	32,75	12,54	1,43	0,55	3,43	100	---	---	++	+	-
CA2-12 80-100	34,36	43,88	17,37	-	0,76	3,64	100	---	---	++	+	-
	Área - A3											
CA3-18 20-40	45,76	35,47	15,19	-	0,71	2,86	100	---	--	++	-	-
CA3-18 80-100	51,92	35,78	10,43	-	0,72	1,15	100	---	--	-	-	-
CA3-37 10-20	36,36	45,10	17,26	-	0,91	0,36	100	---	--	-	---	-

Legenda:		Área calculada
Muito Elevado	+++	> 100
Elevado	++	20-100
Moderado	+	5-20
Reduzido	-	1-5
Vestigial	--	Ocorre em picos mistos
Inexistente	---	

A análise mineralógica da fracção argilosa ($< 2\mu\text{m}$) verificou em geral, nas amostras consideradas, os seguintes resultados (Figuras 5.87, 5.88 e 5.89:

- A mineralogia da fracção mais fina das aluviões reflecte em geral a mineralogia dos sedimentos da região, e a geologia enquadrante, dominada pela formação de Três Marias, pertencente ao Grupo Bambuí. Esta formação é constituída maioritariamente por rochas sedimentares detríticas representadas por siltitos argilosos e micáceos, por vezes com matrizes calcárias, argilas ferruginosas, arcoses e calcários metamorfizados. A mineralogia identificada, para além de reflectir a litologia das rochas parentais, denota uma evolução mineralógica média a alta, típica de climas tropicais secos, onde a intensidade da meteorização é média a elevada. À semelhança da fracção mais grosseira (entre 2 e $63\mu\text{m}$), a composição mineralógica desta fracção ($< 2\mu\text{m}$) é muito semelhante entre as amostras analisadas (Tabela 5.9).
- Independentemente da área e do tipo de material, relativamente aos minerais argilosos existe um claro predomínio de ilite e caulinite, bem cristalizadas seguidas, por vezes, por quantidades reduzidas a vestigiais de clorite degradada e minerais interstratificados do tipo ilite-clorite. A ilite identificada corresponde a uma ilite férrica, comum em zonas de solos lateríticos. A clorite, nem sempre está presente e, quando presente, raramente surge com concentrações significativas, à excepção de algumas amostras depositados no leito do córrego Consciência, na área A1. A esmectite, apenas foi identificada em três amostras de aluvião na área A1, onde surge com teores reduzidos (CA1-20, CA1-23) a vestigial (CA1-34). Este mineral argiloso forma-se geralmente a partir de taxas de meteorização moderadas, típicas de climas temperados, pelo que será justificável a sua quase total ausência nestes materiais.
- Como minerais associados a minerais argilosos verifica-se a predominância do quartzo (com teores muito elevados na maioria das amostras) e menores quantidades de goethite ($\alpha\text{-FeO(OH)}$) e gibsite (Al(OH)_3). Assim, e sendo o quartzo o principal constituinte das rochas detríticas encaixantes, é de esperar devido à sua grande resistência química, que este consiga facilmente chegar, por alteração das rochas, a grãos com a dimensão das argilas, explicando assim a sua grande abundância na

fracção argilosa destas amostras. Foi ainda identificado nesta fracção, de forma pontual willemite (silicato de Zn – $ZnSiO_4$) com um teor elevado numa aluvião da área A1 (CA1-22), e com teores moderados a vestigiais em algumas amostras das áreas A0, A2 e A3. Como já mencionado a willemite é utilizada na unidade industrial da Votorantim Metais-Três Marias, como uma das matérias primas do qual se realiza a extracção do Zn, daí a razão para a sua presença na mineralogia das amostras analisadas, embora mais evidente nas análises realizadas nas fracções mais grosseiras, quer por DRX quer por microsonda. Ocorrem ainda, em muito baixas proporções, minerais do grupo dos feldspatos, não sendo possível fazer a sua distinção através da análise dos difratogramas de Raios-X. Estes minerais são igualmente herdados da litologia enquadrante, maioritariamente das rochas arcóicas e siltíticas, que possuem significativos teores de minerais feldspáticos, potássicos e sódicos (Iglesias *et al.*, 2009).

- Foram ainda identificados minerais de gesso com médio a bom grau de cristalinidade, num grande número de amostras em todas as áreas, particularmente na superfície aluvionar da área A2, onde se concentram com teores entre o reduzido e o moderado, na fracção argilosa dos seus materiais sedimentares. Nas restantes áreas, estes minerais têm uma distribuição dispersa, quer espacial, quer vertical, sendo que a mesma amostra pode apresentar níveis onde o gesso possui teores reduzidos, e níveis onde não se concentra. Tal distribuição é comum em minerais secundários formados por precipitação química, em condições de evaporação.

De forma geral pode-se concluir que em todas as amostras analisadas existe uma grande homogeneidade na composição mineralógica da fracção argilosa, reflexo da sua proveniência a partir da meteorização das rochas parentais. A willemite, que ocorre como mineral acessório, é proveniente das actividades de beneficiação da unidade industrial, assim como o gesso, embora de forma indirecta, a partir dos sulfatos produzidos pela oxidação química do minério sulfatado, sendo libertados nos materiais de escorrência e infiltração provenientes da unidade industrial. Essa homogeneidade é igualmente verificada ao longo de perfis verticais no mesmo ponto. Entre todas as amostras apenas se verifica uma ligeira modificação dos teores relativos dos dois minerais dominantes, ilite e caulinite e dos teores relativos dos minerais acessórios.

Os minerais argilosos e alguns dos minerais não argilosos existentes na fracção mais fina dos materiais são uma fonte significativa de cargas de superfícies negativas e, juntamente com os compostos orgânicos, são os maiores contribuintes para a capacidade de troca catiónica. Representam uma importante fase sólida para retenção de iões carregados positivamente através de atracção electrostática. Assim, os elementos metálicos podem ser superficialmente adsorvidos ou complexados nestes minerais, estabilizando em formas mais ou menos trocável com a solução. No caso de minerais com forte capacidade de retenção de catiões metálicos estes poderão ficar sob forma temporariamente indisponível para troca, a não ser que a fase que os contém seja dissolvida ou destruída.

Embora a textura destes materiais seja predominantemente fina, com forte componente siltosa e argilosa, os minerais que constituem a fracção mais fina, apresentam média a baixa capacidade de retenção e troca de iões, pelo que existirá fraca imobilização dos elementos metálicos associados à superfície destes materiais. De entre os minerais identificados, apenas os minerais ilíticos, em particular os que apresentam interstratificação com clorite, possuem maior capacidade de retenção dos metais transportados em solução, pelo que, a sua presença é indicadora de uma maior capacidade de imobilização dos elementos metálicos. De referir ainda que, parte dos minerais argilosos poderão estar revestidos por óxidos de Fe hidratados, o que poderá aumentar a actividade química de minerais com fraca capacidade de retenção, como a caulinite. Estes óxidos e hidróxidos poderão igualmente precipitar juntamente com catiões metálicos, imobilizando-os. Uma média a fraca retenção por adsorção significa que apenas uma pequena proporção dos elementos metálicos lixiviados a partir das actividades industriais deverão ser imobilizados, existindo estes elementos provavelmente sob formas lábeis que passam com facilidade para a fase aquosa.

Também para a fracção $< 2\mu\text{m}$ foram calculadas as percentagens, referentes aos minerais mais abundantes, para algumas das amostras analisadas, representando-se nas figuras 5.87 a 5.89 os difractogramas obtidos. Este cálculo foi realizado de acordo com a metodologia descrita no Capítulo 3, nos difractogramas correspondentes à análise da amostra glicolada, encontrando-se na tabela 5.9 os resultados obtidos.

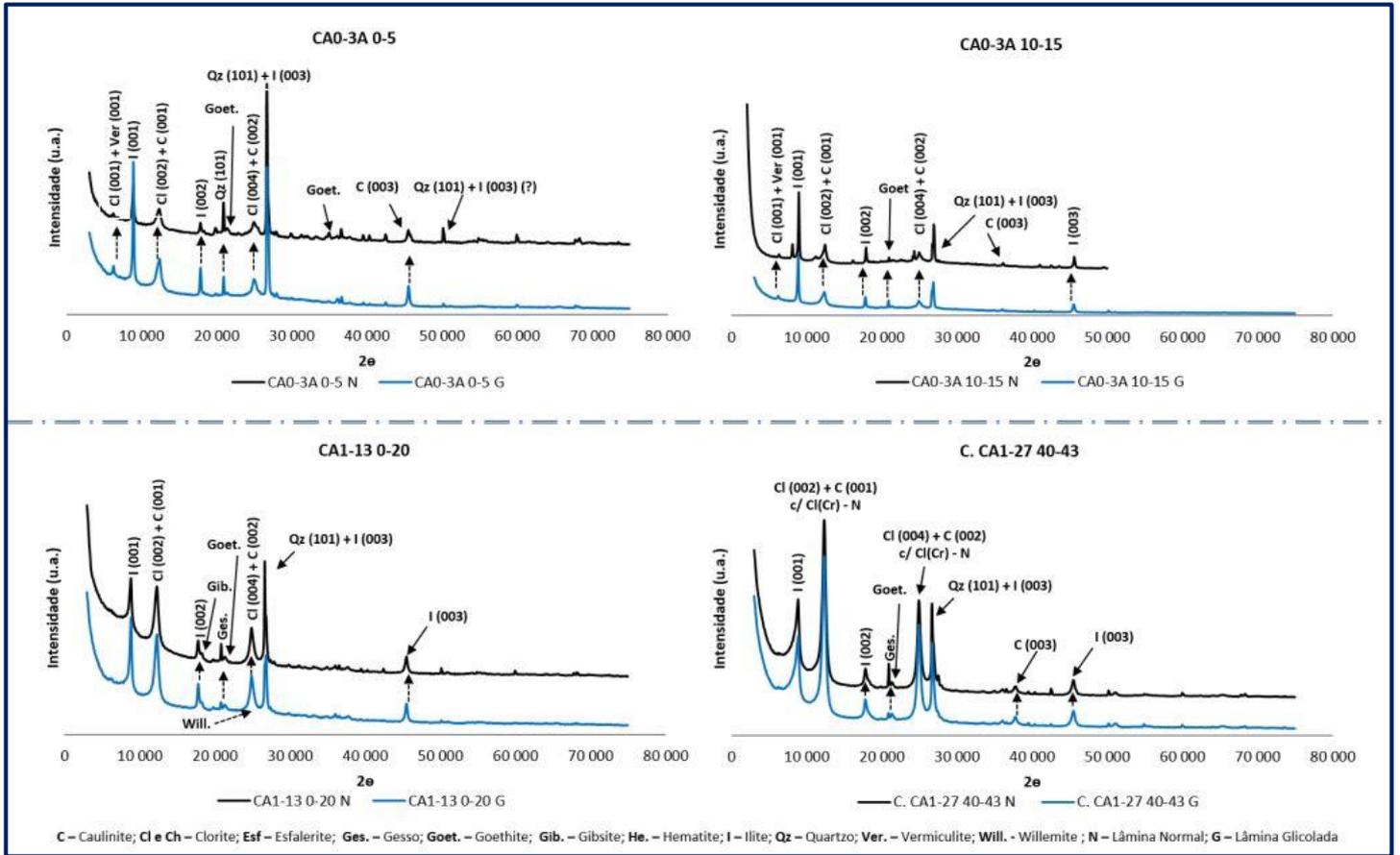


Figura 5.87: Difractogramas correspondentes à análise por difracção de Raios-X na fracção < 2µm para algumas das amostras consideradas das áreas A0 e A1.

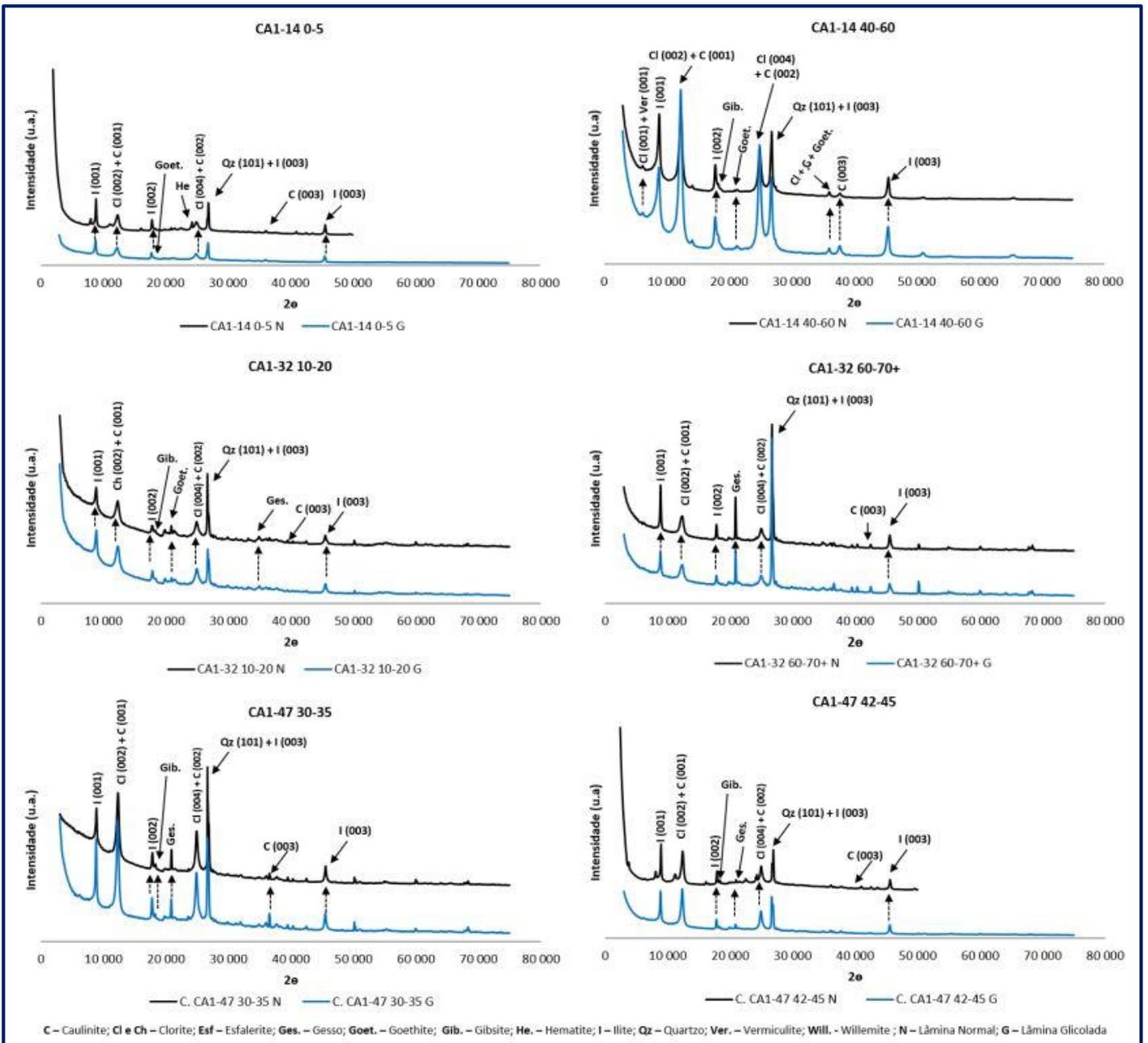


Figura 5.88: Difractogramas correspondentes à análise por difracção de Raios-X na fracção < 2µm para algumas das amostras consideradas da área A1.

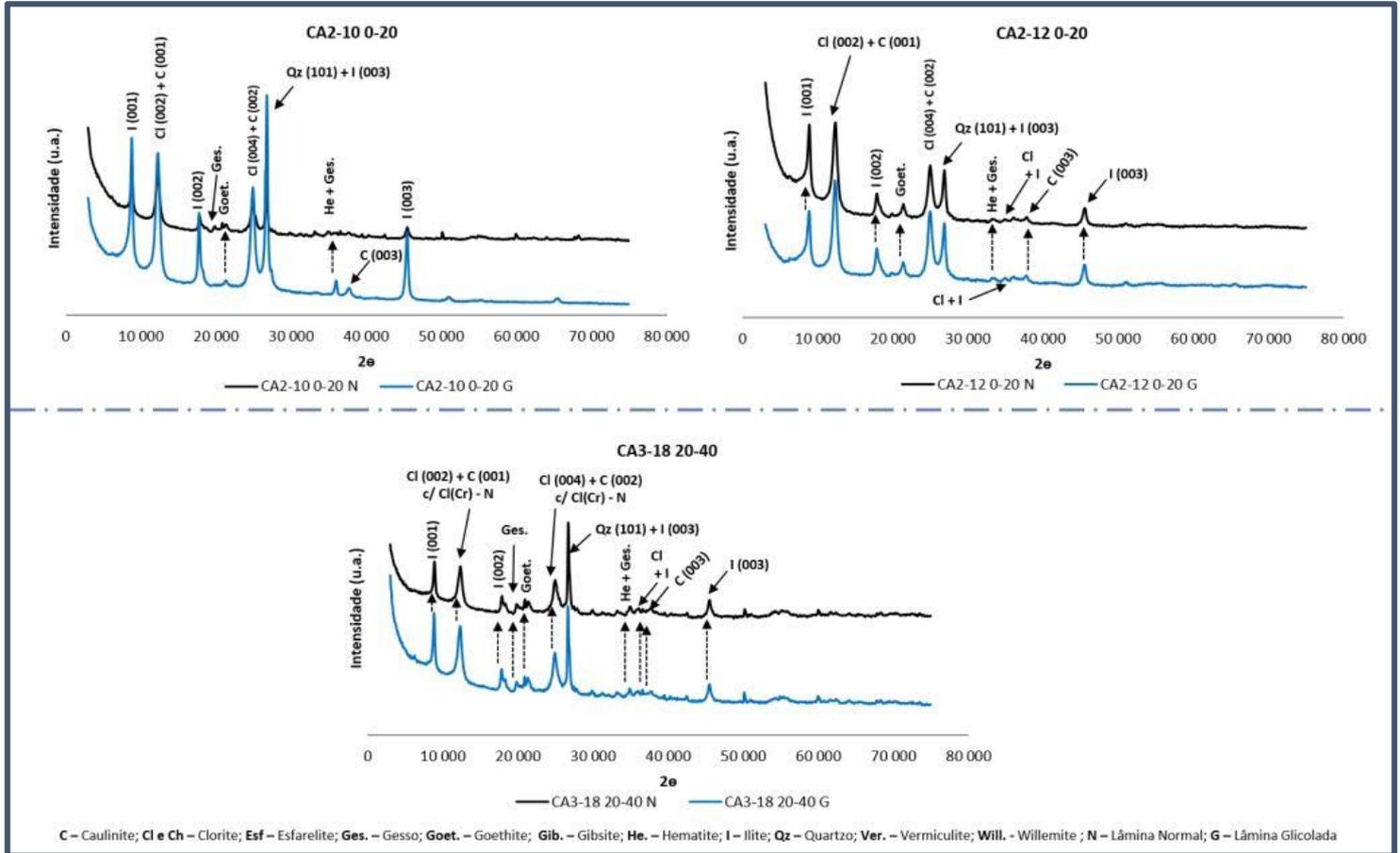


Figura 5.89: Difractogramas correspondentes à análise por difração de Raios-X na fração < 2µm para algumas das amostras consideradas das áreas A2 e A3.

Relativamente à contabilização dos restantes minerais identificados adotou-se a metodologia descrita no Capítulo 3. Assim, de acordo com a tabela 5.9 e a legenda associada, verificou-se a ocorrência gesso com ocorrência reduzida a elevada apenas na área A1 e hematite reduzida a moderada nas áreas A2 e A3.

Tabela 5.9: Resultados quantitativos e qualitativos (calculados e analisados de acordo com as áreas dos picos) obtidos a partir da análise das amostras consideradas por difracção de Raios-X da fracção mais global (inferior a 2 µm).

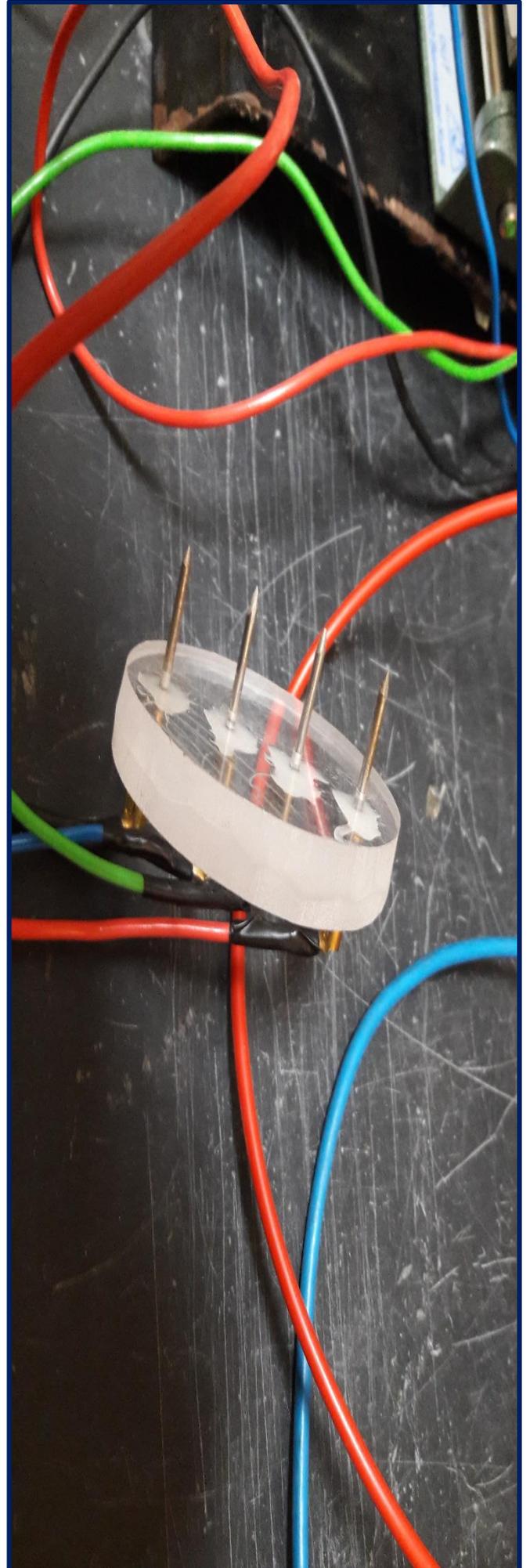
	Ilite	Caulinite	Clorite	Vermiculite	Goethite	Gibbsite	Total (%)	Esfalerite	Gesso	Hematite	Willemite	Járosite
Amostras DRX	Área - A0											
CA0-3A 0-5	80,24	17,01	2,25	0,24	0,26	-	100	---	---	---	---	---
CA0-3A 10-15	88,65	4,51	4,85	0,73	1,27	-	100	---	---	---	---	---
	Área - A1											
CA1-13 0-20	69,34	22,93	6,90	-	0,46	0,37	100	---	-	---	---	---
CA1-14 0-5	79,66	8,23	11,11	-	1,00	-	100	---	---	---	---	---
CA1-14 40-60	52,33	43,27	4,14	0,11	0,15	-	100	---	---	---	---	---
C. CA1-27 40-43	82,66	0,19	16,76	-	0,40	-	100	---	-	---	---	---
CA1-32 10-20	63,20	27,03	8,13	-	1,63	-	100	---	+	---	---	---
CA1-32 60-70+	75,18	17,27	7,55	-	-	-	100	---	++	---	---	---
CA1-47 30-35	34,40	49,23	16,15	-	-	0,21	100	---	+	---	---	---
CA1-47 42-45	66,77	21,51	11,37	-	-	0,35	100	---	+	---	---	---
	Área - A2											
CA2-10 0-20	7,15	83,09	9,09	-	0,67	-	100	---	---	-	---	---
CA2-12 0-20	44,32	49,98	3,19	-	2,52	-	100	---	---	+	---	---
	Área - A3											
CA3-18 20-40	59,86	31,82	6,19	-	2,14	-	100	---	---	+	---	---

Legenda:		Área calculada
Muito Elevado	+++	> 100
Elevado	++	20-100
Moderado	+	5-20
Reduzido	-	1-5
Vestigial	--	Ocorre em picos mistos
Inexistente	---	

Assim, e por comparação dos estudos mineralógicos realizados por difracção de raios-X nas duas fracções granulométricas consideradas ($< 63 \mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$), poder-se-á concluir que, de entre os minerais férricos, a goethite é o único que surge nas fracções mais finas das amostras. A hematite e a jarosite ocorrem preferencialmente em partículas de maior dimensão, assim como os minerais utilizados como matéria-prima na unidade industrial, a Willemite e a esfalerite. O gesso, mineral secundário, formar-se-á possivelmente a partir dos sulfatos libertados pelas águas de escorrência e de infiltração provenientes da Votorantim Metais, tendo como origem os processos de oxidação química dos sulfatos lá processados.

Ora, tratando-se de anião muito móvel, desloca-se com facilidade nos materiais depositados, precipitando por evaporação, sendo assim a sua distribuição é dispersa e transitória. Nos períodos de maior precipitação, em contacto com a água, tem facilidade de dissolução e migração sob forma solúvel, precipitando-se noutros locais.

6 Resistividade Eléctrica



6. Resistividade Eléctrica

Tendo efectuado a caracterização geoquímica da área em estudo, foi realizada uma campanha de prospecção geofísica de forma a tentar estabelecer uma comparação entre os valores obtidos através destes métodos, e os dados geoquímicos referentes aos elementos metálicos. Neste estudo efectuaram-se cinco perfis de Resistividade Eléctrica, segundo a configuração dipolo-dipolo, na proximidade de alguns pontos de amostragem anteriormente realizados (Figura 6.1).



Figura 6.1: Localização perfis de Resistividade Eléctrica e de colheita de amostras consideradas para a sua análise. (Google Earth Imagens de 08.05.2016 a 11.03.2017.)

Os métodos geofísicos utilizam as leis da física para determinar as propriedades das estruturas do subsolo a partir do processamento dos dados medidos na superfície utilizando diferentes técnicas. Como não invadem o meio de estudo caracterizam-se, portanto, como métodos não invasivos ou não destrutivos (Greenhouse, 1996 *in* Cavacundo, 2015). Estas metodologias permitem a avaliação das condições geológicas locais através da estimativa dos materiais presentes no subsolo obtida pela interpretação das propriedades físicas e sua distribuição

espacial. Cada método geofísico permite determinar uma propriedade, por exemplo: os métodos eléctricos determinam a resistividade eléctrica ou a condutividade; os métodos electromagnéticos de alta frequência (georradar) caracterizam a constante dieléctrica; os métodos electromagnéticos de baixa frequência (indução) permitem estimar a susceptibilidade magnética e a condutividade eléctrica; os métodos magnéticos determinam a susceptibilidade magnética; os métodos sísmicos determinam as propriedades mecânicas como a velocidade de ondas sísmicas ou densidade. Os valores que essas grandezas físicas assumem no subsolo, podem ter como origem as diferenciações litológicas e outras heterogeneidades de origem natural ou não (Greenhouse, 1996 *in* Cavacundo, 2015).

A aplicação da geofísica em detrimento de outros métodos mecânicos de investigação do subsolo como, por exemplo, as sondagens traduz-se na rapidez da avaliação de áreas extensas a custos mais reduzidos e na execução de perfis contínuos, possibilitando a identificação com maior precisão das variações laterais decorrentes das mudanças litológicas ou originadas pela presença da contaminação subterrânea (Greenhouse, 1996 *in* Cavacundo, 2015).

Os métodos eléctricos são utilizados para investigar propriedades eléctricas dos materiais que se encontram abaixo da superfície terrestre. Os valores e a forma como variam podem ser causadas por fenómenos geológicos, que ocorrem naturalmente abaixo da superfície (mineralizações e camadas aquíferas), como por acção antrópica através de materiais introduzidos pelo homem no subsolo (poluentes, objetos metálicos ou plásticos, artefactos arqueológicos, entre outros). O princípio de funcionamento deste método consiste na injeção de uma corrente eléctrica no solo através de dois eléctrodos enterrados no solo e pela medição da diferença de potencial entre outros dois eléctrodos também enterrados no solo nas proximidades dos primeiros. O quociente entre o valor da diferença de potencial medida e da corrente injectada multiplicada por uma constante que se calcula a partir das distâncias entre os eléctrodos traduz a resistividade aparente num determinado ponto abaixo da superfície. A posição desse ponto é determinada a partir da geometria definida pelos eléctrodos (Reynolds, 1997 *in* Cavacundo, 2015). Deslocando os eléctrodos de injeção e de medição ao longo de um perfil e alterando a distância entre eles determina-se a resistividade aparente para várias profundidades ao longo desse perfil, isto é, para vários pontos sobre um plano vertical sob o perfil. O processamento dos valores da resistividade aparente, mediante algoritmos de inversão, permite calcular modelos de resistividade que são os valores da resistividade eléctrica absoluta sobre os pontos de uma malha regular disposta no plano vertical (*RES2DINV*, 2017).

Este processamento é conhecido pelo nome de tomografia eléctrica. A figura 6.2 representa um dos modelos de tomografia eléctrica (perfil 1) realizado no âmbito deste trabalho, segundo a configuração dipolo-dipolo com separação de 0.5m entre eléctrodos e 12 níveis de separação. Os restantes modelos tomográficos correspondentes aos perfis 2 a 5 encontram-se no Anexo (Anexo B - Figuras BIII.1 a BIII.4).

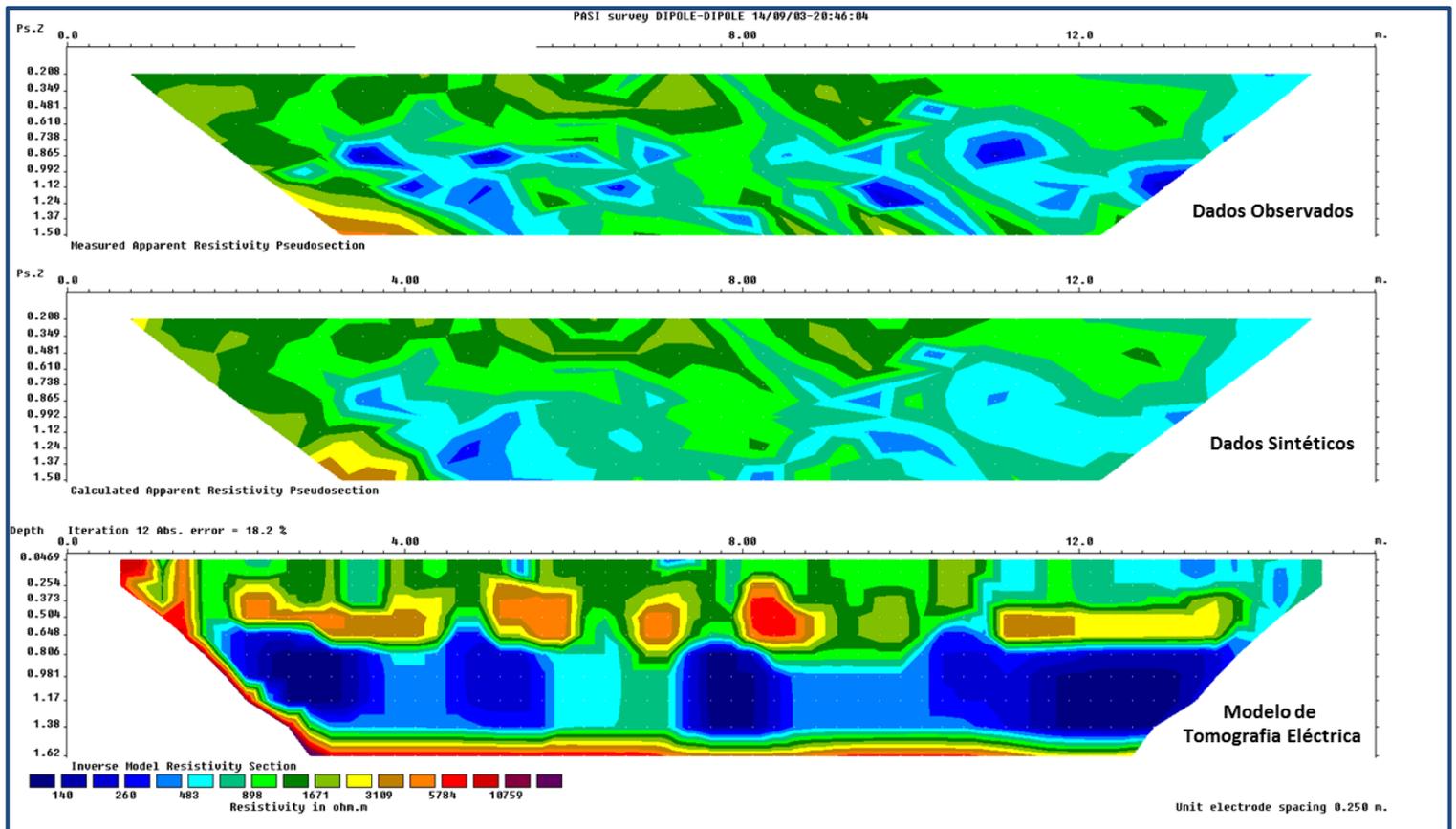


Figura 6.2: Modelo de Tomografia Eléctrica obtido para o perfil 1.

De acordo com o tipo de material verificam-se valores de resistividade eléctrica diferentes, nomeadamente entre rochas, solos e minerais para os quais são conhecidos diferentes valores médios. Alguns desses valores médios encontram-se na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Valores de resistividade eléctrica de alguns materiais geológicos. (Fonte: Reynolds, 1997¹; Loke, 2001²; Milsom, 2003³, Serway, *et al.*, 2004⁴)

Material	$\rho(\Omega\text{m})$	Material	$\rho(\Omega\text{m})$
Quartzo ¹	$3 \times 10^2 - 10^6$	Água doce subterrânea ²	$10 - 10^2$
Sal-gema ¹	$3 \times 10^{-10} - 10^{13}$	Ferro ²	$\sim 10^{-7}$
Antracite ¹	$10^{-3} - 2 \times 10^5$	Xisto (grafite) ¹	$10 - 10^2$
Granito ¹	$3 \times 10^2 - 10^6$	Argila ¹	$1 - 10^2$
Granito Saturado ¹	$3 \times 10^{-5} - 10^2$	Aterro saturado ¹	15-30
Gabro ¹	$10^3 - 10^6$	Aterro não saturado ¹	$30 - 10^2$
Permafrost ¹	$10^3 - > 10^4$	Solo arenoso seco ¹	80-1050
Aluviões ²	$10 - \sim 10^3$	Solo superficial ³	$50 - 10^2$
Basalto ¹	$10 - 1.3 \times 10^7$	Arenito ¹	$1 - 7.4 \times 10^{-8}$
Prata ⁴	1.59×10^{-8}	Cobre ⁴	1.7×10^{-8}
Alumínio ⁴	2.82×10^{-8}	Chumbo ⁴	22×10^{-8}
Platina ⁴	11×10^{-8}		

Tendo em conta as elevadas concentrações de metais pesados identificados na zona aluvionar e face à necessidade de aplicação de medidas de descontaminação ou da sua eventual remoção, o método de Tomografia Eléctrica foi utilizado na planície aluvionar, nomeadamente em duas das áreas consideradas neste trabalho (A1 e A2) (Figura 6.1).

A utilização deste método, neste contexto de problemática ambiental, teve como principal objectivo a identificação de possíveis relações entre as propriedades eléctricas das aluviões determinadas por métodos geofísicos (Eléctrica e Indução Electromagnética) e o teor em metais poluentes, previamente determinado pelas análises geoquímicas realizadas nas campanhas anteriores. As grandezas físicas determinadas pela geofísica foram a resistividade (tomografia); a condutividade e a susceptibilidade magnética (Indução).

No caso de existir uma correlação significativa entre os dados obtidos pelos dois métodos, os métodos geoelectricos poderiam representar um importante auxiliar para a detecção de anomalias de metais poluentes nos meios sedimentares, possibilitando fazer um estudo mais rápido e eficiente na escolha dos pontos mais representativos para os estudos geoquímicos. Para além do interesse científico e académico deste estudo comparativo, tal relação poderia constituir um importante passo para uma caracterização de ambientes contaminadas por metais potencialmente tóxicos em áreas mais extensas, de uma forma mais rápida, mais efectiva e mais económica. A sua contribuição poderá passar pela designação de metodologias de trabalho mais correctas e rápidas, podendo os estudos de caracterização e delimitação de zonas contaminadas terem como estudos prévios ensaios de geofísica que, por sua vez, poderão indicar os locais mais adequados para a realização dos estudos de caracterização geoquímica, mais morosos e onerosos e com envolvimento de um maior número de equipamentos analíticos e de técnicos.

Assim, e tendo em conta a localização dos perfis e a proximidade dos pontos de amostragem das aluviões, foram analisados e correlacionados com os teores em metais (identificados nas amostras) os perfis 1, 2, 3, 4, e 5. Para que a comparação dos dados geofísicos (condutividade e resistividade) e geoquímicos (teor em metais) obtidos fosse o mais clara possível optou-se pela construção de gráficos que demonstrassem o comportamento em termos de condutividade eléctrica dos metais em profundidade (considerando-se as profundidades de 20, 40, 60, 80 e 100 cm). Assim tendo como base os modelos tomográficos de terreno (Anexo B - Figuras BIII.1 a BIII.4) foram calculadas as médias para cada conjunto de pontos abrangidos nas diferentes profundidades pretendidas (Figura 6.3).

Calculou-se a média dos valores de condutividade e resistividade (Tabela 6.2), e as concentrações médias, nos metais considerados, para as amostras com localização mais próxima dos perfis (Tabelas 6.3 a 6.5).

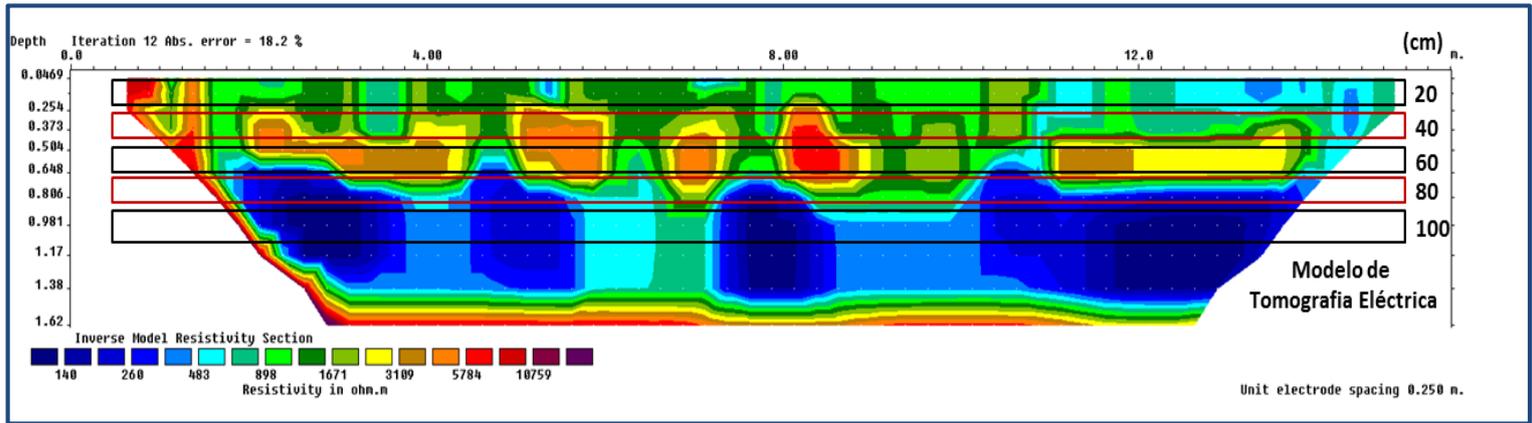


Figura 6.3: Esquema de cálculo dos valores médios de condutividade em profundidade a partir do Modelo de Tomografia Eléctrico obtido.

Tabela 6.2: Valores de resistividade e condutividade eléctrica médios obtidos e utilizados para a construção dos gráficos de comparação entre os dados geoquímicos e geofísicos.

Resistividade Média ($\Omega \cdot m^{-1}$)					
Prof. (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
20	1406,191	26,891	22,932	213,137	154,493
40	1832,720	20,516	21,805	434,449	133,104
60	3023,148	8,688	27,419	968,043	110,963
80	1589,654	10,819	66,800	1110,795	133,863
100	1908,194	69,825	208,588	2502,181	454,798
Condutividade Média ($S \cdot m^{-1}$)					
Prof. (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
20	0,001	0,037	0,044	0,005	0,007
40	0,001	0,049	0,046	0,002	0,008
60	0,000	0,115	0,037	0,001	0,009
80	0,001	0,092	0,015	0,001	0,008
100	0,001	0,014	0,005	0,000	0,002

Tabela 6.3: Teores em metais determinados nas amostras mais próximas dos perfis 1 e 2 considerados e utilizados para a construção dos gráficos de comparação entre os dados geoquímicos e geofísicos.

Perfil 1

Amostras	Prof. (cm)		As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
			(mg.kg ⁻¹)									
CA1-27	0-20	20	8,99	10,04	7,00	56,59	159,71	56471,23	212,96	19,73	48,45	1818,871
CA1-28			< 0,25	1,25	5,84	48,29	78,16	35959,40	166,61	17,45	11,95	730,838
CA1-31			< 0,25	1,25	4,72	56,38	79,17	48998,42	238,63	19,01	38,90	661,366
CA1-53 [III]			134,40	6,36	23,58	17,29	468,32	181738,31	1040,36	29,45	5098,60	38996,427
Média			71,69	4,73	10,29	44,64	196,34	80791,84	414,64	21,41	1299,47	10551,88
CA1-27	20-40	40	< 0,25	1,51	5,97	57,78	93,32	46660,64	172,31	20,71	24,95	627,472
CA1-28			49,23	1,54	4,56	45,24	92,59	57632,58	149,52	15,48	6,49	121,356
CA1-31			< 0,25	< 0,025	3,49	70,44	69,44	52065,93	115,60	21,62	2,63	188,570
CA1-53 [III]			116,68	6,15	16,75	33,31	540,82	135248,39	1336,35	22,86	5178,09	23655,608
Média			82,96	3,07	7,69	51,69	199,04	72901,88	443,45	20,17	1303,04	6148,25
CA1-27	40-60	60	< 0,25	1,24	4,54	58,88	72,10	33860,37	102,86	18,75	2,15	135,830
CA1-31			< 0,25	< 0,025	4,21	59,43	59,56	73544,28	140,90	18,92	2,80	159,062
CA1-53 [III]			124,87	7,14	22,40	32,94	346,07	112827,79	639,80	19,03	2243,62	23291,725
Média			124,87	4,19	10,38	50,42	159,24	73410,81	294,52	18,90	749,52	7862,21

Perfil 2

Amostras	Prof. (cm)		As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
			(mg.kg ⁻¹)									
CA1-13	0-20	20	5,57	14,99	5,44	22,30	87,21	34188,46	245,51	8,48	61,59	2475,34
CA1-14 [III]			22,29	9,04	6,33	28,19	273,55	28442,14	897,63	10,45	231,13	5375,06
CA1-48 [III]			4,48	14,15	4,88	45,13	85,37	28502,27	262,37	9,05	88,28	2266,99
Média			10,78	12,73	5,55	31,87	148,71	30377,62	468,50	9,33	127,00	3372,46
CA1-13	20-40	40	8,03	13,20	4,20	18,04	66,18	29910,09	251,62	6,51	95,00	2959,81
CA1-14 [III]			28,52	7,56	8,26	29,16	294,16	34154,09	1173,11	12,33	310,04	8346,47
CA1-48 [III]			< 0,25	26,44	7,06	33,64	137,88	26817,41	672,85	9,67	132,80	3459,38
Média			18,28	15,73	6,50	26,95	166,07	30293,86	699,20	9,51	179,28	4921,89
CA1-13	40-60	60	12,69	13,17	4,40	19,73	67,81	34702,24	490,37	6,74	106,29	3260,84
CA1-14 [III]			27,61	5,19	5,76	26,65	250,35	32226,36	941,87	11,13	321,48	8121,34
CA1-48 [III]			< 0,25	12,71	5,27	29,90	131,13	26240,79	330,44	8,73	141,56	3723,09
Média			20,15	10,36	5,14	25,43	149,76	31056,47	587,56	8,87	189,77	5035,09
CA1-13	60-80	80	3,44	66,28	4,79	31,89	287,06	50138,30	343,32	10,38	338,47	9213,02
CA1-14 [III]			35,38	7,68	5,84	24,44	248,88	29520,29	564,48	11,28	686,59	15107,39
CA1-48 [III]			22,18	10,83	5,43	26,75	205,98	29124,20	205,78	10,25	258,98	4891,78
Média			20,33	28,26	5,35	27,70	247,31	36260,93	371,19	10,63	428,02	9737,40
CA1-13	80-100	100	33,22	37,78	5,07	26,97	325,58	110243,36	775,76	11,31	793,04	25069,06
CA1-14 [III]			7,02	9,17	5,15	26,39	246,42	35556,56	400,19	10,61	431,25	7614,37
CA1-48 [III]			10,16	7,01	6,27	20,88	128,82	21866,74	295,19	7,25	238,91	3598,34
Média			16,80	17,99	5,50	24,75	233,61	55888,89	490,38	9,72	487,73	12093,92

Tabela 6.4: Teores em metais determinados nas amostras mais próximas dos perfis 3 e 4 considerados e utilizados para a construção dos gráficos de comparação entre os dados geoquímicos e geofísicos.

Perfil 3			As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Prof. (cm)			(mg.kg ⁻¹)									
CA2-10	0-20	20	70,94	59,05	3,98	26,14	132,91	52408,44	138,03	14,96	427,32	28960,99
	20-40	40	61,45	3,12	5,69	17,76	105,75	153085,68	94,47	12,48	1664,54	58458,16
	40-60	60	95,26	3,66	7,15	20,60	103,06	162602,44	141,16	16,95	1785,94	65720,57
	60-80	80	24,72	11,65	6,68	38,55	418,27	211564,47	263,82	17,19	1502,54	46804,91
	80-100	100	34,01	14,47	8,74	28,48	348,05	207635,92	215,01	18,09	1803,57	51325,50

Perfil 4			As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Amostras	Prof. (cm)		(mg.kg ⁻¹)									
CA2-10	0-20	20	70,94	59,05	3,98	26,14	132,91	52408,44	138,03	14,96	427,32	28960,99
CA2-10A			9,58	35,81	7,95	62,87	275,04	55863,30	1278,89	11,96	652,98	11590,98
CA2-11			23,13	6,68	4,79	12,73	101,10	54373,88	199,77	8,80	586,83	17046,14
	Média		34,55	33,85	5,58	33,92	169,68	54215,20	538,89	11,91	555,71	19199,37
CA2-10	20-40	40	61,45	3,12	5,69	17,76	105,75	153085,68	94,47	12,48	1664,54	58458,16
CA2-10A			20,91	38,37	19,74	35,53	227,04	42467,60	1229,88	12,09	678,33	12547,68
CA2-11			3,22	5,27	2,80	20,33	15,59	36997,40	106,38	8,04	10,11	673,20
	Média		28,53	15,59	9,41	24,54	116,12	77516,89	476,91	10,87	784,33	23893,01
CA2-10	40-60	60	95,26	3,66	7,15	20,60	103,06	162602,44	141,16	16,95	1785,94	65720,57

CA2-10A			24,74	31,01	9,71	51,96	241,27	58474,53	831,24	13,42	757,07	15943,99
CA2-11			< 0,25	3,90	2,69	20,14	14,90	35265,99	100,04	7,89	4,80	557,33
	Média		60,00	12,85	6,52	30,90	119,74	85447,65	357,48	12,75	849,27	27407,29
CA2-10	60-80	80	24,72	11,65	6,68	38,55	418,27	211564,47	263,82	17,19	1502,54	46804,91
CA2-10	80-100	100	34,01	14,47	8,74	28,48	348,05	207635,92	215,01	18,09	1803,57	51325,50

Tabela 6.5: Teores em metais determinados nas amostras mais próximas do perfil 5 considerados e utilizados para a construção dos gráficos de comparação entre os dados geoquímicos e geofísicos.

Perfil 5

Amostras	Prof. (cm)		As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
			(mg.kg ⁻¹)									
CA1-21	0-20	20	25,31	3,63	8,77	19,49	20,17	28084,51	207,81	6,11	20,42	568,60
CA1-22 [III]			5,80	22,43	11,03	34,96	179,43	30598,86	483,00	11,37	99,13	3510,12
CA1-35 [III]			9,16	0,46	3,95	22,04	43,83	15863,91	108,21	6,87	5,80	264,16
	Média		13,42	8,84	7,92	25,50	81,14	24849,09	266,34	8,12	41,78	1447,62
CA1-21	20-40	40	4,32	11,90	9,52	22,85	40,19	33395,71	169,95	7,62	52,39	1445,91
CA1-22 [III]			11,26	24,61	9,30	36,23	185,41	33993,51	458,85	12,02	144,19	4110,50
CA1-35 [III]			0,25	0,28	3,38	22,69	36,65	16000,57	79,22	7,28	6,19	219,01
	Média		5,28	12,26	7,40	27,26	87,42	27796,60	236,01	8,97	67,59	1925,14
CA1-21	40-60	60	1,31	17,25	5,90	27,68	84,86	39466,77	129,82	9,04	128,13	2533,98
CA1-22 [III]			0,25	32,03	10,55	40,55	204,87	36356,16	497,23	13,29	192,25	5149,51

CA1-35 [III]			0,25	1,20	3,72	23,50	42,41	14943,85	102,05	6,48	11,38	416,89
	Média		0,60	16,83	6,73	30,58	110,72	30255,59	243,04	9,60	110,59	2700,13
CA1-21	60-80	80	0,25	23,20	6,07	34,63	140,18	54359,46	413,53	11,64	121,36	3302,52
CA1-22 [III]			0,25	28,73	6,92	40,17	231,65	38320,72	568,96	12,48	348,23	6816,31
CA1-35 [III]			0,25	0,19	2,83	22,98	35,98	16445,46	66,38	7,11	3,60	132,04
	Média		0,25	17,37	5,27	32,59	135,94	36375,21	349,62	10,41	157,73	3416,96
CA1-21	80-100	100	24,82	25,62	6,23	43,54	168,16	35293,32	528,90	12,60	137,10	4290,40
CA1-22 [III]			8,84	25,92	9,34	46,90	410,25	32971,20	370,94	10,93	644,20	10852,65
CA1-35 [III]			10,36	0,84	2,73	22,63	39,51	17029,00	65,85	7,05	3,58	121,60
	Média		14,67	17,46	6,10	37,69	205,97	28431,17	321,89	10,19	261,63	5088,22

As figuras 6.4 a 6.6 permitem visualizar a evolução em profundidade da média dos parâmetros geofísicos e das concentrações dos metais.

Esta representação permite verificar que, se existir uma correlação entre os dois grupos de dados, esta apresenta-se de forma individualizada de perfil para perfil, não ocorrendo necessariamente nos mesmos elementos metálicos analisados. Assim, para o perfil 3 poder-se-á considerar que os elementos Pb, Zn e Fe apresentam linhas tendenciais da sua concentração mais concordantes com a condutividade eléctrica, verificando-se um ligeiro aumento até aos 60 cm de profundidade, ao que se segue um comportamento constante, podendo esta relação dever-se às elevadas concentrações destes elementos nas amostras próximas a este perfil e utilizadas para este estudo comparativo. Já no perfil 2 não são identificados perfis de concentração aproximados ao obtido através da sua condutividade eléctrica, aspecto também verificado a partir da análise dos perfis 1 e 4 (Figura 6.4 e 6.5).

Relativamente ao perfil 5, apesar de à semelhança dos restantes não ocorrer uma correspondência clara entre os perfis de concentração em metais e o de condutividade eléctrica, verifica-se um comportamento inverso do perfil de condutividade eléctrica relativamente ao perfil de concentração do arsénio (As) (Figura 6.6).

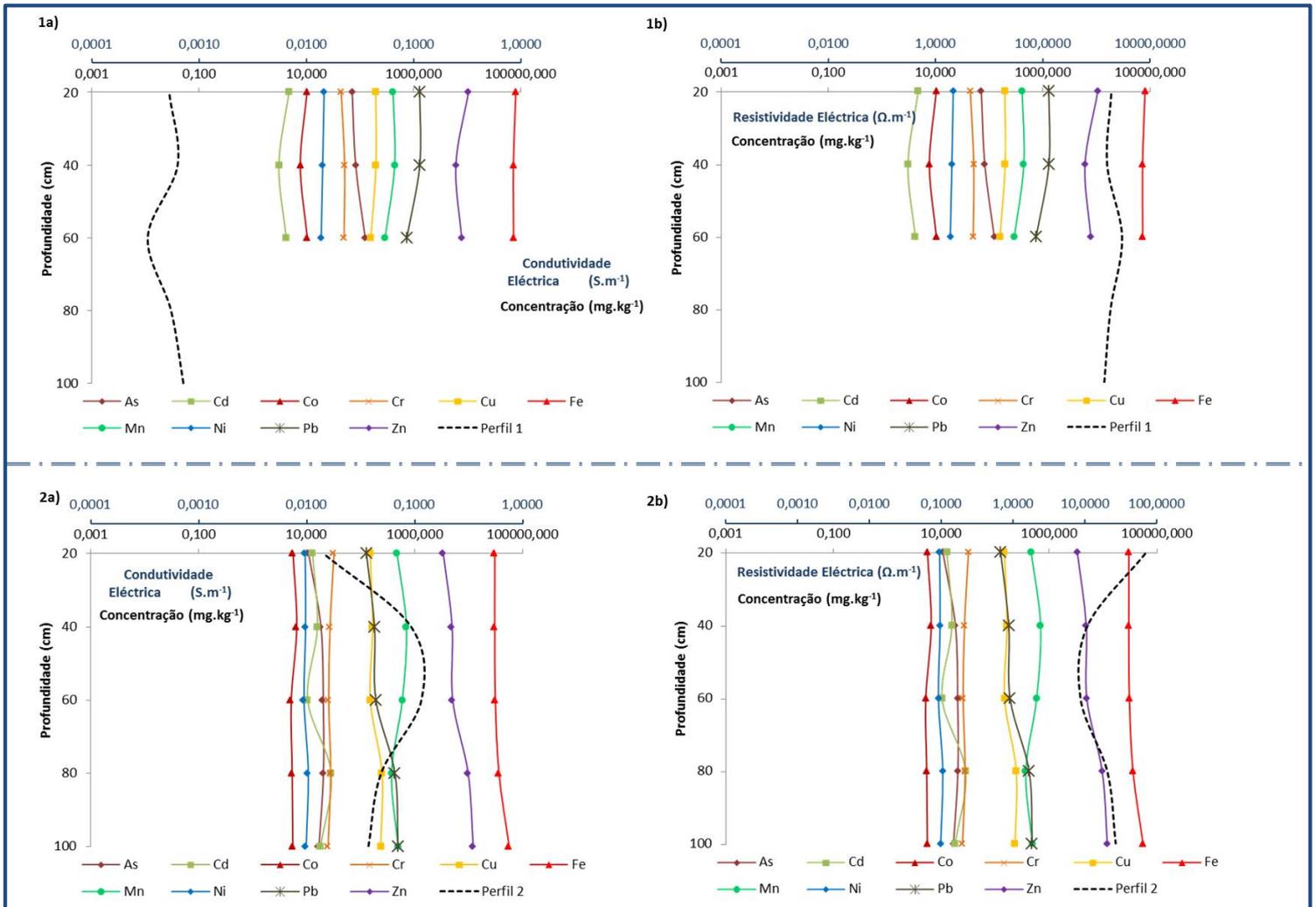


Figura 6.4: Comparação entre a variação vertical da concentração dos metais mais abundantes no solo e dos valores médios de condutividade/ resistividade geofísicos (obtidos em campo) relativamente aos perfis 1 e 2.

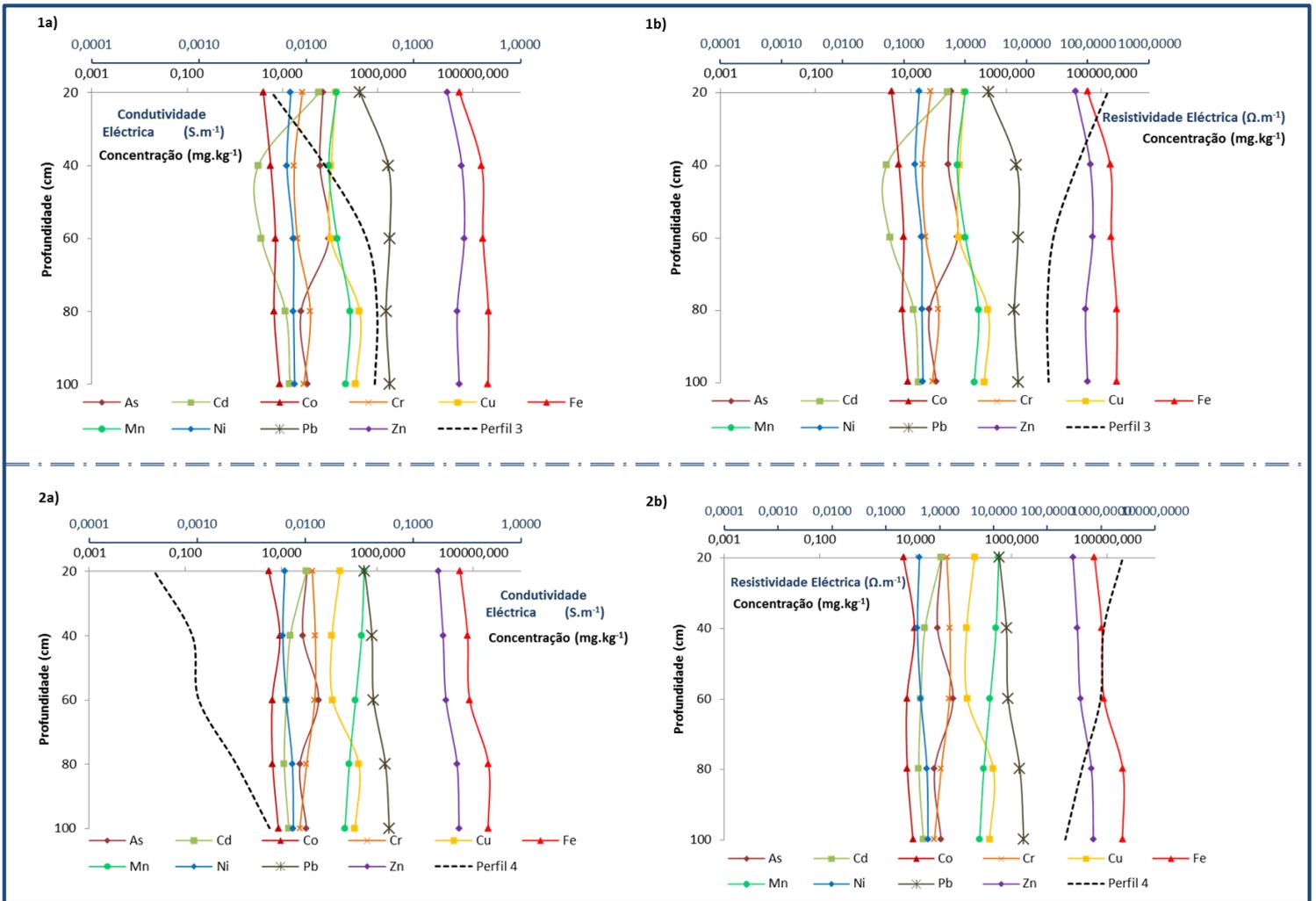


Figura 6.5: Comparação entre a variação vertical da concentração dos metais mais abundantes no solo e dos valores médios de condutividade/ resistividade (obtidos em campo) relativamente aos perfis 3 e 4.

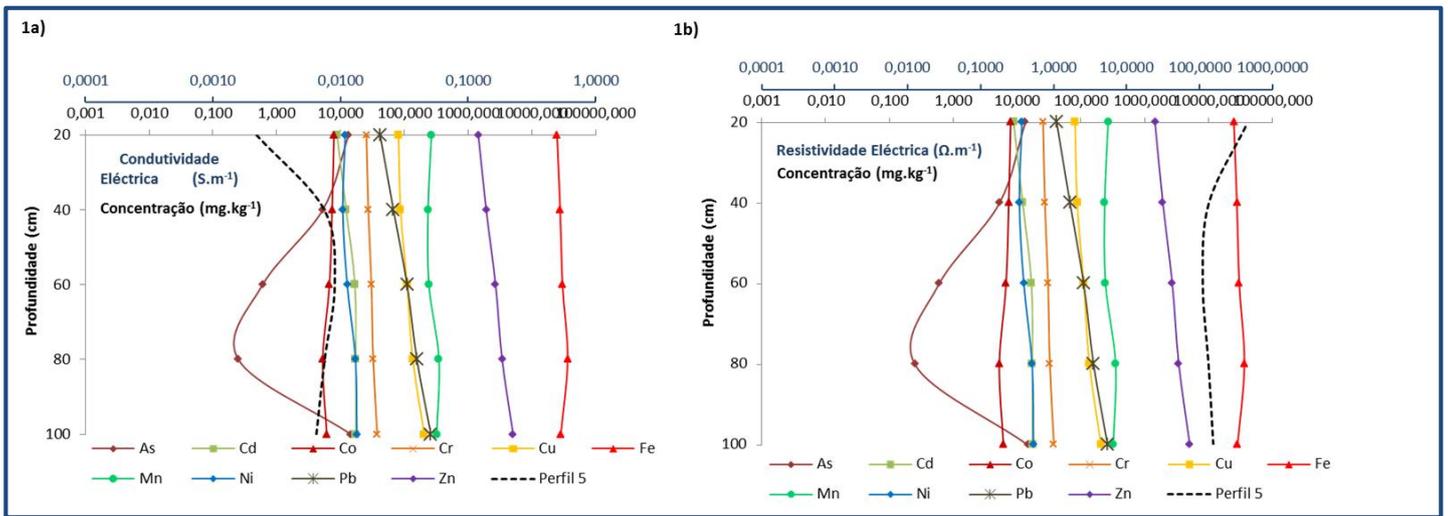


Figura 6.6: Comparação entre a variação vertical da concentração dos metais mais abundantes no solo e dos valores médios de condutividade/ resistividade (obtidos em campo) relativamente ao perfil 5.

Assim, e tendo em conta o comportamento anómalo do As, relativamente aos valores de condutividade e resistividade, contrário ao comportamento dos restantes elementos considerados, procedeu-se a um ensaio laboratorial exploratório com dopagem em As de amostras intactas (com as características inalteradas desde a sua amostragem), de forma a se tentar compreender e reproduzir sob condições mais controladas o comportamento observado no perfil 5 (Figura 6.6).

Foram seleccionadas duas amostras com características físicas e químicas distintas e com elevado teor em metais contaminantes (anteriormente determinados através da extracção sequencial e da digestão parcial com ataque bi-ácido (HCl:HNO₃ – *Aqua Regia*). Por ser necessário para a realização do ensaio uma quantidade elevada de amostra e à data não ter sido possível efectuar nova amostragem em campo, foram utilizadas as amostras CA1-33 e CA2-10 que se encontravam preservadas (congeladas) e que possuíam as características pretendidas e a quantidade necessária.

Após a escolha das amostras procedeu-se à determinação do seu teor de humidade e posterior cálculo, a partir do teor de humidade obtido, da quantidade de padrão de arsénio 1000 ppm a adicionar, de forma a se obterem concentrações de 75 e 100 mg.kg⁻¹ em cada uma das amostras (Tabela 6.6). Assim para cada uma das amostras ensaiaram-se três sub-amostras, a primeira sem adição de padrão de arsénio (correspondendo ao ensaio em branco, onde o arsénio (As) existente na amostra corresponde ao seu teor real no campo), a segunda com adição de padrão de arsénio (As) até perfazer uma concentração de 75 mg.kg⁻¹, e a terceira com adição de padrão de arsénio (As) até perfazer uma concentração de 100 mg.kg⁻¹. As amostras foram devidamente pesadas e colocadas em copos de vidro, nos quais foram homogeneizadas em ultra-sons durante

30 minutos aquando da adição do padrão de arsénio (As) e água ultrapura, compactadas, seladas com parafilme e refrigeradas até ao dia de ensaio (Figura 6.7).

Tabela 6.6: Teor de humidade das amostras utilizadas e quantidade de padrão de arsénio (As) e água ultrapura adicionado.

Amostra	Teor de Humidade (%)	Padrão As 1000 ppm adicionado (ml)	H2O Ultrapura adicionada (ml)
CA1-33 Branco	24,10	-	10,00
CA1-33 75 mg.kg ⁻¹	-	3,63	7,83
CA1-33 100 mg.kg ⁻¹	-	8,78	2,72
CA2-10 Branco	30,40	-	10,00
CA2-10 75 mg.kg ⁻¹	-	2,89	7,31
CA2-10 100 mg.kg ⁻¹	-	10,03	0,17

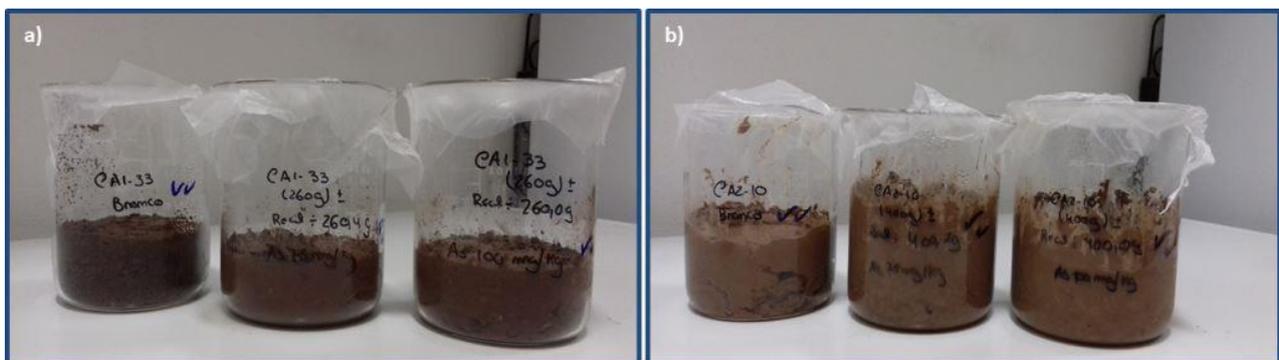


Figura 6.7: Amostras utilizadas no ensaio exploratório com dopagem em arsénio (As). a) amostra CA1-33 (Branco, dopagem 75 mg.kg⁻¹, dopagem 100 mg.kg⁻¹) b) amostra CA2-10 (Branco, dopagem 75 mg.kg⁻¹, dopagem 100 mg.kg⁻¹).

O ensaio foi realizado no laboratório de Geofísica da Universidade de Évora, sendo a aquisição de dados executada segundo uma configuração de *Wenner* (Reynolds, 1997). Para o ensaio foram utilizados três multímetros (*BK Test Bench 391*), uma a funcionar como Voltímetro outro como Amperímetro e um terceiro para controlar a fonte de corrente quadrada utilizada. Foi ainda adaptado um inversor de 12/200 volts (V) alimentado por uma bateria (Figura 6.8).

A aquisição de dados de resistividade foi feita com recurso a gravações em vídeo dos ensaios (com duração de aproximadamente dois minutos) e posterior análise dos valores gravados e disposição em tabelas.

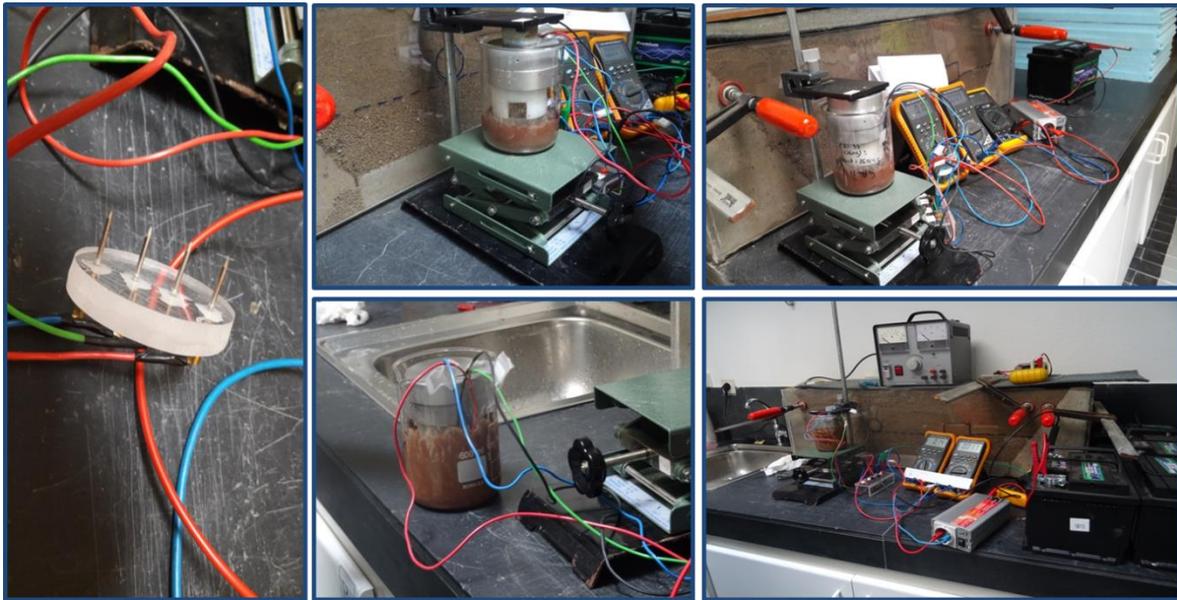


Figura 6.8: Montagem e método de execução do ensaio exploratório com dopagem em arsénio (As).

Tendo em conta que o arsénio adicionado às amostras, através do padrão de 1000 ppm, se encontra em fase móvel não correspondendo, portanto, ao comportamento real deste elemento nos sedimentos aluvionares da área em estudo, foram realizados dois ensaios exploratórios com as mesmas amostras: o primeiro ensaio decorreu no dia 6 de Janeiro de 2017 e o segundo no dia 15 de Fevereiro de 2017, sendo que o primeiro ensaio foi realizado no dia seguinte à dopagem das amostras e, no segundo, as amostras foram preservadas refrigeradas e tapadas com parafilme até ao dia da repetição do mesmo. A realização de dois ensaios teve como objectivo a verificação da continuidade ou disparidade dos dados obtidos uma vez que, apesar da adição do padrão de arsénio (As) ter sido realizada com auxílio de banho de ultrassons para promover uma homogeneização eficaz das amostras, o arsénio adicionado na dopagem encontra-se em fase móvel. Assim, para uma avaliação mais precisa do efeito da adição do padrão, seria necessário um período de tempo mais alargado para possibilitar o reajuste do As adicionado às características das amostras, de forma a fornecer dados mais concordantes com os obtidos em campo (perfil 5 – Figura 6.6).

A Tabela 6.7 regista os valores das resistividades aparentes das amostras de solo com concentração controlada de As, obtidos por análise dos dados de ensaio de acordo com as seguintes expressões matemáticas:

$$\rho = k \frac{V}{I}$$

Em que: ρ – Resistividade Eléctrica; V – Valores lidos no Voltímetro; I – Valores lidos no Amperímetro; k – Constante.

Como neste caso, $a < 20b$ (a distância entre os eléctrodos é 20 vezes inferior à profundidade a que estes estão colocados), a constante k é dada por:

$$k = \frac{4\pi a}{a + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2} - \sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Em que: a – Distância entre os eléctrodos; b – Profundidade a que se encontram os eléctrodos.

Tabela 6.7: Resistividade aparente média obtida nos dois períodos do ensaio exploratório com dopagem em arsénio (As).

Amostra	As (mg.kg ⁻¹)	Resistividade Aparente Média (Ohm.m)		Variação (%)
		06.01.2017	15.02.2017	
CA1-33 Branco	57,4	32,91	36,6	11,2
CA1-33	75	9,25	9,0	2,7
CA1-33	100	5,33	7,1	33,2
CA2-10 Branco	64,9	2,75	1,8	34,5
CA2-10	75	1,78	1,5	15,7
CA2-10	100	1,79	1,8	0,6

Verificou-se uma diferença significativa na resistividade entre as amostras dopadas e a amostra com a concentração real em arsénio (As) constante. Porém entre as amostras resultantes das duas dopagens a variação de condutividade foi muito pouco significativa. Esta pequena variação, além de ocorrer entre as duas amostras consideradas (com concentrações finais de 75 e 100 mg.kg⁻¹), verificou-se igualmente entre os dois ensaios realizados (6 de Janeiro de 2017 e 15 de Fevereiro de 2017), com variações entre si relativamente reduzidas (Tabela 6.7).

Esta dualidade de comportamento poder-se-á dever a dois factores. Um primeiro relacionado com a reduzida diferença entre a concentração de arsénio (As) nas duas amostras dopadas, sendo que 25 ppm talvez seja uma diferença muito reduzida para que se observem diferenças consideráveis nos valores de resistividade. O segundo factor poderá estar relacionado com a forma em que o arsénio (As) se apresenta na área em estudo (maioritariamente associado a óxidos de ferro (Fe) cristalinos) e o adicionado como dopante às amostras (em forma solúvel). Assim, o facto de haver uma maior diferença na resistividade entre as amostras em branco e as amostras dopadas, poderá estar relacionado com as diferentes formas em que ocorre o arsénio (As), juntando-se o facto de o arsénio adicionado não ter tempo suficiente e/ou capacidade de reacção com os outros metais presentes, inibindo assim também a sua actividade. No entanto a diferença temporal entre os ensaios exploratórios realizados não denotou uma variabilidade significativa dos resultados, estando estes dentro da mesma ordem de grandeza nos dois períodos (Tabela 6.7).

A análise dos resultados obtidos permitiu ainda verificar diferentes comportamentos nas duas amostras. Na amostra CA2-10, caracterizada pela baixa resistividade e consequente mais elevada condutividade, quase não se nota a influência do aumento da concentração em arsénio (As) nas amostras dopadas, e a diferença entre estas e a amostra branco é igualmente reduzida. Já na amostra CA1-33, com valores de resistividade ligeiramente mais elevados e consequentemente menor condutividade, verifica-se uma maior resistividade para as concentrações mais baixas (amostra em branco e amostra dopada com 75 mg.kg⁻¹) e é nítida a diminuição deste parâmetro na amostra dopada com a maior concentração (100 mg.kg⁻¹). Este comportamento manteve-se semelhante nas duas amostras para as duas datas de ensaio realizadas (Figura 6.9).

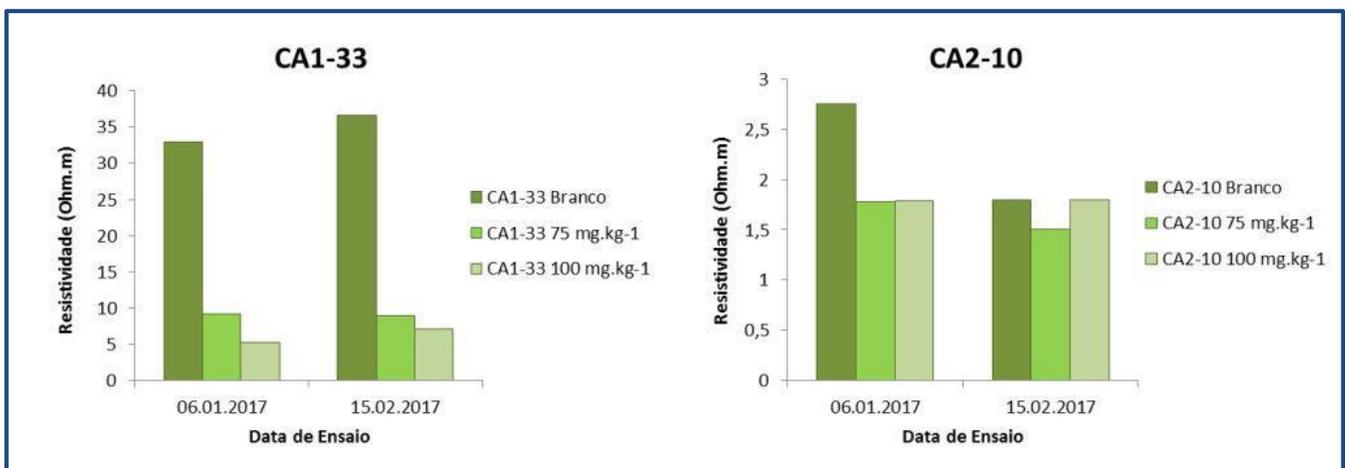


Figura 6.9: Representação gráfica dos resultados obtidos no ensaio exploratório com dopagem em arsénio (As), para as duas datas de ensaio.

Os resultados mais positivos neste ensaio, obtidos na amostra CA1-33, poder-se-á dever ao facto de a outra amostra (CA2-10) possuir uma maior concentração de elementos condutores, tais como o cádmio (Cd), o cobre (Cu), o ferro (Fe), o níquel (Ni), o chumbo (Pb) e o zinco (Zn), sendo a menor variação da resistividade concordante com a maior condutividade desta amostra. Estes valores porém poderão, não se dever maioritariamente à concentração de arsénio (As) (igualmente elevada nesta amostra) mas, ao conjunto dos restantes elementos condutores, os quais, juntamente com o arsénio, aumentam a sua condutividade e, conseqüentemente, promovem a sua menor resistividade.

A realização deste ensaio exploratório teve como ponto de partida os resultados obtidos através do ensaio de campo, nomeadamente tendo em conta os dados relativos ao arsénio (As) (Figura 6.6), onde se verificava uma redução da condutividade face a um aumento da concentração deste elemento. Numa primeira observação, este comportamento parecia indicar o efeito tampão do arsénio relativamente às propriedades condutoras dos elementos metálicos. Portanto, a diminuição dos valores da condutividade parecia ser indicadora do aumento do arsénio no meio. Ora, os resultados obtidos no ensaio exploratório registam um comportamento do arsénio (As) contrário ao obtido nos ensaios *in situ*. De salientar ainda que para se fazer uma comparação credível entre os dois métodos de ensaio (*in situ* e laboratorial) apenas se deverá ter em conta os resultados correspondentes à amostra CA2-10 dado ser a única amostra localizada na proximidade de um dos perfis geoelectricos realizados (Perfil 4, Figura 6.5).

A diferença do comportamento do arsénio (As) identificado nos resultados de campo e laboratoriais poder-se-á dever à forma química em que este se apresenta. Segundo os ensaios de extracção sequencial realizados nestas duas amostras, este elemento encontra-se maioritariamente ligado aos óxidos de ferro (Fe) amorfos (#3) e cristalinos (#4) (Figura 6.10).

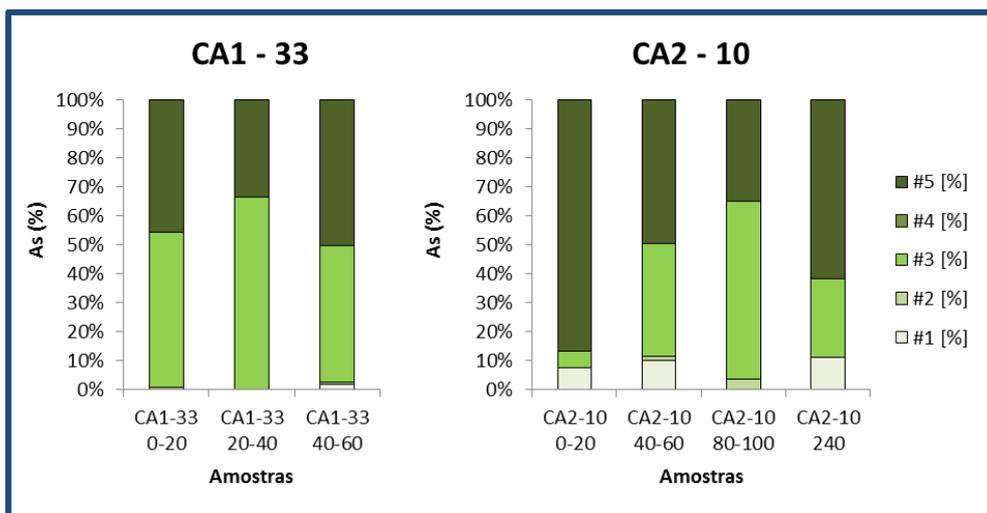


Figura 6.10: Resultados do ensaio de extracção sequencial realizado nas amostras CA1-33 e CA2-10.

(#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.)

Em situação real a presença maioritária de arsénio (As) maioritariamente ligado a óxidos de ferro amorfos e cristalinos, constituintes minerais onde se associam também diversos elementos metálicos, poderá contribuir para o seu comportamento como tampão químico dos restantes metais, o que levaria a uma maior resistividade e, conseqüentemente, a uma menor condutividade, tendo sido este o comportamento observado no perfil 5 (Figura 6.6). Quanto às amostras utilizadas no ensaio exploratório verifica-se um comportamento contrário, sendo este explicado, segundo a mesma lógica anterior, pela forma química do arsénio (As) que aqui se encontra em fase solúvel uma vez que foi adicionado a partir de um padrão sintético de arsénio (As) de 1000 ppm. As distintas formas em que este elemento se encontra nos dois tipos de ensaio, poderá justificar a disparidade do comportamento observado.

O ensaio exploratório com dopagem em arsénio (As) não se revelou muito conclusivo relativamente aos objectivos pretendidos. De facto existiram diferentes condicionantes que poderão ter influenciado o ensaio, tais como a não definição de parâmetros externos à experiência, o facto de a condutividade nas amostras já ser muito reduzida impossibilitando uma redução significativa a partir dos seu já baixos valores. Assim foram apenas controlados à partida dois parâmetros, o teor de humidade e a concentração em arsénio (As) das amostras.

Para além das condicionantes externas à experiência, um dos factores que poderá ter contribuído para a não conclusividade dos resultados obtidos foi a utilização de amostras para o ensaio laboratorial que foram recolhidas num período sazonal diferente do período em que se realizou da campanha geofísica em campo.

Este tipo de ensaio, para um estudo mais conclusivo, necessitaria de uma abordagem mais abrangente dos metais a testar, como por exemplo o ferro (Fe), o cádmio (Cd), o zinco (Zn) e o cobre (Cu), os três últimos, elementos igualmente contaminantes na zona em estudo. Assim, e tendo em conta todas as condicionantes acima identificadas, a continuidade deste ensaio teria de se assentar na utilização de amostras recolhidas na mesma época da realização dos ensaios geofísicos de campo, sendo que estas deveriam ser recolhidas em pontos sobrepostos com os perfis a realizar. Este último foi um dos pontos mais negativos neste ensaio exploratório, uma vez que as amostras se encontravam na proximidade dos perfis mas não coincidentes com os mesmos.

Apesar deste ensaio não ter sido conclusivo, apontou para a importância da sua repetição sob condições controladas, *in situ* e em laboratório. Havendo concordância de resultados, pensa-se que está aberto um espaço a possibilidade de utilização de técnicas geofísicas como técnica exploratória em trabalhos de contaminação por metais ou de prospecção geoquímica para exploração de metais, com os consequentes ganhos em termos financeiros, de eficiência e de tempo de estudo.

**7 Aplicabilidade
da Nanotecnologia
na Remediação Ambiental**



7. Aplicabilidade de Nanotecnologia na Remediação Ambiental

7.1. Nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI)

No Brasil, a obrigatoriedade da preservação da qualidade da água em todo o território nacional está estabelecida desde 1988, pela Constituição Federal e assegurada pelo Art. 225, que estabelece o princípio da proteção do meio ambiente. No Art. 23 da constituição de 1988 é clara a competência dos Estados e Municípios para “*proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas*” (Branco, 1992). A Lei Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981, conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, tem como um de seus instrumentos “*o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental*” e a Lei Nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997, denominada Política Nacional de Recursos Hídricos, tem como principal instrumento “*o enquadramento de corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água*” (Lanna, 2004). O enquadramento de corpos de água em classes, previsto na Resolução COPAM publicada entre Setembro de 1984 e Janeiro de 2011, estabelece metas de forma a garantir à água o nível de qualidade correspondente a uma classe, a ser alcançada e mantida, asseguradora do uso seguro de um corpo hídrico. Assim, todos os resultados químicos obtidos nos ensaios realizados em amostras de água foram classificados e comparados mediante os valores tabelados na Resolução COPAM (2011) indicada.

No entanto, além da elaboração de leis e normas ambientais, torna-se necessária a aplicação e desenvolvimento de tecnologias cada vez mais eficientes, capazes, de maior rapidez e menores custos para detecção, quantificação e remediação de águas contaminadas. Assim, e tendo em conta esta realidade, têm crescido nas últimas décadas, o número de tecnologias de remediação de solos e de sistemas aquáticos que, dependendo do contaminante e das condições geológicas, são mais ou menos eficazes.

As nanopartículas de ferro zero valente, reconhecidas na literatura como *nano zero valent iron* (nZVI), têm sido amplamente estudadas correspondendo a uma nova metodologia para a remoção de contaminantes das águas subterrâneas, tendo já sido aplicada em muitos países, em especial na América do Norte e na Europa. Estes estudos focam-se na utilização de nZVI para o tratamento de metais de transição e metais dissolvidos em solução de que são exemplos, o Zn, o Cu, o Pb, o Cd, o Cr, e o As, associados à drenagem ácida e na remoção ou na degradação de vários poluentes químicos, incluindo contaminantes orgânicos clorados (por exemplo pesticidas e solventes). A maioria destes tratamentos é baseada em processos de adsorção, redução e precipitação (Wilkin *et al.*, 2003; Rangsvivek *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2007; Fiore *et al.*, 2009).

Devido à sua pequena dimensão, apresentam uma área superficial extremamente elevada, o que as torna extremamente reactivas. Assim, e devido à sua grande capacidade redutora, podem ser utilizadas no tratamento *in situ* de áreas contaminadas, por injeção directa, não sendo necessário o bombeamento de águas ou a remoção de solo para a realização dos tratamentos necessários.

As principais vantagens associadas às nZVI relacionam-se com a sua rápida reacção, o que permite a diminuição dos custos associados à duração do tratamento da área e minimiza a exposição de elementos tóxicos quer a trabalhadores, quer ao meio físico. Outra vantagem é a redução completa dos contaminantes, a formação de produtos finais não tóxicos e a possibilidade de tratamento *in situ*, o que implica a diminuição de custos associados à remoção do material contaminado, aos equipamentos contratados e a estruturas físicas construídas. Possuem ainda uma elevada capacidade para fluir na subsuperfície e penetrar em fendas onde os contaminantes podem residir. Em ambiente aquoso, o ferro actua directamente como um agente redutor originando hidrogénio e iões de ferro, os quais irão também funcionar como agentes redutores. As principais limitações que estão associadas à utilização de nZVI relacionam-se com (1) a sua estabilidade, visto serem facilmente oxidadas em contacto com o ar atmosférico; (2) a sua mobilidade, pois estas partículas tendem a aglomerar-se e aderir às partículas do solo, diminuindo a sua dispersão; (3) a possibilidade da perda da sua reactividade antes de atingirem o contaminante alvo, uma vez que reagem intensamente com todos os constituintes circundantes e (4) as incertezas acerca do impacte ambiental associado à utilização em larga escala desta tecnologia (Zhang, 2003; Li *et al.*, 2006; U.S.EPA, 2008; Krajangpan, S. *et al.*, 2008; Müller *et al.*, 2010)

Existem na literatura relatos discordantes sobre a utilização destes mecanismos para metais individualmente, sendo necessário reflectir sobre as suas diferenças em termos de composição, matriz aquosa e no possível impacto de competição entre as espécies com fases aquosas e reacções de complexação a superfície similares. Podem ainda afectar estes mecanismos de imobilização de metais as reacções biológicas directamente concorrentes (Wilkin *et al.*, 2003). Para condições de pH reduzidas, a remoção de metais por ZVI é controlada por processos de adsorção sob a superfície do ferro em processos gerados a partir da sua própria corrosão (Wilkin *et al.*, 2003). Já em pH neutros a alcalinos, a precipitação das espécies carbonatadas provem da variabilidade de superfícies específicas existentes que favorecem a adsorção e o potencial de co-precipitação dos metais.

A utilização de ZVI ocorre preferencialmente, sob a forma de nanopartículas, em estruturas de remediação designadas por Barreiras Reactivas Permeáveis, uma vez que à medida que a água subterrânea atravessa a barreira com ZVI, ocorre o aumento do seu pH devido à hidrólise da água e produção de hidrogénio, que poderá levar à precipitação de metais na forma de hidróxidos, sendo este um importante processo de imobilização (Li *et al.*, 2007). Têm sido frequentemente

observados a eficiência desta técnica na remoção de metais em curtos espaços de tempo (Fiore *et al.*, 2009, Li *et al.*, 2007), não sendo, até à data aplicadas ZVI em grande escala, nomeadamente em barreiras permeáveis com o objectivo único de remoção de cationes metálicos.

7.1.1. Características, Estrutura e Propriedades das nZVI

A dimensão das partículas de ZVI, à escala nano (nZVI), utilizadas em remediação, são geralmente com cerca de 50-300 nm de diâmetro, sendo difícil a obtenção de agregados inferiores a um micrón (μ), devido ao processo de agregação rápido, em campo (U.S.EPA, 2005). Estudos realizados consideram que as nZVI possuem um estrutura de núcleo-camadas (*core-shell structure*), em que o núcleo, mais denso, é composto por Fe^0 e uma camada fina, amorfa, de óxidos de ferro que protegem as partículas do núcleo contra posteriores reacções de oxidação e, funcionando, simultaneamente, como um meio de transporte de carga e de massa (Figura 7.1) (Guan *et al.*, 2015).

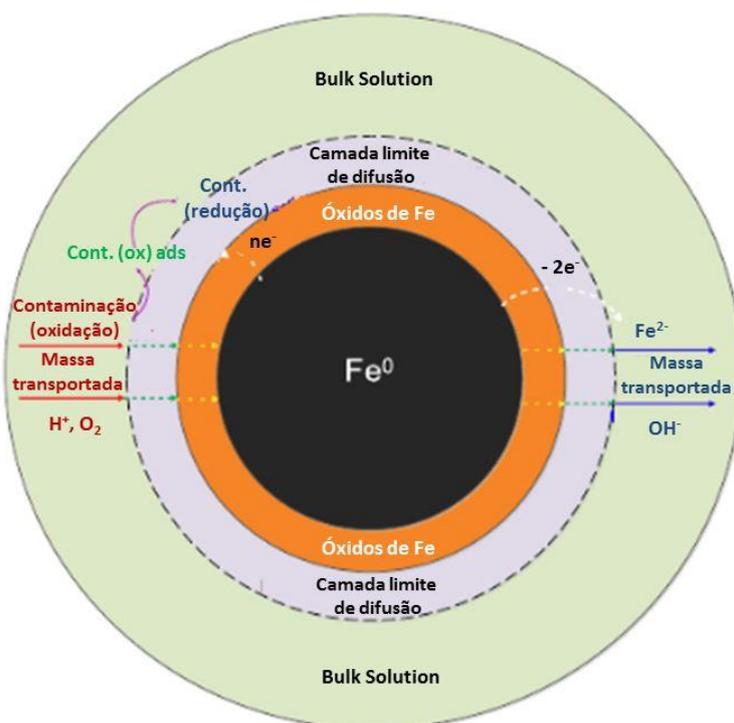


Figura 7.1: Estrutura proposta, em “núcleo-camadas”, para as nZVI (Guan *et al.*, 2015).

A camada de óxidos permite a transferência de electrões a partir do metal mediante três processos (1) directamente através de pequenos “defeitos”, tais como depressões ou pequenos orifícios, (2) indirectamente, através da faixa de óxido condutora e (3) a partir do Fe^{2+} estrutural mantendo assim, a capacidade das partículas para reduzir os contaminantes. A camada de óxido (hidróxido) exterior pode também actuar como um adsorvente eficaz para vários contaminantes, incluindo os metais (Guan *et al.*, 2015).

Os mecanismos de remoção específicos envolvidos no tratamento da contaminação por metais pesados com a utilização de nanopartículas de ZVI dependem do potencial redox padrão (E^0) do contaminante metálico. Metais com um E^0 mais negativo ou semelhante ao de Fe^0 , (por exemplo, Cd e Zn) são removidos por adsorção na camada de óxido (hidróxido) de ferro; por sua vez, metais com valores de E^0 significativamente mais positivos do que o do Fe^0 (por exemplo, Cr, As, Cu e Se) são preferencialmente removidos por precipitação e redução. Já no caso de metais com E^0 ligeiramente mais positivo do que o do Fe^0 , (por exemplo, Pb e Ni) podem ser removidos por redução e adsorção (Li *et al.*, 2007).

Outros possíveis mecanismos de reacção são a oxidação e a co-precipitação de óxidos de ferro cuja ocorrência depende do pH, Eh, da concentração inicial e especiação dos metais contaminantes (Figura 7.2). No caso de metais com propriedades catalíticas, como o paládio (Pd) a platina (Pt), o níquel (Ni) e o cobre (Cu), quando presentes em solução, como óxidos, podem sofrer redução por nZVI originando nanopartículas bimetálicas, (Fe^0/M^0). Os metais nobres (por exemplo Pd, Pt, Ni e Cu) catalisam a reacção, (diminuindo a energia necessária para a sua activação), aumentando a velocidade de reacção e permitindo maiores interações entre o contaminante e as nZVI. As nanopartículas bimetálicas têm sido utilizadas preferencialmente em compostos que normalmente possuem taxas de reacção muito lentas com nZVI. Estes factores apresentam elevada importância principalmente na obtenção de resultados positivos em remediações de aquíferos (com condutividades hidráulicas reduzidas) e de solos contaminados (O'Carroll *et al.*, 2012).

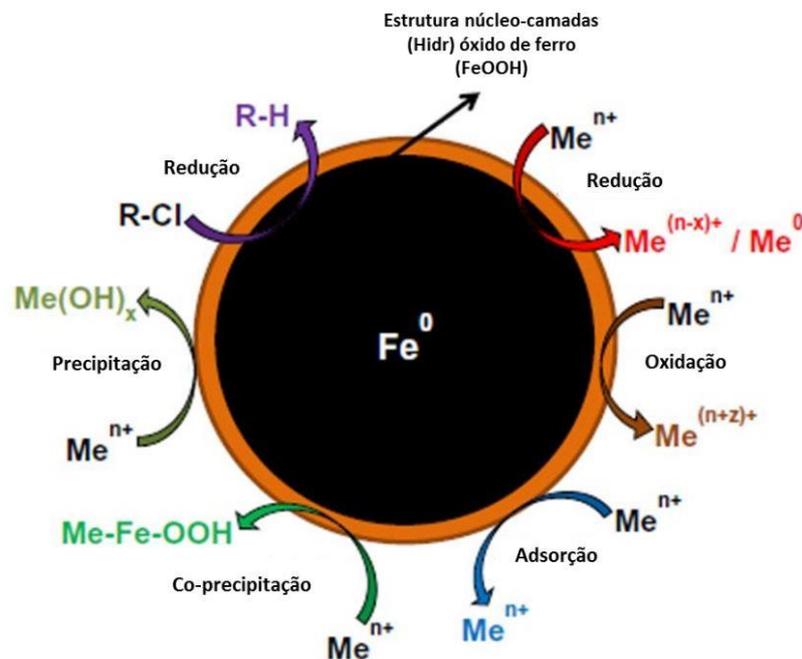


Figura 7.2: Mecanismos de remediação por nZVI (O'Carroll *et al.*, 2012).

As concentrações dos contaminantes e outros constituintes da água subterrânea ou solo influenciam o modo de actuação e a reactividade das nZVI, factor que se deve à complexidade da interação entre as nanopartículas e os constituintes do local a ser tratado. Assim, e mediante estudos realizados sobre o efeito de contaminantes em várias concentrações com as taxas de reacção com nZVI, determinou-se que quanto maior a concentração inicial de contaminante, maiores os valores de meia-vida das nZVI, uma vez que a reactividade máxima é atingida potencialmente muito perto do local de injeção, em casos de permeabilidades hidráulicas mais reduzidas. Porém, maiores estudos devem ser realizados já que os contaminantes como metais, compostos orgânicos e inorgânicos reagem de forma diferenciada com as nZVI (G. Vieira, 2014).

A transformação, a solubilidade, a mobilidade, e, por conseguinte a toxicidade de metais pesados no meio ambiente são regidos por reacções redox (oxidação-redução), reacções de precipitação/dissolução e por fenómenos de adsorção/desadsorção. As estratégias utilizadas no tratamento de água subterrânea, para remoção de contaminantes metálicos, normalmente envolvem a manipulação desses mecanismos para controlar a disponibilidade e a toxicidade de contaminantes metálicos para a biota. A solubilidade, mobilidade e a toxicidade dos metais no ambiente são fortemente dependentes dos seus estados de oxidação. As interações metal-nZVI podem ser categorizadas, de acordo com o metal presente, como (O'Carroll *et al.*, 2012):

- Redução – Cr, As, Cu, U, Pb, Ni, Se, Co, Pd, Pt, Hg, Ag.
- Adsorção – Cr, As, U, Pb, Ni, Se, Co, Cd, Zn, Ba.
- Oxidação/re-oxidação – As, U, Se, Pb.
- Co-precipitação – Cr, As, Ni, Se.
- Precipitação – Cu, Pb, Cd, Co, Zn.

Sendo que alguns dos metais podem reagir com as nZVI por mais do que um mecanismo.

A definição de uma rota preferencial de degradação dos compostos alvo pelos processos de actuação das nZVI, depende de alguns factores, devendo estes ser determinados anteriormente à injeção. Estes factores são: o grau de cristalinidade do núcleo de Fe⁰, a área superficial e a idade das nanopartículas, o pH da fase aquosa, os estabilizadores das nZVI, as concentrações dos contaminantes e outros constituintes da água subterrânea/solo a ser tratado, além da utilização ou não de nanopartículas bimetálicas (G. Vieira, 2014).

7.1.2. Transporte de nanopartículas de Ferro Zerovalente (nZVI) em Meios Porosos

As nZVI são cada vez mais utilizadas na remediação de solos e aquíferos contaminados, assim torna-se importante a compreensão de alguns tópicos importantes, nomeadamente o desenvolvimento de tecnologia envolvendo transporte, dispersão e destino das nZVI em ambiente subterrâneo, existindo ainda pouca informação sobre este assunto.

Segundo Li *et al.*, (2006), dados recentes de alguns testes realizados em campo, indicam que as nanopartículas de ferro zero valente podem migrar até distâncias compreendidas entre alguns centímetros a alguns metros a partir do ponto de injeção, existindo inúmeros factores que influenciam a sua mobilidade no ambiente de subsuperfície, incluindo o tamanho das partículas, o pH da solução, a força iónica, a composição do solo, a velocidade do fluxo de água no solo, entre outros. Um exemplo desta dependência é o facto de a água subterrânea ter geralmente valores de força iónica relativamente elevados, o que resultaria numa diminuição da repulsão eletrostática entre as partículas de nZVI e um aumento na agregação das partículas.

O método a ser utilizado, a distribuição e a quantidade de poços de injeção dependem da geologia e geoquímica do local contaminado. Heterogeneidades subterrâneas, como camadas consolidadas, falhas e fissuras podem também afectar o local de injeção proposto. Porém, a maior parte dos fornecedores utilizam um método de injeção agressiva, envolvendo fracturação hidráulica ou pneumática do meio de forma a facilitar o movimento das nZVI nos poros do solo (Crane *et al.*, 2012).

A utilização de nZVI na remediação de áreas contaminadas deve ser ponderada mediante a elaboração de algumas etapas importantes (Crane *et al.*, 2012):

- Avaliação eficaz do local, envolvendo dados geológicos como o levantamento da presença de heterogeneidades, identificação e caracterização da pluma de contaminação, parâmetros hidráulicos e químicos;
- Determinação da composição das nZVI e estratégia de implantação;
- Realização de um ensaio piloto numa pequena área do local de forma a identificar algum imprevisto à viabilidade do projecto.

Nesta última etapa, recolhem-se dados e evidências, como composição, quantidade, concentração da suspensão de nZVI e profundidade, orientação, pressão e duração da reacção, para determinar uma estratégia de remediação adequada à área e ao tipo de contaminantes e características geológicas presentes. Devem ainda ser considerados factores como a segurança dos trabalhadores, a potencialidade de libertação acidental de nZVI, o impacto associado para a fauna, a flora e as populações locais e a estratégia de monitorização (Crane *et al.*, 2012).

Tratnyek *et al.*, (2006) sugeriram um método de injeção de nZVI adaptado para o tratamento de contaminação móvel ou imóvel (Figura 7.3), sendo a localização e o número de partículas utilizadas na injeção específica para cada tipo de local contaminado, de forma a alcançar uma melhor remediação possível. Devido às fortes atrações magnéticas entre partículas e à sua sedimentação gravitacional ocorre formação de coloides de ferro, os quais dispersos em água pura, não são estáveis. Assim, soluções de biopolímeros-verdes, como goma de amido, caracterizados pela elevada viscosidade, afinamento e propriedades, foram recentemente estudadas como dispersantes e estabilizadores para lamas de ferro, reforçando a estabilidade contra a sedimentação e aumentando a mobilidade das partículas em meios porosos saturados (Tosco *et al.*, 2011).

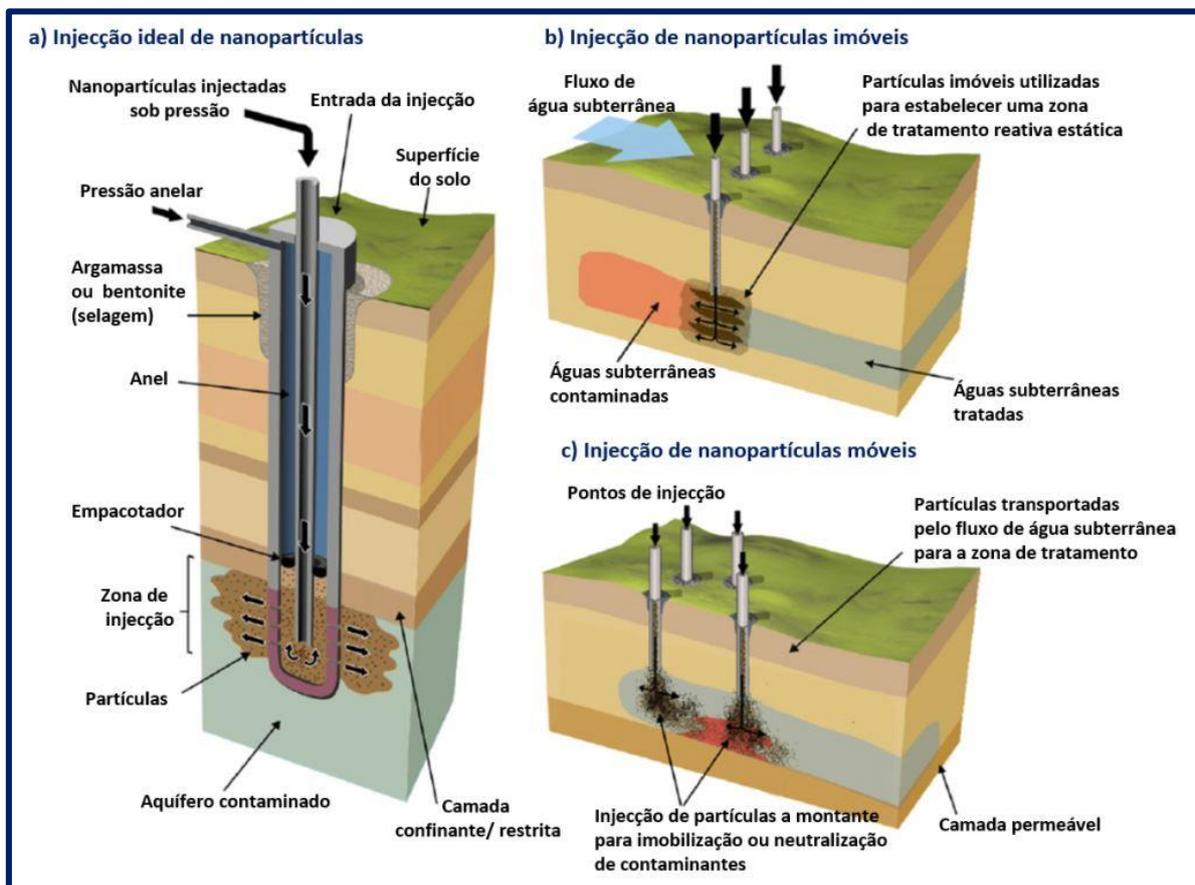


Figura 7.3: Métodos de injeção de nZVI: (a) Layout para uma injeção ideal de nanopartículas e utilização da tecnologia de injeção de nanopartículas como tratamento de organismos contaminantes imóveis (b) e móveis (c).

(Adaptado de Tratnyek *et al.*, 2006.)

A degradação de contaminantes é primeiramente alcançada através de uma rápida redução química (fornecida pelas partículas de ferro) e, em seguida, por uma exposição prolongada a processos biológicos, reforçados pela degradação dos biopolímeros usados para estabilizar a suspensão. O transporte de coloides em meios porosos saturados é controlado por interações partícula-partícula e partícula-coletor. No caso de suspensões concentradas com partículas de ferro, os parâmetros hidrodinâmicos (porosidade, hidráulica e condutividade) e propriedades do fluido (por exemplo, viscosidade) são influenciadores directos das concentrações de coloides em suspensão (Tosco *et al.*, 2011).

7.1.3. Vantagens e Limitações da aplicação de nano partículas de Ferro Zero Valente (nZVI) na remediação/descontaminação

Foram já anteriormente mencionadas as principais vantagens e limitações da utilização de nZVI em processos de remediação de áreas contaminadas, assim, e de forma sucinta as principais vantagens podem ser resumidas como:

- Elevada e rápida capacidade reactiva para a remoção de contaminantes, diminuindo assim o tempo de tratamento;
- Menor período de exposição das nZVI reactivas com trabalhadores e com o meio (fauna e flora);
- Elevada probabilidade de remoção completa dos contaminantes, originando produtos finais não tóxicos;
- Possibilidade da sua aplicação em técnicas de remediação *in situ* (ex. barreiras reactivas permeáveis);
- Menor necessidade de equipamentos e construção de estruturas complementares à superfície, não acarretando esses custos adicionais;
- A não necessidade de produtos intermédios, constituindo numa técnica de aplicação directa;
- Elevado potencial para o tratamento de uma vasta gama de poluentes prioritários (metais pesados).

Como limitações inerentes à sua aplicação, as mais relevantes correspondem a:

- Incertezas relativas ao seu tempo de vida, relacionando-se com o seu envelhecimento (perda de Fe^0 , reduzindo a quantidade disponível para que ocorra a reacção com o contaminante alvo);
- Incertezas relacionadas com o efeito da toxicidade no ambiente;
- Incertezas relacionadas com o raio de acção após a injeção das nZVI, relacionando-se com a mobilidade limitada nas nZVI no subsolo;
- Elevada probabilidade para a agregação, sedimentação e adsorção nas nZVI, influenciando directamente o seu raio de acção.

Assim, e tendo em conta as vantagens e limitações para a aplicação de nZVI na remediação de contaminantes, em 1995, Reardon calculou a taxa de corrosão anaeróbia de ferro zero valente, utilizada mais tarde por Gillham (2003) para realizar os seguintes cálculos estimativos da corrosão de ZVI à escala granular e nano.

- Para ZVI granular (tamanho ≈ 1 mm) foi estimada uma taxa de corrosão entre 0,2 e 0,6 mmol.kg^{-1} de Fe^0/dia , sendo o seu tempo de vida estimado de 130 anos.
- Para nZVI (tamanho ≈ 100 nm) foi estimada uma taxa de corrosão de 0,4 mmol.kg^{-1} de Fe^0/dia (cerca de 150 vezes mais reactivo do que o ferro granular), sendo o seu tempo de vida estimado de 0,8 anos (aproximadamente 6 meses). O facto de possuírem um tempo de vida muito reduzido é compensado pela elevada reactividade comparativamente com as ZVI granulares, no entanto estão expostas a todas as interferências físico-químicas do meio envolvente.

Assim, a eficiência das nZVI para a remoção de contaminantes *in situ* em meios porosos depende de características intrínsecas e extrínsecas, nomeadamente a elevada tendência para a sua aglomeração/agregação e a porosidade e permeabilidade por vezes reduzida desses meios (Behrens *et al.*, 2000; Dickinson *et al.*, 2010; Cullen *et al.*, 2011; Hosseini *et al.*, 2011).

A rápida agregação das nano partículas influencia directamente a sua mobilidade no subsolo, assim as reacções com alguns elementos químicos, naturalmente presentes nas águas subterrâneas, conduz a uma diminuição dos agentes redutores disponíveis para reagir com os contaminantes alvo. A agregação e sedimentação das nZVI leva ainda a uma distribuição limitada e não uniforme no subsolo, que no caso das águas subterrâneas deve-se ainda às heterogeneidades existentes nas formações aquíferas (Schrik *et al.*, 2004 *in* CityChlor, 2013). Desta agregação resulta a diminuição da superfície específica, resultando numa diminuição da sua reactividade. Como limitação ocorre ainda o seu elevado custo de aquisição e aplicação, devendo-se principalmente ao facto de ser uma tecnologia relativamente recente (Nurmi *et al.*, 2005).

7.2. Ensaio Laboratorial Experimental de Aplicação de Nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI) em Materiais Contaminados

Antes da proposta de aplicação *in situ* de um ensaio piloto com a injeção de nanopartículas ferro zero valente, foi realizado em laboratório um ensaio experimental de forma a testar a sua eficiência e aplicabilidade na zona em estudo. A realização deste ensaio teve como objectivo avaliar o efeito da aplicação de nanotecnologia na descontaminação de três amostras, com elevados teores em metais, provenientes da área industrial da unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A.. Para a realização do ensaio foi utilizada uma solução de nZVI, com diferentes concentrações, injectada nas três amostras seleccionadas.

A solução de nZVI utilizada para o ensaio foi a *NANOFER 25S*. Esta solução é constituída por partículas de dimensão inferior a 50 nm, com uma superfície específica superior a 25 m²/g, gravidade específica compreendida entre 1,15-1,25 g/cm³ (20°C) e com carga de superfície, nula (Fe(0)), (Figura 7.4), sendo quimicamente composta por ferro elementar (Fe), magnetite (Fe₃O₄), carbono (C), numa solução de água e estabilizante (*Nanoiron Future Technology*, 2016).

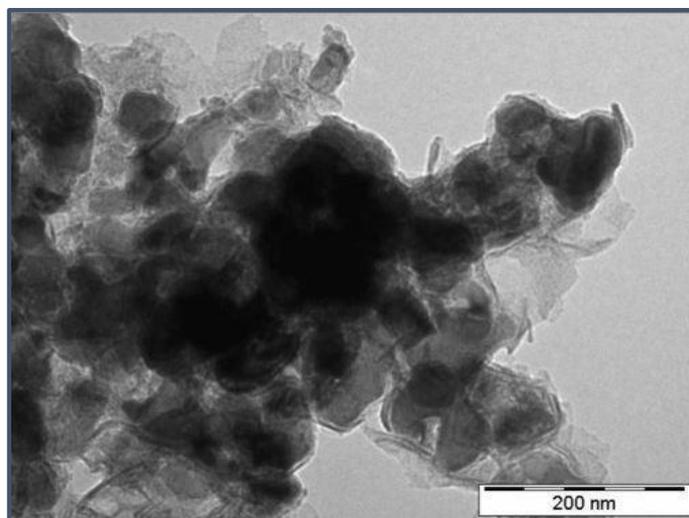


Figura 7.4: Imagem de nanopartículas de *NANOFER 25S*.

(Adaptado de: *Nanoiron Future Technology*, 2016).

Este tipo de partículas têm sido utilizados como técnica de remediação de águas subterrâneas e no tratamento águas residuais, dada a sua elevada capacidade de redução e pequena dimensão, o que lhes confere uma elevada reactividade, permitindo a remediação através da diminuição da concentração de um elevado número de substâncias tóxicas, desde substâncias orgânicas (hidrocarbonetos e radionuclídeos) e metais pesados. As características da solução injectada (*NANOFER 25S*) estão representadas na tabela 7.1 (*Nanoiron Future Technology*, 2016).

Tabela 7.1: Especificações da solução de nZVI utilizada no ensaio experimental (*NANOFER 25S*).

Composição Química das Nanopartículas de Fe ⁰	Fe (núcleo), FeO (cápsula)
Percentagem em massa da solução	20%
Massa de Fe ⁰ na fracção sólida	80%
Outras substâncias na fracção sólida	Fe ₃ O ₄ , FeO, C
Outras substâncias na fracção líquida	Estabilizador orgânico
Forma das partículas	Esférica
Granulometria das partículas de Fe ⁰	D50nm <50
Superfície específica	>25 m ² /g
Cor	Preto
Densidade da solução	1 210 kg/m ³
Densidade do Fe ⁰	7 870 kg/m ³
Densidade do Fe ₃ O ₄	5 700 kg/m ³

As nZVI *NANOFER 25S* utilizadas no ensaio têm, como todas as tecnologias experimentais, vantagens e desvantagens, sendo as principais vantagens (1) aplicação directa após diluição, não sendo necessário nenhum tipo de tecnologia específica para o seu processamento e (2) a migração decorre rapidamente e com melhor qualidade, ou seja o seu transporte é mais rápido e eficaz. Como desvantagens apresentam essencialmente uma reactividade extrema, causando a sua rápida degradação (envelhecimento), uma vez que são diversos os parâmetros do meio que influenciam a sua degradação (oxigénio do ar, oxigénio dissolvido, temperatura, etc).

A aplicabilidade desta técnica tem ainda como vantagem, para além da remediação ambiental, o facto de esta ser realizada com recurso a Fe⁰, que quando em contacto com a água ou solos, origina óxidos de ferro minerais (maioritariamente magnetite – Fe₃O₄), comuns na natureza e não tóxicos (*Nanoiron Future Technology*, 2016).

Em áreas contaminadas são geralmente aplicadas através de injeção em pequenos furos, até à profundidade conhecida como contaminada. Uma vez no solo, estas migram através do ambiente rochoso ou sedimentar, onde induzem reacções de oxidação-redução com os poluentes presentes sob a forma dissolvida, promovendo a sua retenção e imobilização. Uma vez que os

materiais aluvionares provenientes da zona em estudo têm valores de pH muito próximos da neutralidade e os elementos metálicos contaminantes se encontram maioritariamente sob formas lábeis (mais solúveis), testou-se esta tecnologia laboratorialmente, uma vez que de acordo com os pressupostos exigidos para a aplicação desta tecnologia, poder-se-iam obter resultados positivos (*Nanoiron Future Technology*, 2016).

As nanopartículas de ferro zero valente, na Europa, são fabricadas na República Checa, pela empresa *NANOIRON*. Assim, obteve-se uma amostra de 250 mL de uma solução concentrada a qual, dada a sua elevada reactividade, teve um transporte e armazenamento rápido, tendo a solução um período de vida útil de aproximadamente dois meses. A solução foi enviada três dias antes da injeção, chegando a laboratório no dia anterior ao ensaio, sendo armazenada em ambiente escuro e refrigerado (*Nanoiron Future Technology*, 2016).

7.2.1. Caracterização das Amostras Utilizadas

Foram escolhidas três amostras representativas das áreas estudadas, com teores críticos de elementos metálicos mas com diferenças entre si relativamente ao teor dos vários metais analisados. As amostras foram recolhidas na última campanha realizada em Setembro de 2014, tendo-se amostrado aproximadamente 10 Kg da camada superficial até 40 cm de profundidade. As três amostras selecionadas correspondem a (1) aluvião, na área A1, com teores críticos de Zn e Pb (2) aluvião da extensa planície aluvionar A2, com teores críticos de Zn, Pb, Cu, Cd e As e (3) aluvião na foz do córrego Grotta Seca, com elevadas concentrações de Cd, As, Zn e Pb. Na tabela 7.2 encontram-se representadas as características gerais das três amostras utilizadas no ensaio, estando a sua localização geográfica representada na figura 7.5.

Tabela 7.2: Características gerais das amostras utilizadas no ensaio experimental com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI).

Amostra	Características	Localização
CA1-33	Aluvião - Latossolo Vermelho. Localizado no topo da superfície aluvionar, com zonas argilosas cinzentas (resultantes da deposição do rio durante as cheias).	WP 130; S 18° 10,876': W 45° 14,277'
CA2- 10	Aluvião - Niossolo flúvico (Ry) + aterro. Localizado na planície aluvionar alagada na época das cheias, com material de aterro muito argiloso. Apresenta uma cobertura sulfatada.	WP 100; S 18° 10,975': W 45° 14,323'
CA3-18	Aluvião - Neossolo flúvico (Ry). Localizado na foz do Grotta Seca. Apresenta uma cobertura de gramíneas e uma camada superficial sulfatada.	WP 108; S 18° 10,980': W 45° 14,119'

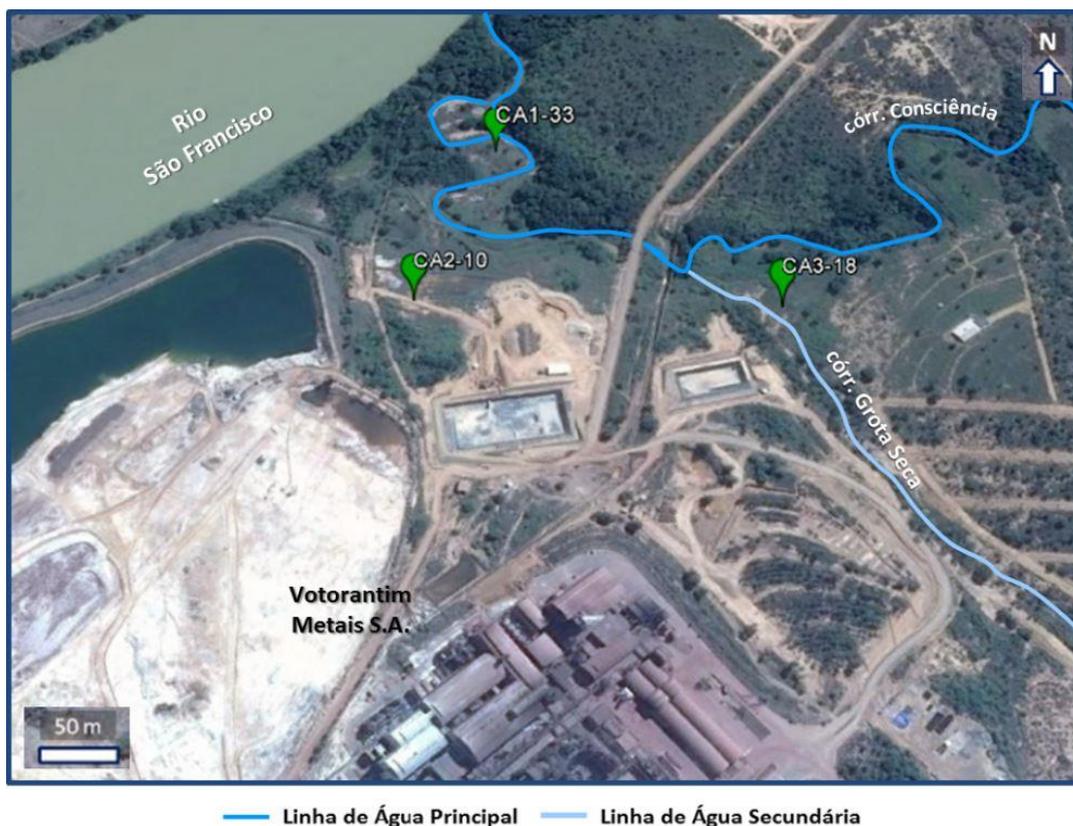


Figura 7.5: Localização geográfica das amostras utilizadas no ensaio experimental com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI).

(Google Earth, imagens de 08.05.2016 a 29.06.2016).

O transporte das amostras foi realizado em condições refrigeradas para preservação das suas características químicas originais. Em cada amostra foram igualmente realizados ensaios químicos (digestão por *Aqua Regia*, extração por acetato de amónio, análise elementar, determinação do teor em fósforo total, sulfatos e parâmetros físico-químicos (pH e Eh)) (Tabela 7.3 e 7.4) e físicos (granulometria, textura, densidade, porosidade, condutividade hidráulica e teor de humidade), (Tabela 7.5) cujos resultados se apresentam em seguida. Esta caracterização geoquímica e física das amostras permitiu a concordância com todas as restantes amostras já analisadas, uma vez que foram seguidos os mesmos procedimentos de análise e determinação indicados no Capítulo 3.

Tabela 7.3: Teores obtidos para as formas extraíveis dos elementos metálicos presentes nas amostras, através de digestão por Aqua Regia e extração por acetato de amónio, utilizadas no ensaio laboratorial com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI). (a vermelho – valores acima dos limites críticos para as aluviões; a laranja – valores que requerem atenção e a amarelo – valores acima dos limites de qualidade, segundo a legislação CONAMA (2012)).

Digestão por Aqua Regia

Amostras	Prof. (cm)	As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Co (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Zn (%)
CA1-33 [IV]	0-40	57,35	16,69	20,34	29,45	451,49	159900,70	15,66	1452,20	30,03	1908,73	52550,64	5,26
CA2-10 [IV]	0-40	64,89	12,70	9,65	34,20	366,49	109453,60	10,95	240,24	24,30	1766,90	52716,35	5,27
CA3-18 [IV]	0-40	17,80	44,96	15,20	47,88	216,54	36513,91	3,65	816,46	16,60	325,33	8414,63	0,84

Extração por Acetato de Amónio

Amostras	Prof. (cm)	As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Co (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Zn (%)
CA1-33 [IV]	0-40	< 0,2	8,93	< 0,02	< 0,02	54,84	36,24	-	54,10	< 0,02	388,51	10753,34	-
CA2-10 [IV]	0-40	< 0,2	2,19	1,20	1,20	28,44	91,81	-	25,94	0,50	271,34	11749,76	-
CA3-18 [IV]	0-40	< 0,2	29,00	0,19	0,19	58,84	86,23	-	108,20	1,51	100,15	4092,93	-

Legenda:

Aluviões CONAMA, 2012		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Branco	Normal	<5,9	< 0,6	< 33	< 17	< 14	< 8,4	< 58
Amarelo	Intermédio			33-37,3	17-35,7	14-18	8,4-35	58-123
Laranja	Atenção	5,9-17	0,6-3,5	37,3-90	35,7-197	18-35,9	35-91,3	123-315
Vermelho	Crítico	> 17	> 3,5	> 90	> 197	> 35,9	> 91,3	> 315

Tabela 7.4: Valores obtidos por análise elementar (C, H, N e S), teores analisados em sulfatos e fósforo e parâmetros físico-químico (pH e Eh) para as amostras utilizadas no ensaio laboratorial com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI).

Análise Elementar

Amostras	Prof. (cm)	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
CA1-33 [IV]	0-40	0,94	0,70	0,07	0,08
CA2-10 [IV]	0-40	0,47	0,60	0,03	0,44
CA3-18 [IV]	0-40	0,4	0,50	0,03	0,34

Sulfatos

Amostras	Prof. (cm)	Conc. Final (mg.kg ⁻¹ SO ₄)	Conc. Final (%SO ₄)
CA1-33 [IV]	0-40	159,61	0,02
CA2-10 [IV]	0-40	2369,11	0,24
CA3-18 [IV]	0-40	1539,67	0,15

Parâmetros Físico-Químicos

Amostras	Prof. (cm)	pH	Eh (mV)
CA1-33 [IV]	0-40	6,54	336,7
CA2-10 [IV]	0-40	5,77	357,5
CA3-18 [IV]	0-40	6,35	350,6

Fósforo Total

Amostras	Prof. (cm)	P_Total (mg.kg ⁻¹)
CA1-33 [IV]	0-40	210,82
CA2-10 [IV]	0-40	221,45
CA3-18 [IV]	0-40	105,75

Tabela 7.5: Caracterização física das amostras utilizadas no ensaio laboratorial com aplicação de nanopartículas de Ferro Zero Valente (nZVI), relativamente à sua granulometria, textura, densidade (aparente e partículas), porosidade, condutividade hidráulica (permeabilidade) e teor de humidade.

Granulometria

Amostras	Prof. (cm)	Fracção > 63 µm (%)									
		>2,0 mm	>1,40 mm	>1,00 mm	>710 µm	>500 µm	>355 µm	>250 µm	>180 µm	>125 µm	>90 µm
CA1-33 [IV]	0-40	0,51	0,75	0,78	0,90	1,30	2,27	5,23	8,00	9,62	7,28
CA2-10 [IV]	0-40	0,00	0,10	0,17	0,25	0,46	0,63	0,82	1,35	2,54	3,72
CA3-18 [IV]	0-40	0,15	0,14	0,19	0,20	0,36	0,62	1,10	2,18	10,62	19,97

Textura

Amostras	Prof. (cm)	Fracção < 63 µm (%)			
		Areia	Silte	Argila	Class. Shepard
CA1-33 [IV]	0-40	19,50	34,01	46,49	Argila Arenosa
CA2-10 [IV]	0-40	58,04	31,12	10,84	Areia Siltosa
CA3-18 [IV]	0-40	53,58	30,84	15,58	Areia Siltosa

Densidades e Porosidade

Amostras	Prof. (cm)	Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Densidade Partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)
CA1-33 [IV]	0-40	1,56	3,26	52,21
CA2-10 [IV]	0-40	1,35	3,22	58,01
CA3-18 [IV]	0-40	1,75	2,62	33,03

Condutividade Hidráulica (Permeabilidade)

Amostras	Prof. (cm)	K _s (cm/dia)	K _s (m/seg)
CA1-33 [IV]	0-40	8,78	1,02E-06
CA2-10 [IV]	0-40	53,06	6,14E-06
CA3-18 [IV]	0-40	5,27	6,10E-07

Teor de Humidade (W)

Amostras	Prof. (cm)	Teor de Humidade (W) (%)
CA1-33 [IV]	0-40	17,12
CA2-10 [IV]	0-40	32,06
CA3-18 [IV]	0-40	16,39

7.2.2. Metodologia de Ensaio

O ensaio foi realizado através da injeção, para cada amostra disposta em coluna, de um branco (correspondente a água destilada) e de soluções de nZVI em três diferentes concentrações, com recurso a uma bomba peristáltica.

A quantidade de amostra a introduzir em cada coluna foi calculada de acordo com os valores da densidade específica (partículas) e aparente de cada amostra e das dimensões da coluna (altura e diâmetro). Pretendendo-se injectar três concentrações de nZVI, foram preparadas quatro réplicas para cada amostra (considerando o ensaio em branco). Após a sua montagem em coluna procedeu-se à sua saturação que decorreu durante uma semana, de forma ser estabelecido o equilíbrio entre as partículas, a água intersticial existente na amostra e a água destilada de saturação que se ascendeu por capilaridade (Figura 7.6). A quantidade de água necessária para a saturação foi quantificada, sendo a partir deste volume e do teor em humidade inicial, que foi determinado o volume de água retida por cada amostra. Este valor permitiu calcular o volume de solução de nZVI a injectar, sendo estimada a injeção de 250 mL de solução em cada amostra e igual volume de água destilada foi utilizado no ensaio em branco.

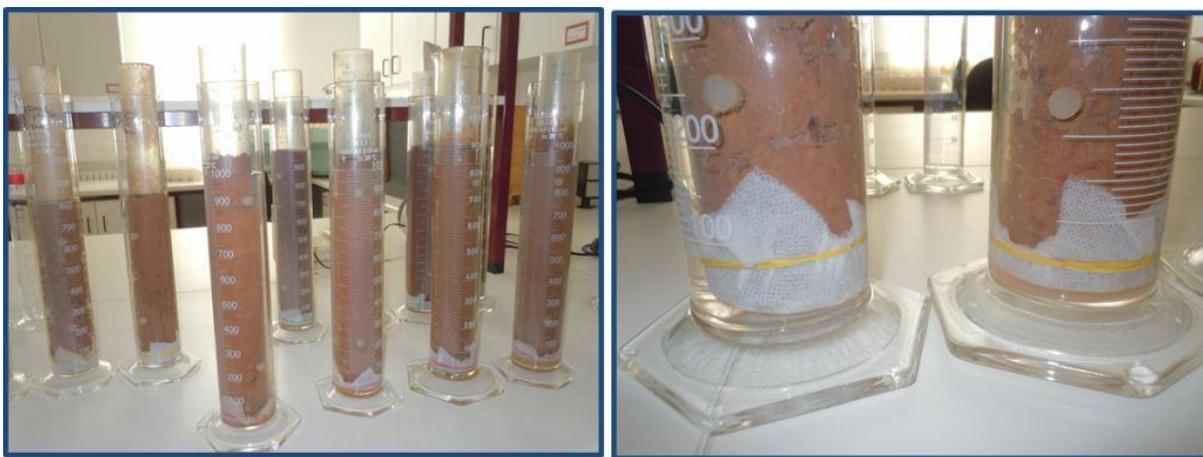


Figura 7.6: Saturação das amostras antes da injeção com as nanopartículas de ferro zero valente.

Finda a saturação das colunas, estas foram colocadas em suportes adaptados, recolhendo-se, em cada amostra, água intersticial no topo e na base da coluna recorrendo-se aos amostradores *rhizom sampler* (Figura 7.7). Para cada amostra de água extraída foi determinado o seu pH, Eh, condutividade elétrica, tendo-se seguido posterior acidificação com ácido nítrico (HNO_3) para análise de metais por ICP-OES.



Figura 7.7: Extração da água intersticial antes da injeção com a solução de nanopartículas de ferro zero valente.

As amostras foram colocadas em tubo de acrílico transparente com 4,6 cm de diâmetro interno, montadas em suporte fixas por pinças com três dedos (Figura 7.8), sendo cada coluna selada através de rolhas de silicone com as inferiores perfuradas de forma a permitir a introdução de um tubo de PVC. Este encontrava-se ligado a uma pequena torneira que por sua vez se ligava aos tubos oriundos da bomba peristáltica que faziam a ligação com o recipiente (em constante agitação) contendo a solução de nZVI a injetar. Verificou-se que este tubo não poderia ser de diâmetro muito elevado, uma vez que a elevada densidade das nanopartículas promovia a sua sedimentação no tubo. Assim, este possuía apenas o diâmetro suficiente para a passagem da solução sem sedimentação das partículas. Em cada coluna foram ainda realizados dois pequenos furos (tapados com rolhas de silicone aquando a realização do ensaio), um perto do topo e outro perto da base, tendo como finalidade a introdução de amostradores *rhizom samplers* que permitiram a extração de água intersticial periodicamente durante o decorrer do ensaio. Aquando da montagem foi colocada uma fina camada de gravilha de quartzo esterilizada, na base e no topo da coluna, de forma a promover uma boa drenagem durante o ensaio.



Figura 7.8: Montagem das amostras utilizadas no ensaio em coluna.

7.2.3. Realização do Ensaio

Foram assim ensaiadas quatro réplicas de cada amostra com diferentes concentrações de nZVI, preparadas a partir da solução padrão (NANOFER 25S) imediatamente antes da sua injeção, de forma a não ocorrer perda de reactividade (Figura 7.9):

- Ensaio em branco – amostra original com adição de 250 mL de água desionizada/destilada;
- Ensaio à concentração de 1g/l de nZVI – amostra original com adição de 250 mL de solução com concentração de 1g/l de nZVI;
- Ensaio à concentração de 3g/l de nZVI – amostra original com adição de 250 mL de solução com concentração de 3g/l de nZVI;
- Ensaio à concentração de 7g/l de nZVI – amostra original com adição de 250 mL de solução com concentração de 7g/l de nZVI.



Figura 7.9: Preparação das soluções de ferro zero valente e injeção nas colunas de amostras.

A injeção das soluções (em permanente agitação num agitador orbital) foi realizada com recurso a uma bomba peristáltica, observando-se que à medida que decorria a injeção, as nZVI em solução ascendiam lentamente nas colunas, quebrando frequentemente o material e ocupando os vazios da amostra, anteriormente saturados com água, promovendo a libertação dessa água pelo topo da coluna.

Como método de controlo da evolução e eficácia das nZVI na diminuição dos teores em metais dissolvidos, foram realizadas recolhas de água intersticial (no topo e na base de cada coluna), periodicamente ao longo do tempo de ensaio, que decorreu durante quatro meses. A periodicidade da recolha foi a seguinte: antes da injeção das nZVI e após 24h, 48h, 72h, 1 semana, 2 semanas, 1 mês, 2 meses e 4 meses da injeção. Terminado o tempo de ensaio, as amostras foram retiradas das colunas, homogeneizadas recolhendo-se uma amostra de água intersticial compósita, tentando-se anular o efeito das extracções pontuais (no topo e na base), de

forma a se obterem valores representativos de toda a amostra. Foram determinados em todas as amostras recolhidas alguns parâmetros físico-químicos (pH, Eh e condutividade) e os seus teores em metais (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) e As por ICP-OES.

O ensaio foi realizado tendo como referência uma situação de estio, uma vez que decorreu em sistema fechado e sem adição de água destilada, não tendo sido assim compensada a água que ia sendo retirada. Correspondendo a uma situação extrema, não se diagnosticou uma diminuição acentuada nos teores das formas solúveis dos metais contaminantes. Contudo, preferiu-se fazer um ensaio em que não se introduzisse nenhum factor que pudesse falsear os resultados.

7.2.4. Resultados do Ensaio

Todos os resultados obtidos com a realização deste ensaio (medições de pH, potencial redox (Eh), condutividade e teores em metais (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) ao longo de quatro meses de ensaio, encontram-se em Anexo (Anexo AII - Tabelas AII.3 a AII.5). Para efeitos de comparação serão apenas analisados o efeito das nanopartículas para os metais (e não metais) com maior perigosidade ambiental para a área em estudo, nomeadamente o arsénio, o cádmio, o cobre, o níquel, o chumbo e o zinco.

7.2.4.1. Efeito do pH

O pH corresponde a um dos principais parâmetros que afetam a eficácia das nZVI na remoção de metais, uma vez que o seu aumento favorece a formação de hidróxidos de ferro, os quais eventualmente podem formar camadas, precipitadas sobre a superfície das nZVI, inibindo assim a sua reactividade (Pereira *et al.*, 2005). Assim e de acordo com os resultados obtidos verificaram-se as seguintes variações de pH:

- 1) Uma diferença significativa dos valores de pH das amostras sólidas entre os valores determinados directamente *in situ*, no dia da amostragem, e os valores medidos imediatamente antes da injeção com nZVI, em laboratório, após sete dias de saturação (Tabela 7.6). Anteriormente à injeção com as nanopartículas foi extraída água intersticial, na qual foi também medido o pH, sendo estes valores, geralmente, inferiores aos determinados directamente nas amostras sólidas. Verifica-se ainda uma disparidade dos valores de pH, para a mesma amostra, entre as quatro colunas e, em cada coluna entre as duas sub-amostras recolhidas (superior e inferior), não se observando um padrão regular (Anexo AII - Tabelas AII.3 a AII.5).

Tabela 7.6: Valores de pH medidos nas amostras após amostragem e antes da injeção com nZVI após saturação durante sete dias.

Amostra		<i>in situ</i>	Pré-injeção
CA1-33 (1 g/l)	Superior	6,54	4,44
	Inferior	6,54	4,07
CA1-33 (3 g/l)	Superior	6,54	3,50
	Inferior	6,54	6,52
CA1-33 (7 g/l)	Superior	6,54	5,79
	Inferior	6,54	6,71
CA1-33 (0 g/l)	Superior	6,54	6,7
	Inferior	6,54	6,65
CA2-10 (1 g/l)	Superior	5,77	5,21
	Inferior	5,77	-
CA2-10 (3 g/l)	Superior	5,77	-
	Inferior	5,77	-
CA2-10 (7 g/l)	Superior	5,77	5,94
	Inferior	5,77	5,91
CA2-10 (0 g/l)	Superior	5,77	2,57
	Inferior	5,77	2,57
CA3-18 (1 g/l)	Superior	6,35	4,31
	Inferior	6,35	5,76
CA3-18 (3 g/l)	Superior	6,35	5,81
	Inferior	6,35	6,71
CA3-18 (7 g/l)	Superior	6,35	5,27
	Inferior	6,35	6,04
CA3-18 (0 g/l)	Superior	6,35	4,65
	Inferior	6,35	6,43

Esta diminuição do pH observada, após saturação das amostras, poderá estar relacionada com a alteração das condições químicas do meio, nomeadamente o contacto com o dióxido de carbono (CO₂) atmosférico que poderá ter levado à formação de ácido carbónico (H₂CO₃), acidificando as amostras uma vez que o pH corresponde a um parâmetro suscetível de alteração no tempo quando em contacto com a atmosfera. A saturação das amostras poderá também ter contribuído para a diminuição do pH através de reacções de hidrólise com libertação de cationes responsáveis por processos de acidez de troca (H⁺ e Al³⁺), uma vez que a saturação ocorreu em meio fechado dando tempo para a ocorrência de reacções entre a água e as partículas.

- 2) Uma variação padrão dos valores de pH ao longo do tempo, de acordo com a concentração de solução de nZVI utilizada e no ensaio em branco, sendo essa variação distinta entre amostras (Figura 7.10). É visível para as três amostras, tanto na parte superior como inferior das colunas, uma maior uniformidade na variação de pH ao longo do tempo aquando da utilização da concentração mais elevada de nZVI (7g/l), sendo esta regularidade directamente proporcional às concentrações obtidas em elementos metálicos (a abordar mais à frente). No que se refere ao comportamento deste parâmetro para a concentração mais reduzida (1g/l) e o ensaio em branco, verifica-se uma variação semelhante, podendo indicar a predominância de reacções de hidrólise (responsáveis pela alteração do pH), sobrepondo-se assim à acção das nZVI para esta concentração. Já para os ensaios onde foram utilizadas as concentrações mais elevadas (3 e 7g/l), é visível de forma mais clara a influência das reacções químicas resultantes da reactividade das nZVI, verificando-se uma descida brusca dos valores de pH ao fim de 2-3 dias e uma subida gradual ao fim de 7-14 dias, com ocorrência de um patamar mais estável a partir dos 60 dias. A amostra CA2-10 contraria o comportamento das restantes, mantendo os valores de pH baixos até ao final do ensaio (3-120 dias) (Figura 7.10).

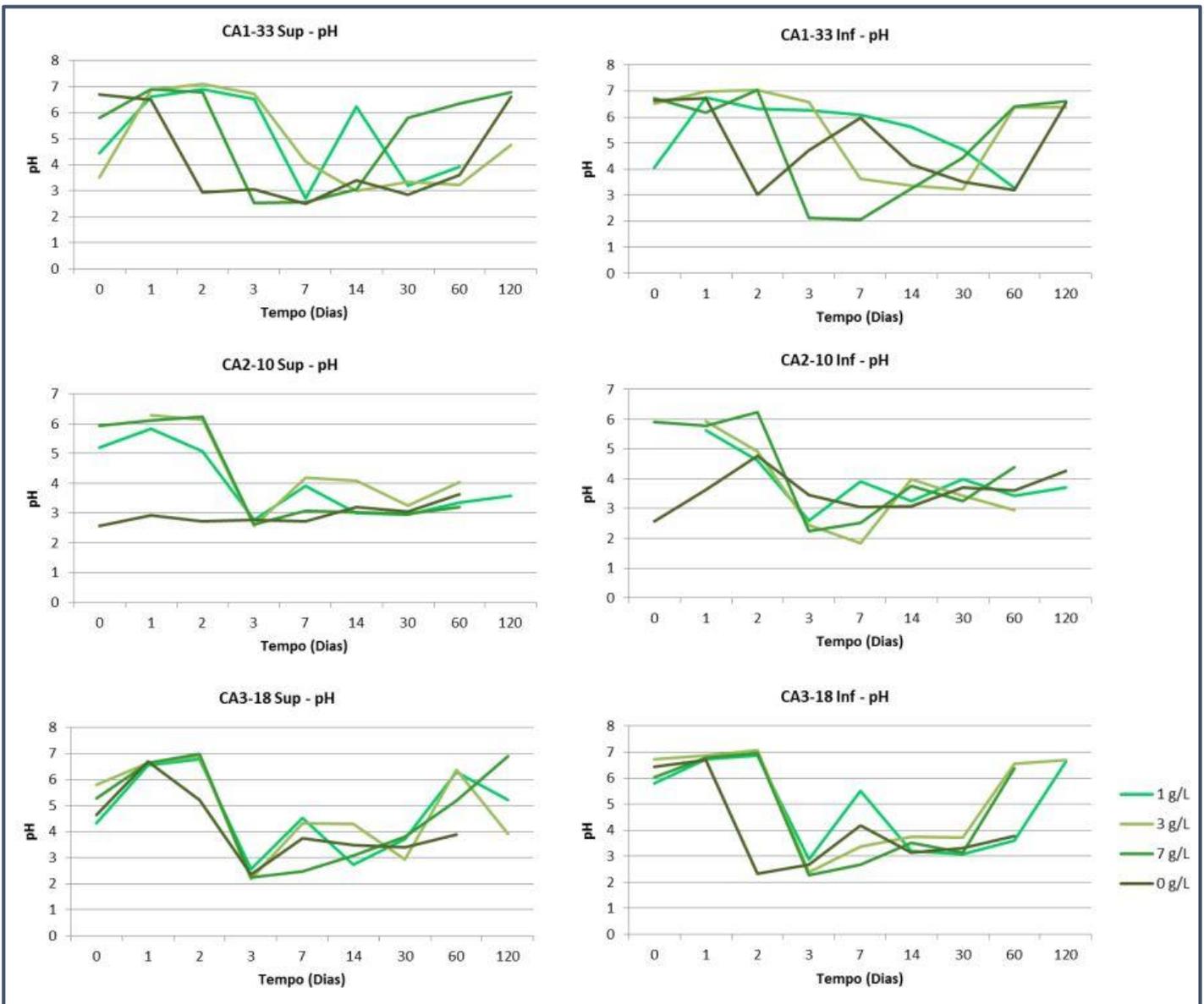


Figura 7.10: Evolução temporal dos valores de pH nas amostras consideradas (CA1-33; CA2-10 e CA3-18), em função da concentração de solução de nZVI injectadas.

Um dos factores que poderá ter influenciado o comportamento do pH descrito é a reactividade e instabilidade das nZVI. Em condições ambientais o Fe^0 , presente nestas nano-estruturas, sofre um conjunto de reacções de oxidação quando em contacto com o oxigénio (O_2) e a água (H_2O), que ao reagirem libertam electrões que, por sua vez, irão reduzir os metais presentes na solução. Estas reacções poderão ser diversas, ocorrendo alternada ou paralelamente, contribuindo para a maior ou menor quantidade de H^+ ou HO^- em solução. O estudo mineralógico das amostras ensaiadas identificou o seu enriquecimento em óxidos e hidróxidos de ferro, podendo este factor influenciar o número de reacções que levam à formação de H^+ , e consequente diminuição do pH. Uma vez que se tratam de amostras ricas em óxidos e hidróxidos de ferro, o

Fe^{2+} resultante da oxidação por hidrólise poderá formar $\text{Fe}(\text{OH})_2$ à superfície das nanopartículas. O Fe^{2+} corresponde a uma espécie instável em condições oxidantes, originando facilmente Fe^{3+} que por hidrólise precipita originando diferentes óxidos e hidróxidos cristalinos e amorfos (dependendo da disponibilidade de oxigénio (O_2)). Os compostos formados precipitam sobre as nanopartículas, tornando-as mais espessas, diminuindo assim a sua reactividade. Com a diminuição da reactividade, todo este processo de oxidação-redução diminui, o que poderá levar ao aumento gradual do pH da solução injectada nas amostras ao fim de 7-14 dias (Figura 7.10).

Da análise deste primeiro parâmetro pode-se concluir que as condições laboratoriais não conseguem reflectir convenientemente as condições reais. As condições de realização do ensaio refletem situações extremas, uma vez que o ensaio foi realizado em sistema fechado (não houve adição de água durante o ensaio de forma a não promover a diluição do meio) e os iões H^+ presentes não tinham possibilidade de dispersão à medida que sofriam as reacções químicas inerentes à hidrólise.

7.2.4.2. Efeito do Eh (potencial *redox*)

As nZVI correspondem a um importante agente redutor que, em meio aquoso, reage com o oxigénio dissolvido, com a água e com outros oxidantes presentes em solução como por exemplo nitratos e sulfatos. Por outro lado o Fe^0 , ao transferir electrões para os metais existentes na solução, de forma a reduzi-los, oxida, originando óxidos e hidróxidos de ferro, libertando para isso radicais hidroxilos. Estas reacções, entre o Fe^0 e o oxigénio dissolvido, levam ao consumo de H^+ e à libertação de OH^- , provocando conseqüentemente uma diminuição do potencial redox (Eh) e um aumento do pH. (Cantrell *et al.*, 1995; Smith, 1996; Fiedor *et al.*, 1998; Gu *et al.*, 1998; Shokes, *et al.*, 1999; Blowes *et al.*, 2000; Noubactep *et al.*, 2003; Wilkin, *et al.*, 2003).

No ensaio realizado, esta relação (diminuição do Eh e aumento de pH) foi apenas verificada nos dois primeiros dias após a injeção das nZVI, verificando-se a relação contrária a partir do terceiro dia de ensaio (Figuras 7.10 e 7.11). O comportamento observado poder-se-á dever ao excesso de metais em solução, visto que o ensaio foi realizado num meio confinado onde não foi possível a ocorrência de processos naturais como a infiltração, a difusão ou a lixiviação dos iões solúveis. O excesso de metais em saturação permanente em água poderá contribuir para a diminuição das condições de oxidação. Assim, após dois dias de ensaio o Fe^0 presente nas nZVI poderá ter reagido directamente com os elementos metálicos em solução, sob forma catiónica, levando à libertação de H^+ , com conseqüente diminuição do pH e dissolução de óxidos de ferro, mecanismo que poderá justificar o aumento do potencial redox (Eh) (Figura 7.11).

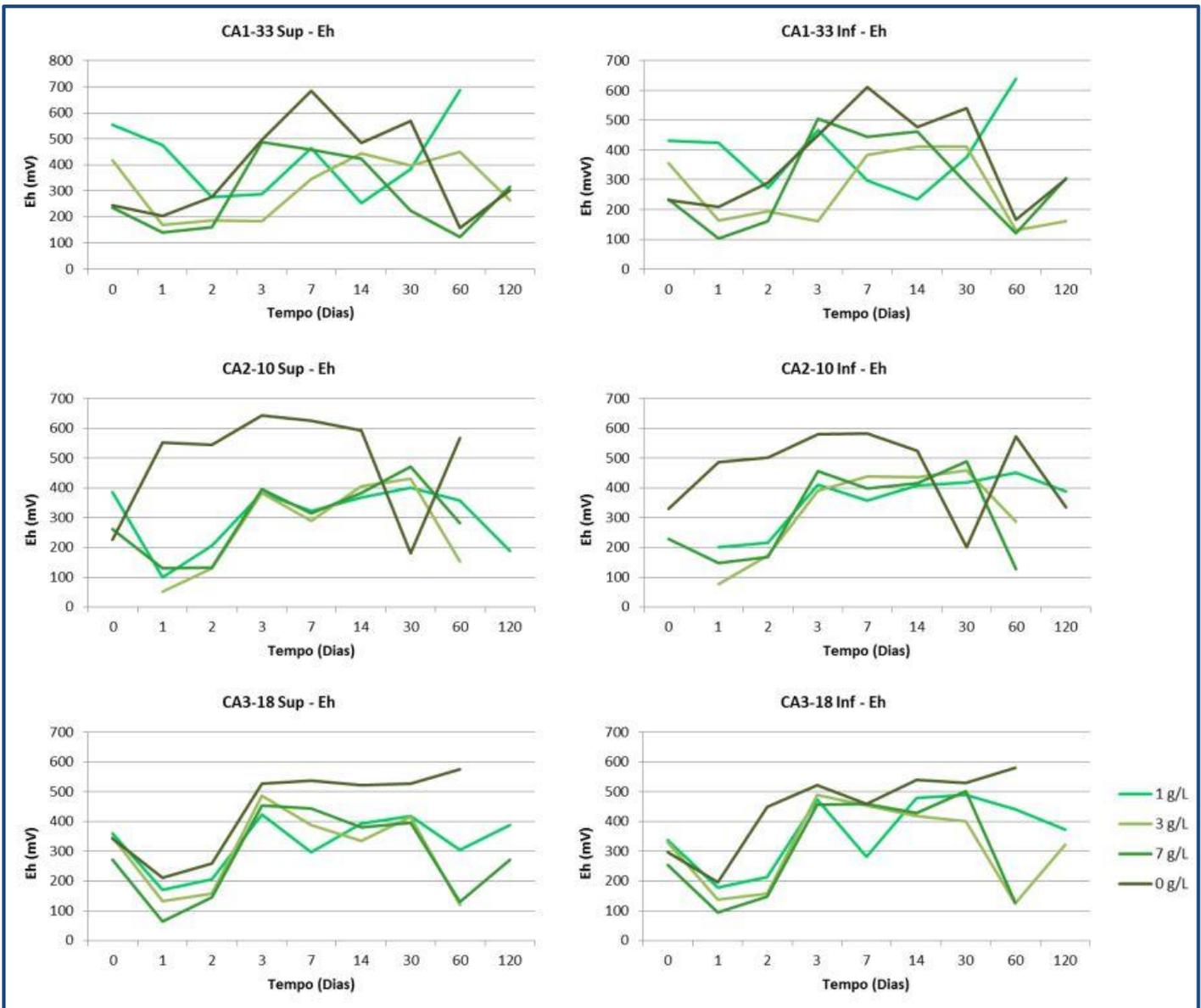


Figura 7.11: Evolução temporal dos valores de Eh nas amostras consideradas (CA1-33; CA2-10 e CA3-18), em função da concentração de solução de nZVI injectadas.

A evolução do Eh ao longo do ensaio é equivalente à verificada para o pH, o que é concordante com a interdependência entre estes dois parâmetros. Estas oscilações poder-se-ão dever às alterações químicas (reações de oxidação-redução e precipitação) e à diminuição de processos de adsorção e desadsorção condicionantes da capacidade de solubilização dos diferentes elementos metálicos, ocorridas durante o período de ensaio. Observando a figura 7.11, verifica-se que essas alterações são muito idênticas nas amostras CA2-10 e CA3-18 (à excepção da concentração 0g/l), encontrando-se algumas diferenças na amostra CA1-33, e destacando-se as variações correspondentes à concentração 1g/l. Esta diferença poderá relacionar-se com a diferente composição geoquímica e ocorrência de metais contaminantes da amostra CA1-33 e

com a sua granulometria mais fina (Argila arenosa, segundo a classificação de *Shepard* – Tabela 7.5), relativamente às restantes amostras.

Não considerando os valores obtidos para a concentração 0g/l de nZVI, os resultados obtidos pelas diferentes concentrações de nZVI injectadas são semelhantes, seguindo aproximadamente o mesmo padrão de variações ao longo do ensaio e, destacando-se as concentrações 3 e 7g/l. Os valores máximos de potencial redox verificam-se, independentemente da concentração de nZVI, até aos trinta dias de ensaio, seguindo-se uma diminuição brusca até aos sessenta dias e um posterior aumento até ao final do ensaio para as amostras (CA1-33 e CA3-18), tendendo a aproximarem-se dos valores iniciais (Figura 7.11).

Tal como ocorrido para os valores de pH, verifica-se para o Eh uma disparidade entre os valores esperados e os valores obtido em laboratório, uma vez que em meio natural o potencial redox esperado deverá ser significativamente mais baixo, o que poderá facilitar a reactividade das nanopartículas. No ensaio laboratorial realizado as amostras utilizadas encontravam-se perturbadas e remexidas pelo que poderá ter influenciado os valores de Eh tornando-os muito mais elevados do que os naturalmente esperados (ordem dos 200-400 mV).

7.2.4.3. Condutividade

Os valores da condutividade seguem, ao longo do período de ensaio, uma oscilação idêntica para todas as concentrações de nZVI, principalmente nas amostras CA1-33 e CA3-18, verificando-se para todas as amostras uma disparidade de valores entre as sub-amostras recolhidas na parte superior e inferior da coluna (Figura 7.12). Esta disparidade poder-se-á dever à insuficiente dispersão das nanopartículas por toda a coluna, visto que ocorreram agregações de nZVI em alguns sectores da coluna (Figura 7.13).

A medição da condutividade corresponde à concentração total dos elementos em solução sob a forma iónica, incluindo ainda complexos aniónicos (sulfatos e nitratos), catiões alcalinos, alcalino-terrosos e metálicos (metais contaminantes e ferro) (Ribeiro, 2010). Assim, o aumento da condutividade verificado para todas as amostras após o primeiro dia de injeção, principalmente para a concentração mais elevada (7g/l), é considerada normal, uma vez que se encontravam em solução um elevado número de elementos metálicos, principalmente o Fe^0 das nZVI (Figura 7.12).

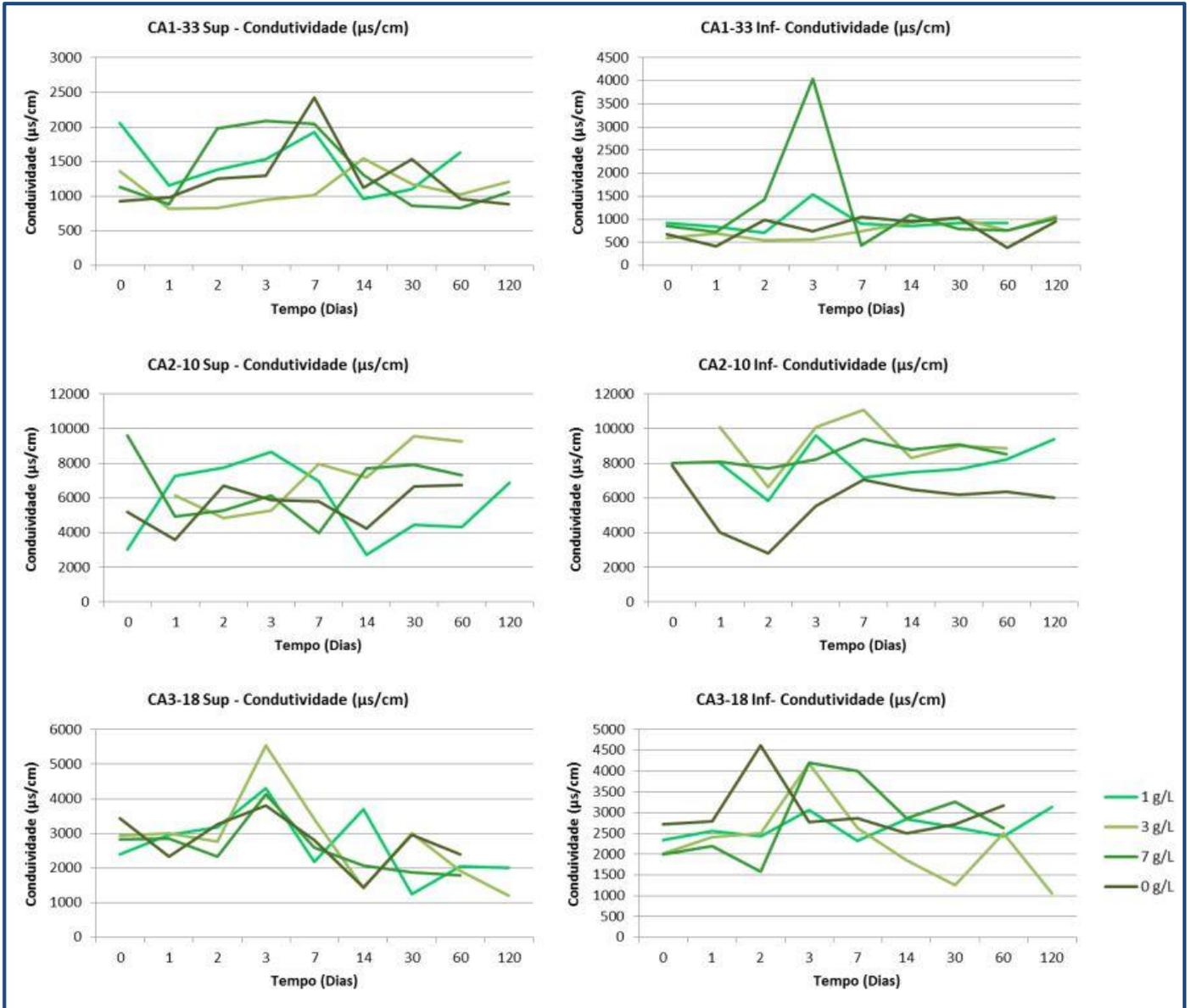


Figura 7.12: Evolução temporal dos valores de condutividade nas amostras consideradas (CA1-33; CA2-10 e CA3-18), em função da concentração de solução de nZVI injectada.



Figura 7.13: Aglomerações de nZVI formadas nas colunas durante o ensaio laboratorial.

O Fe^0 presente no núcleo das nZVI ao ceder electrões ao meio passa a Fe^{2+} e Fe^{3+} , que por sua vez poderão ser solubilizados mantendo-se assim em fase solúvel para o caso de pH baixo, facto que se verificou nos primeiros dias de ensaio ($\text{pH} < 3$ nas amostras após três dias). O aumento gradual dos valores de pH, a partir dos sete dias de ensaio, influencia a mobilidade do ferro, diminuindo-a, criando-se condições adequadas para a ocorrência de precipitação de óxidos de ferro e diminuindo conseqüentemente a sua concentração na fase solúvel (Figura 7.10).

A imobilização do ferro poderá ser acompanhada por outros catiões metálicos, presentes em elevadas concentrações na fase aquosa (por exemplo o zinco). Estes elementos poderão coprecipitar com o ferro ou ficarem adsorvidos na estrutura dos hidróxidos de ferro formados à superfície das nanopartículas, com forte capacidade de retenção. Poderão ainda ocorrer mecanismos idênticos para outros elementos metálicos que existam em elevada concentração na fase solúvel, como por exemplo o cádmio e o níquel, os quais serão analisados posteriormente.

Estes mecanismos de retenção poderão relacionar-se com a diminuição gradual da condutividade a partir dos sete dias de ensaio, sendo os valores mais baixos atingidos em média ao fim de sessenta dias com um ligeiro aumento gradual até ao final do ensaio que poderá ser explicado pela variação das concentrações de catiões metálicos nas águas intersticiais. Verifica-se ainda que a amostra com o maior número de oscilações nos valores de condutividade corresponde à amostra CA2-10, podendo os valores obtidos relacionarem-se com o elevado teor em sulfatos e elementos metálicos em fase solúvel presentes nesta amostra (Figura 7.12).

7.2.5. Variação dos Elementos Metálicos mais Relevantes

O principal objectivo da realização do ensaio laboratorial de injeção de nZVI é a percepção da evolução dos níveis de contaminação em metais contaminantes quando colocados em contacto com as nanopartículas. Assim, segue-se a análise dos resultados obtidos para os metais e metaloides contaminantes com maior expressão e perigosidade para a área em estudo, nomeadamente o arsénio, o cádmio, o cobre, o níquel, o chumbo e o zinco. Os valores totais da análise realizada para todos os metais considerados, assim como para o cobalto, o ferro e o manganês encontram-se em Anexo (Anexo AII -Tabelas AII.6 a AII.8).

7.2.5.1. Comportamento do Arsénio

O arsénio possui potencial redox padrão (E^0) mais positivo do que o Fe^0 das nZVI, originando por isso reacções idênticas com as do núcleo das nanopartículas e com a camada de óxidos e hidróxidos existentes na sua periferia, contribuindo assim de forma mais eficaz para a sua estabilização (Yan *et al.*, 2012).

Encontra-se representado na figura 7.14 a variação dos teores de arsénio em solução durante o ensaio de injeção das nZVI para as amostras consideradas (CA1-33; CA2-10 e CA3-18).

Para a amostra CA1-33, verifica-se uma retenção irregular de arsénio nas três situações testadas: (1) ao longo do ensaio, (2) entre as diferentes concentrações de nZVI testadas e (3) entre as sub-amostras recolhidas no topo (Sup) e na base (Inf) das colunas. Esta retenção irregular poder-se-á dever à distribuição não homogénea das soluções de nZVI quando a sua injeção e com a formação de aglomerações de nanopartículas que poderão ter influenciado as reacções químicas dentro das colunas. No entanto a análise geoquímica realizada detectou para esta amostra teores muito baixos em arsénio na fase solúvel, tornando pouco credíveis os resultados obtidos neste ensaio. As concentrações 3 e 7g/l foram, ainda assim as mais eficazes na remoção do arsénio, tendo imobilizado a maior percentagem deste elemento ao fim de 120 dias. No entanto, verificou-se idêntica remoção de arsénio pela concentração 0g/l (sem adição de nZVI), o que permite considerar que o efeito nas nZVI não melhorou a remoção deste elemento comparativamente com a lixiviação com água destilada.

A amostra CA2-10 apresenta teores em arsénio igualmente baixos, sendo alguns deles ligeiramente superiores aos propostos pela legislação COPAM (2011) para água subterrâneas (0,01 mg/l) (Anexo AII - Tabela AII.7), mas superiores aos observados na amostra CA1-33. A remoção de arsénio foi mais expressiva para as concentrações de nZVI mais elevadas (3 e 7g/l), apresentando teores na ordem dos 90% nas águas intersticiais analisadas ao fim de 120 dias e um máximo de cerca de 290% ao fim de 60 dias para a concentração de 3g/l na sub-amostra superior. Tal como na amostra anterior verificou-se uma elevada redução do teor em arsénio no ensaio em branco no final do ensaio e uma heterogeneidade dos valores associados aos mesmos factores intrínsecos das colunas anteriormente mencionados (Figura 7.14).

Relativamente à amostra CA3-18 observaram-se igualmente valores reduzidos em arsénio, seguindo um padrão semelhante ao da amostra CA1-33 com a diminuição em arsénio após os primeiros dias de injeção, um aumento no período entre os 14 e 60 dias e posterior diminuição mais expressiva na fase final do ensaio. Assim, para este elemento, verificam-se teores abaixo do limite COPAM (2011) para todas as amostras ao fim de 120 dias, parecendo ocorrer um efeito positivo das nZVI na sua remoção, destacando-se as concentrações mais elevadas (3 e 7g/l). Observou-se ainda a elevada remoção de arsénio nos ensaios em branco apenas por lixiviação com água destilada (Figura 7.14).

Foi ainda analisada uma amostra compósita obtida através da homogeneização das amostras recolhidas no início e no final do ensaio, realçando os processos de imobilização do arsénio pelas diferentes concentrações de nZVI (Figura 7.15). Assim, para este elemento verificaram-se variações pouco significativas entre os teores das amostras iniciais e finais, facto que se poderá dever à já reduzida concentração deste elemento nas amostras consideradas. Os teores totais determinados na amostra compósita encontram-se em Anexo (Anexo AII. – Tabela AII.9)

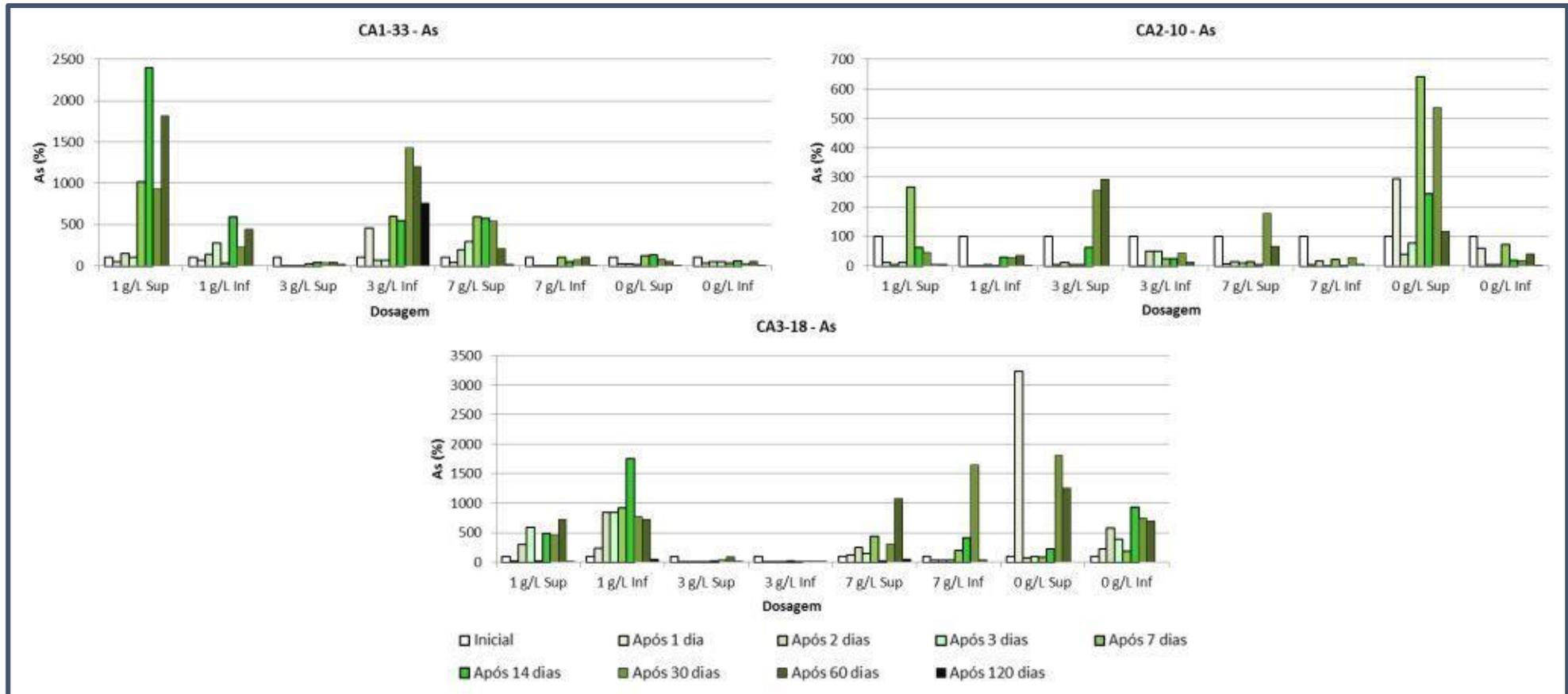


Figura 7.14: Representação gráfica da variação do teor em As (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.

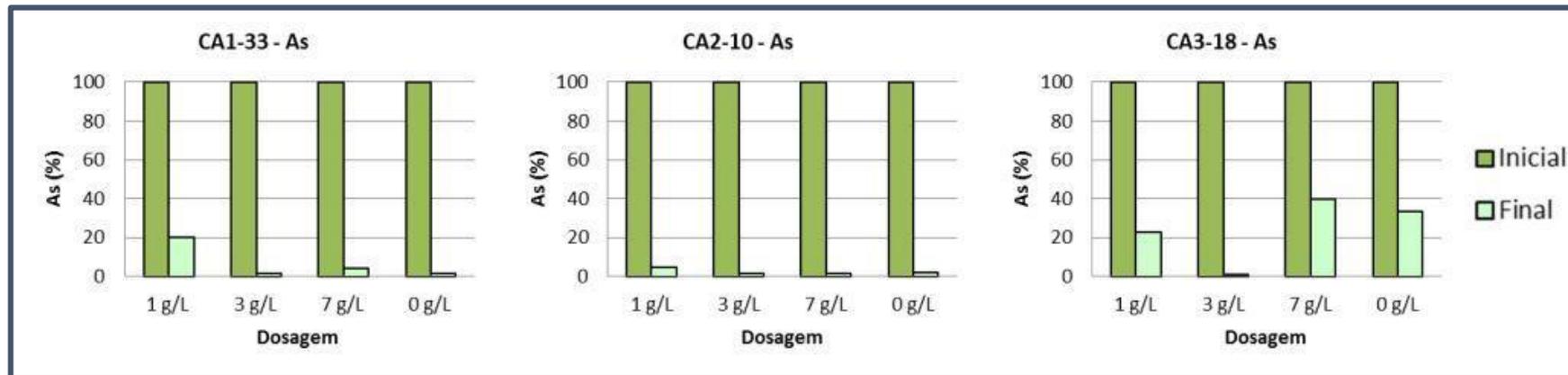


Figura 7.15: Variação do teor em As (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.

7.2.5.2. Comportamento do Cádmio

O cádmio corresponde ao segundo contaminante mais relevante na zona em estudo, quer pelas suas elevadas concentrações nas amostras estudadas, quer pela sua ocorrência preferencial nas fases mais solúveis, como foi determinado pela extracção sequencial realizada. A associar aos elevados teores e forma química deste elemento, o facto de ser um dos metais com maior toxicidade ambiental. Este elemento, tal como o zinco (principal contaminante na área em estudo), possui um potencial redox padrão (E^0) mais negativo ou semelhante ao do Fe^0 , sendo assim removido da fase aquosa sem alteração do seu estado de valência e preferencialmente através de adsorção pela camada de óxidos e hidróxidos de ferro envolventes do núcleo das nanopartículas de Fe^0 (Liang *et al.*, 2014).

Na Figura 7.16 encontra-se representada a variação dos teores de cádmio em solução durante o ensaio de injeção das nZVI para as amostras consideradas (CA1-33; CA2-10 e CA3-18).

De modo geral verifica-se uma redução em cádmio ao longo do tempo e em todas as amostras, para todas as concentrações de nZVI injectadas, incluindo o ensaio em branco. A remoção mais elevada associa-se a concentrações de nZVI mais elevadas, obtendo-se um valor médio de remoção de cerca de 50% (*inclusive* no ensaio em branco), correspondendo a um valor de concentração médio ente 2 a 3 mg/l (Anexo AII -Tabelas AII.6 a AII.8), bastante mais elevado que o valor regulamentado pela legislação COPAM (0,005 mg/l).

Assim, a variação do cádmio para a amostra CA1-33 ao longo do ensaio é caracterizada por uma ligeira diminuição nos dois primeiros dias, com aumento após 3-7 dias, com posterior diminuição até aos 60 dias de ensaio, mantendo uma concentração no geral estável até aos 120 dias. Verifica-se igualmente concentrações irregulares na mesma coluna entre as sub-amostras recolhidas no topo (Sup) e na base (Inf), sendo esta heterogeneidade maior quanto maior a concentração da solução injectada (Figura 7.16).

Relativamente à amostra CA2-10 verifica-se igualmente uma redução em cádmio ao longo do tempo, registando-se os seus valores mínimos ao fim de 60 dias para as soluções com concentrações mais elevadas (3 e 7g/l), e ao fim de 120 dias para o ensaio em branco e concentração de nZVI 1g/l. A inexistência de sub-amostra ao fim de 120 dias para algumas das concentrações não permite uma análise mais precisa sobre a evolução da contaminação em cádmio para os últimos dias de ensaio (60 a 120 dias). Assim a remoção em cádmio foi mais eficaz para as concentrações mais elevadas, tendo sido o seu máximo atingido para a concentração 7g/l ao fim de 60 dias (8 semanas) para a sub-amostra de água intersticial recolhida na parte superior da coluna, correspondendo a uma concentração de 2,386 mg/l (Anexo AII - Tabela

AII.7), valor muito superior ao regulamentado pela COPAM (2011) (0,005 mg/l) (Figura 7.16). As características físicas, nomeadamente a sua baixa permeabilidade e granulometria maioritariamente muito fina (Tabela 7.5), dificultam a dispersão das soluções de nZVI injectadas ao longo da coluna, factor que poderá estar relacionado, mais uma vez, com a disparidade da concentração de cádmio das amostras de água removidas nas partes superior e inferior das colunas sedimentares.

Para a amostra CA3-18 verifica-se uma redução eficaz de cádmio ao longo do ensaio nas soluções com maior concentração de nZVI, destacando-se a remoção conseguida ao fim de 120 dias (para as amostras que apresentaram água intersticial) muito superior à das restantes amostras e à verificada para os restantes elementos analisados (Figura 7.16). A concentração máxima de cádmio removida verificou-se maioritariamente nas concentrações mais elevadas de nanopartículas, destacando-se as concentrações obtidas ao fim de três dias de ensaio para a concentração 3g/l na sub-amostra inferior (2,591 mg/l – Anexo AII - Tabela AII.8), embora ainda superior aos limites COPAM (2011). Destaca-se ainda o ensaio em branco, o qual, apenas por processos de lixiviação com água, apresenta reduções significativas de cádmio ao longo de todo o período de ensaio. Neste ensaio de referência, verifica-se uma maior eficiência de remoção deste elemento na parte superior da coluna ao fim de 60 a 120 dias, em comparação com a remoção obtida pelas amostras injectadas com as nZVI com concentrações mais baixas (1 e 3 g/l) (Figura 7.16).

A análise da amostra compósita obtida através da homogeneização das amostras recolhidas no início e no final do ensaio demonstrou uma diminuição significativa da concentração em cádmio para as amostras consideradas (Figura 7.17). No entanto, apesar da diminuição eficiente principalmente para as soluções de nZVI mais concentradas, não foram atingidas concentrações admitidas pelos valores de referência legislados pelo COPAM (2011), (0,005 mg/l). Os teores totais determinados na amostra compósita encontram-se em Anexo (Anexo AII. – Tabela AII.9).

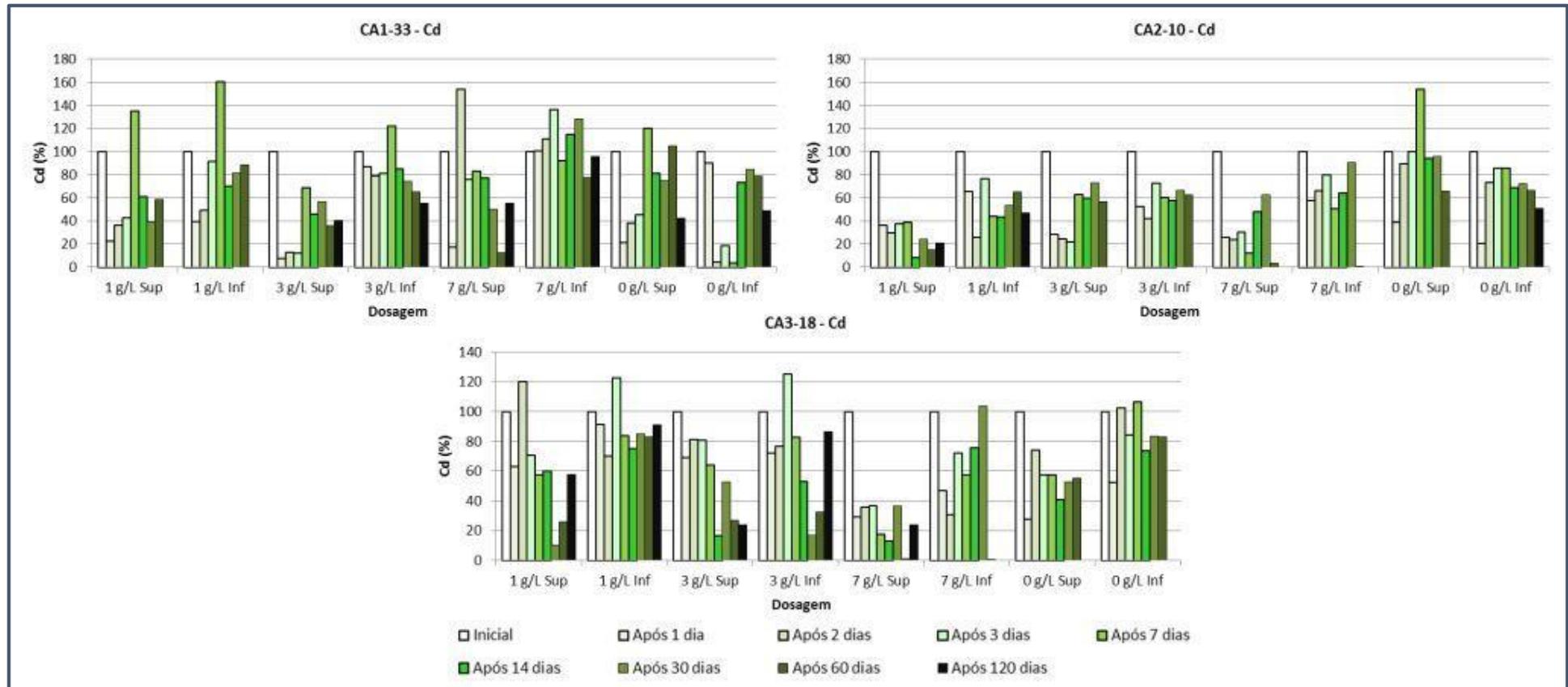


Figura 7.16: Representação gráfica da variação do teor em Cd (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.

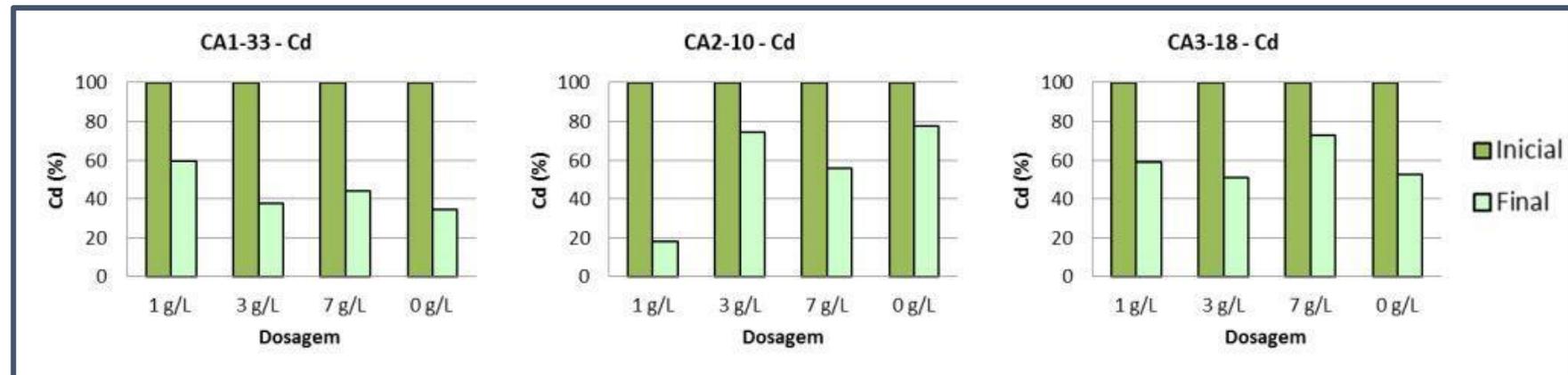


Figura 7.17: Variação do teor em Cd (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.

7.2.5.3. Comportamento do Cobre

O cobre possui um potencial redox padrão (E^0), mais positivo que o do Fe^0 (presente no núcleo das nZVI), sendo removido pelas nanopartículas essencialmente por precipitação e redução. Através da redução deste metal à sua forma elementar ocorre a cimentação na superfície das nZVI, aí os iões Cu^{2+} podem ainda ser reduzidos a Cu^+ , originando Cu_2O . A retenção do cobre é ainda independente dos valores de pH, estando mais relacionada com os teores de oxigénio dissolvido (Rangsivek, 2005).

Da análise realizada foi verificado para a amostra CA1-33 uma remoção bastante eficaz em cobre para todas as concentrações de nZVI injectadas, inclusive para o ensaio em branco (0g/l de nZVI), sendo a concentração que mais cobre conseguiu remover da amostra a de 1g/l (Figura 7.18). Verifica-se após 120 dias de ensaio uma concentração deste elemento na fase solúvel na ordem dos 50-55% da concentração inicial correspondendo a concentrações de 0,036 e 0,031 mg/l (Anexo AII - Tabela AII.6) inferiores ao valor regulamentado (2,00 mg/l). Nesta amostra, as concentrações deste elemento antes da injeção de nZVI, já eram inferiores aos valores de referência.

Embora o cobre sofra mecanismos de remoção distintos dos mecanismos dos elementos já analisados, verifica-se igualmente uma variação idêntica ao longo do ensaio, com uma ligeira diminuição de cobre em fase solúvel nos 2-3 primeiros dias, um aumento relevante após 3-7 dias da injeção, posterior diminuição até aos 60 dias, seguindo-se de um aumento gradual até ao final do ensaio. Contrariamente ao comumente verificado, nesta amostra, constata-se uma remoção mais eficaz de cobre para as concentrações mais reduzidas de nZVI (Figura 7.18).

Para a amostra CA2-10, observaram-se igualmente remoções eficazes em cobre para todas as concentrações injectadas, incluindo o ensaio em branco, sendo removido em média cerca de 80-90% deste elemento o que corresponde a concentrações média de 0,1-0,3 mg/l (Anexo AII - Tabela AII.7), concentração inferior ao limite COPAM (2011) para as águas subterrâneas (2,00 mg/l). O comportamento deste elemento ao longo do ensaio para esta amostra foi idêntico ao verificado para a amostra CA1-33, sendo os seus valores mais reduzidos obtidos após 60 dias de ensaio. Foi ainda notada uma disparidade entre as amostras superiores e inferiores, principalmente para a concentração 7 g/l, podendo este aspeto estar relacionado com a heterogeneidade da dispersão das nZVI ao longo das colunas, facto que é mais notório nesta amostra devido à sua baixa permeabilidade (Figura 7.18).

Relativamente à amostra CA3-18 a remoção foi igualmente eficaz para todas as concentrações injectadas, assim como para o ensaio em branco (Figura 7.18), sendo as concentrações removidas máximas removidas foram sempre inferiores ao limite legislado durante todo o período do ensaio (Anexo AII - Tabela AII.8). Assim, os valores no final do ensaio são semelhantes entre si para todas as concentrações consideradas, sendo a sua variação temporal concordante com as das restantes amostras analisadas.

Observando-se ainda o comportamento da amostra compósita, conclui-se a maior eficácia por parte das soluções menos concentradas na remoção do cobre, sendo a amostra CA1-33 a que no final do ensaio apresenta concentrações de cobre em fase solúvel, significativamente mais reduzidas comparativamente com as iniciais (Figura 7.19). Os teores totais determinados na amostra compósita encontram-se em Anexo (Anexo AII. – Tabela AII.9).

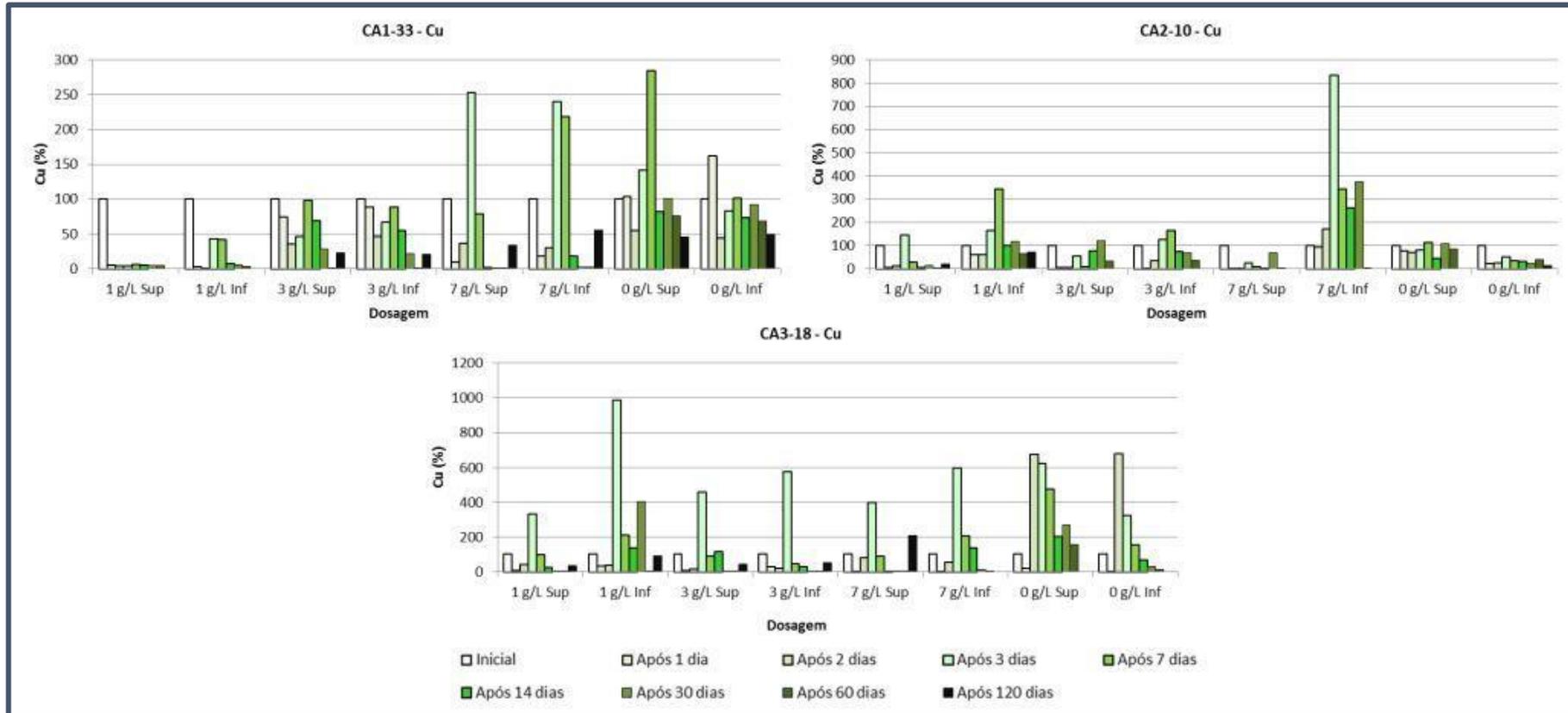


Figura 7.18: Representação gráfica da variação do teor em Cu (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.

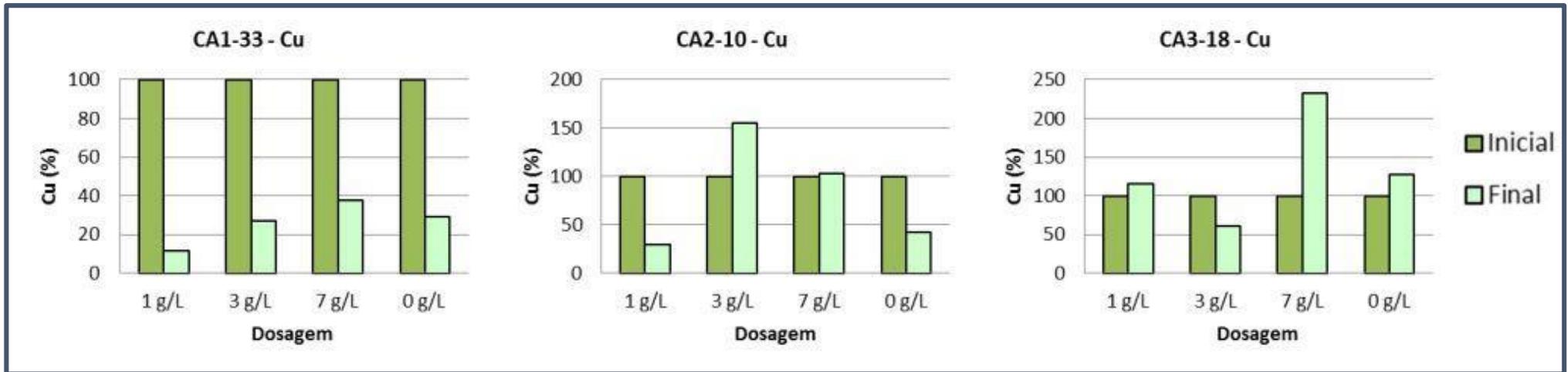


Figura 7.19: Variação do teor em Cu (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.

7.2.5.4. Comportamento do Ni

O níquel reage intensamente com o Fe^0 (presente no núcleo das nZVI), devido ao seu idêntico potencial redox padrão (E^0), sendo removido através da sua redução a Ni^0 e por forte adsorção sob a forma de Ni^{2+} à superfície dos óxidos e hidróxidos de ferro (Rangsvivek, 2005).

Para as amostras CA1-33 e CA3-18, e de acordo com a extracção sequencial realizada, verificou-se a afinidade preferencial do níquel com óxidos de ferro cristalinos, assim as concentrações deste elemento nas águas intersticiais da generalidade dos materiais sedimentares de todas as áreas estudadas e nas amostras recolhidas no ensaio de injeção de nZVI são, naturalmente, reduzidas. Assim, as variações obtidas para este elemento ao longo do ensaio apresentam representatividade reduzida, verificando-se o seu aumento em fase solúvel, por libertação de Ni, ao longo do tempo, sendo de destacar o ensaio em branco (Figura 7.20).

Contrariamente às amostras CA1-33 e CA3-18, a amostra CA2-10 possui concentrações elevadas em níquel verificando-se, para todas as concentrações de nZVI injectadas, um decréscimo na sua concentração, atingindo os valores mínimos ao fim de 60 dias para a concentração mais elevada (7 g/l) (Figura 7.20). Esta evolução ao longo do ensaio foi semelhante à verificada para o Cd, ocorrendo uma diminuição após 1-3 dias, seguida de um aumento acentuada após sete dias e posterior diminuição após 60 dias de ensaio. À semelhança do já observado para outros metais, a retenção do níquel foi mais evidente para as concentrações mais elevadas (3 e 7 g/l), assim como a disparidade entre os teores analisados no topo (Sup) e na base (Inf) das colunas.

Relativamente à amostra compósita, comparando-se a concentração média por amostra no início do ensaio e após os 120 dias, verifica-se a diminuição do teor em níquel, embora, como já referido, para este elemento apenas as concentrações obtidas para a amostra CA2-10 são consideradas relevantes. Assim, para esta amostra verifica-se uma diminuição mais acentuada para a concentração de 1 e 7 g/l, sendo superior na primeira (Figura 7.21). Os teores totais determinados na amostra compósita encontram-se em Anexo (Anexo AII. – Tabela AII.9).

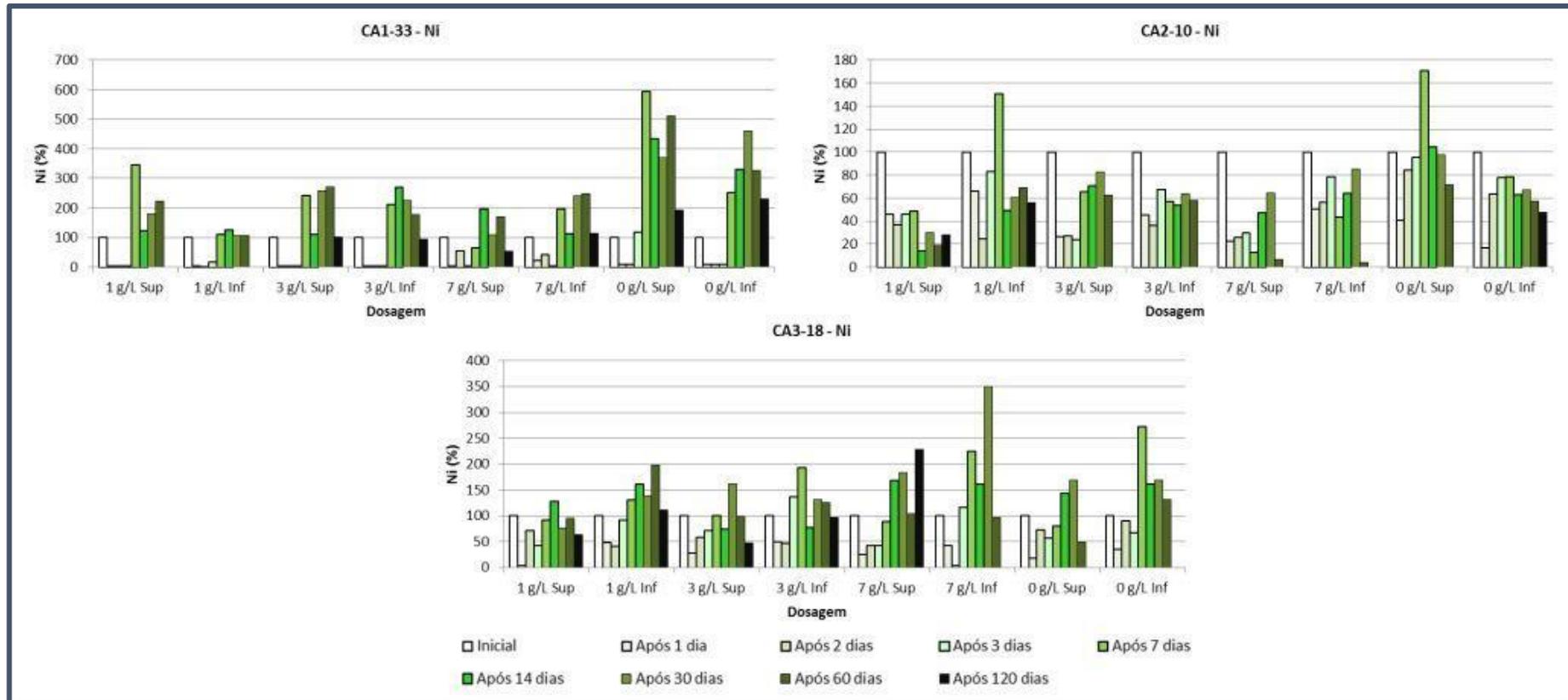


Figura 7.20: Representação gráfica da variação do teor em Ni (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.

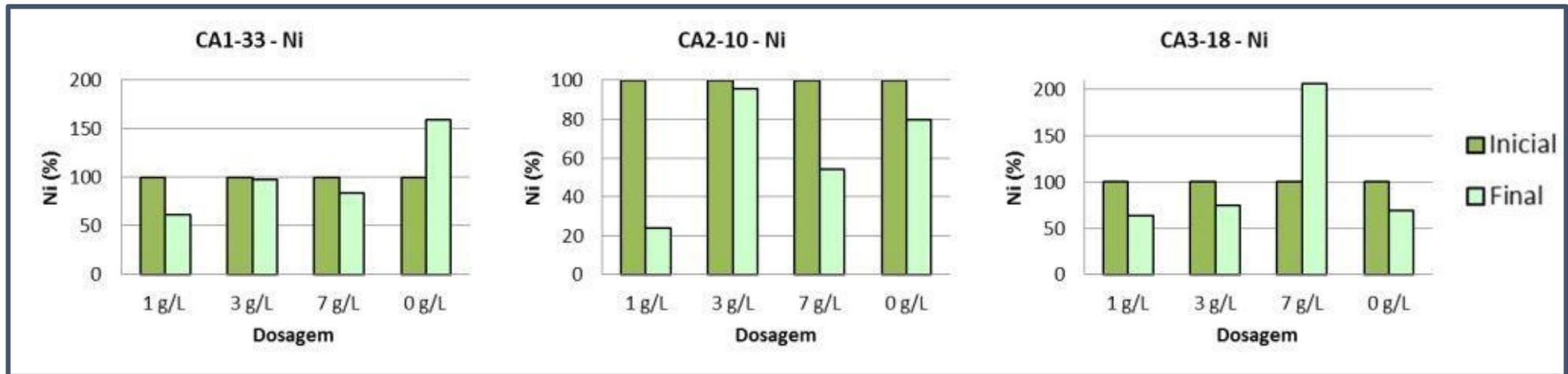


Figura 7.21: Variação do teor em Ni (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.

7.2.5.5. Comportamento do Chumbo

O potencial redox padrão (E^0) do chumbo apresenta-se ligeiramente mais positivo do que o do Fe^0 , possibilitando a sua remoção da fase aquosa das amostras por redução e adsorção. Assim, por ação das nZVI pode ser retido mediante redução na forma Pb^0 e adsorção sob a forma Pb^{2+} (Rangsivek, 2005).

No que se refere a este elemento a sua retenção foi bastante eficaz na amostra CA1-33 principalmente para as concentrações mais elevadas (3 e 7 g/l). Assim, verifica-se uma diminuição da concentração em chumbo em fase móvel até aos 30 dias de ensaio e posterior aumento aos 60 dias seguindo-se de nova diminuição até ao final do ensaio. A solução de nZVI menos concentrada (1 g/l) corresponde a uma excepção a este comportamento, uma vez que a concentração mais elevada ocorreu aos 14 dias de ensaio (Figura 7.22). As soluções mais elevadas de nZVI mostraram-se muito eficientes na remoção do chumbo, apresentando-se baixas percentagens deste elemento em suspensão no final do ensaio (120 dias), o que corresponde a concentrações entre 0,040 – 0,072 mg/l (Anexo AII - Tabela AII.6), teores ainda superiores aos legislados pelo COPAM (2011) de 0,01 mg/l. Este comportamento do chumbo, poder-se-á dever à menor dependência da mobilidade do chumbo relativamente ao pH da solução (com menor interferência deste parâmetro nas suas reacções de oxidação e redução), obtendo-se assim uma concentração mais regular em solução.

A amostra CA2-10 apresenta a mesma eficiência na remoção de chumbo pelas diferentes soluções de nZVI verificada na amostra CA1-33, sendo a retenção proporcional à concentração da solução injectada. Apresenta os teores mais baixos deste elemento ao fim de 60 dias para a maior concentração de nZVI, correspondendo a teores entre 0,023 – 2,708 mg/l (Anexo AII - Tabela AII.7), superiores ao valor legislado (0,01 mg/l) (Figura 7.22). A baixa permeabilidade desta amostra poderá ter influenciado a dispersão das soluções de nZVI, explicando a heterogeneidade de concentração ao longo do tempo entre o topo (Sup) e a base (Inf) das colunas.

À semelhança do ocorrido para as restantes amostras, a retenção de chumbo foi também eficaz para a amostra CA3-18 para todas as concentrações de nanopartículas injectadas, destacando-se os teores de Pb obtidos ao fim de 60 dias, com valores entre 0,001 - 0,379 mg/l (Anexo AII - Tabela AII.8), estando alguns valores situados abaixo do valor de referência COPAM (2011) (0,01 mg/l). Após 60 dias de ensaio regista-se um ligeiro aumento da forma solúvel do chumbo o que pode estar relacionado com a perda de reactividade das nZVI. Tal como observada para a amostra CA1-33, a diminuição do teor em chumbo segue uma linha homogénea ao longo do tempo de ensaio, para todas as concentrações de nZVI injectadas (Figura 7.22).

Relativamente à amostra compósita verifica-se uma remoção acentuada de chumbo nas amostras CA1-33 e CA3-18 em todas as concentrações de solução injectada, sendo mais expressiva nas soluções com 3 e 7 mg/l de nZVI. Para o ensaio em branco a remoção é também elevada levando a concluir que, para o caso do chumbo, a saturação das amostras em água é por si só um importante factor para a remoção e estabilização deste elemento. Na amostra CA2-10 verifica-se um decréscimo pouco acentuado, podendo este estar relacionado com a reduzida permeabilidade desta amostra, o que poderá ter dificultado a migração das soluções nas colunas (Figura 7.23).

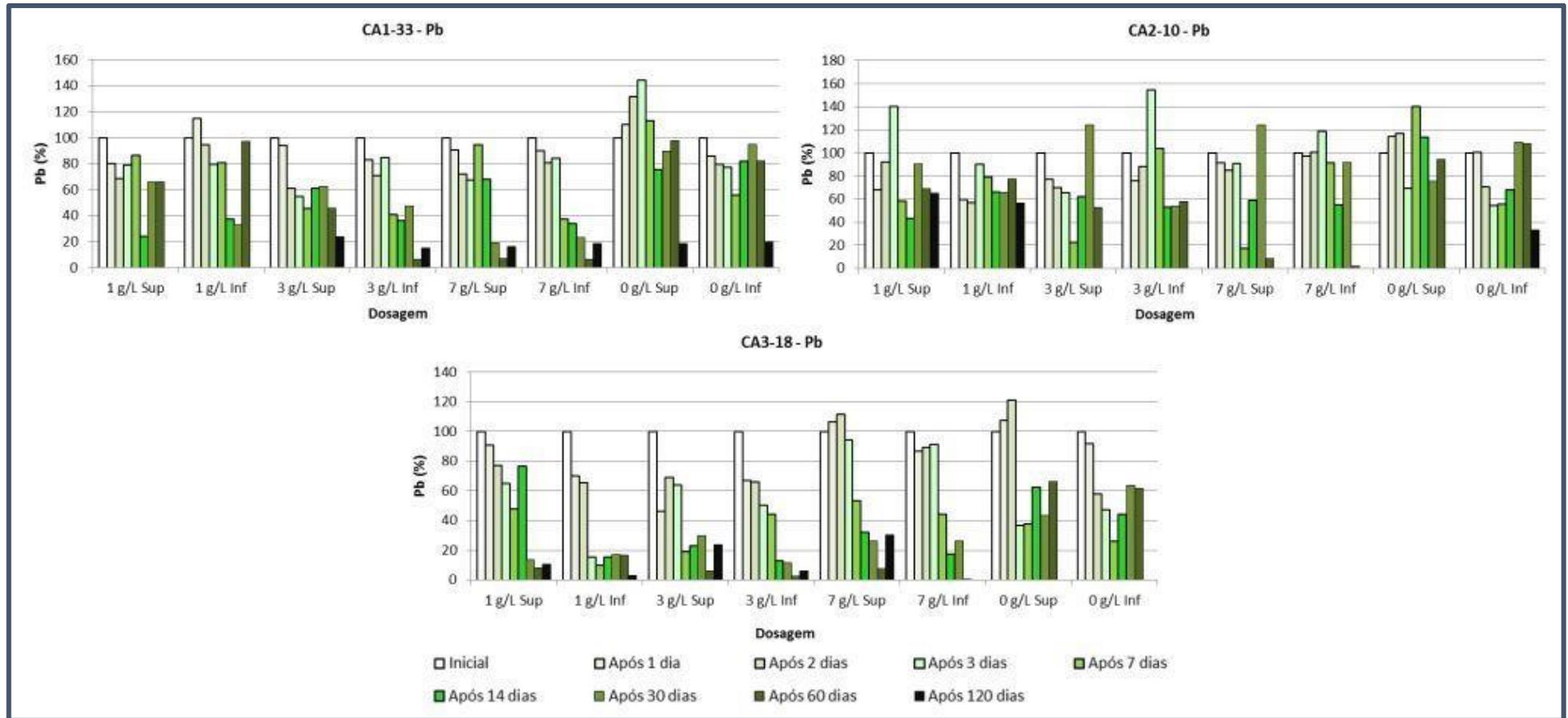


Figura 7.22: Representação gráfica da variação do teor em Pb (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.

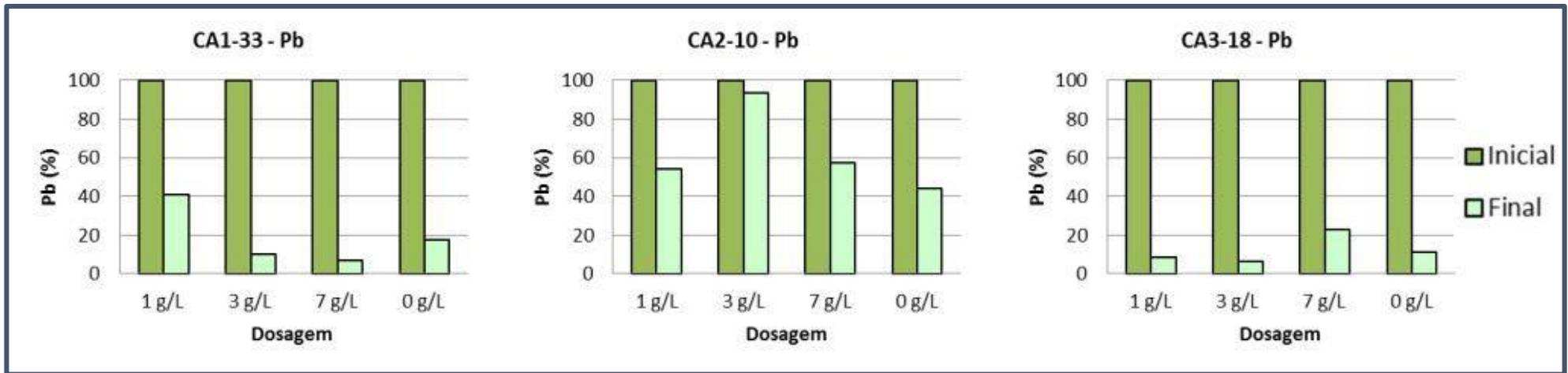


Figura 7.23: Variação do teor em Pb (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.

7.2.5.6. Comportamento do Zinco

O zinco, contaminante com maior perigosidade na área em estudo pelos elevados valores que apresenta, possui um potencial redox padrão (E^0) semelhante ao do Fe^0 (presente no núcleo das nZVI), sendo a sua remoção preferencialmente feita por adsorção pela camada de óxidos e hidróxidos de ferro que envolvem os núcleos das nanopartículas. Assim, a formação de $FeOOH$ à superfície das nZVI, poderá ser um dos principais mecanismos de remoção do Zn^{2+} existente em solução. Como o zinco não sofre alteração do seu estado de valência neste processo, podem ainda ocorrer, embora com menor expressão, complexações e co-precipitação à superfície das nZVI (Liang *et al.*, 2014).

Na figura 7.24 encontram-se, graficamente representados, os resultados obtidos relativamente à remoção do zinco durante o ensaio de injeção de nanopartículas de acordo com a concentração da solução. Assim, para a amostra CA1-33, verifica-se uma remoção eficaz deste elemento em todas as concentrações, destacando-se as mais elevadas (3 e 7 g/l), com uma remoção média de aproximadamente 50 - 70% no geral. O valor máximo de retenção ocorre ao final de 60 dias de ensaio para a concentração máxima injectada (7g/l) correspondendo a uma concentração entre 1,077 – 18,53 mg/l (Anexo AII - Tabela AII.6), ainda superior ao tabelado pela COPAM (2011) para as águas subterrâneas (1,05 mg/l).

Na generalidade, as concentrações em zinco diminuem gradualmente durante os dois primeiros dias após a injeção, aumentando após 3-7 dias (período que corresponde aos valores mais baixos de pH já analisados), voltando a diminuir até aos 60 dias de ensaio (concordante com o aumento do pH verificado anteriormente). Nas amostras em que foi possível a recolha de água intersticial ao fim de 120 dias, verifica-se um ligeiro aumento em zinco, facto que poderá estar relacionado com a perda de reactividade das nZVI após 60 dias de ensaio (Figura 7.24).

A amostra CA2-10 caracterizada fisicamente com granulometria fina e baixa permeabilidade (Tabela 7.5) e quimicamente com elevado índice de contaminação em metais (Tabela 7.3) e elevado teor em sulfatos (Tabela 7.4), apresentou uma variação no teor em zinco durante o período de ensaio um pouco distinta relativamente à amostra CA1-33 (Figura 7.24).

Observa-se uma redução do teor em zinco, mais evidente para as concentrações de nZVI 3 e 7 g/l, nos primeiros três dias de ensaio, seguindo-se de um aumento significativo após 7 dias e posterior diminuição até aos 60 dias, verificando-se igualmente um aumento após 120 dias relacionado com a perda de reactividade das nZVI. O valor máximo retido foi verificado após 60 dias para a solução com 7 g/l de nZVI, correspondendo a uma concentração de 0,979 mg/l (Anexo AII - Tabela AII.7), inferior ao valor COPAM (2011) legislado (1,05 mg/l). De referir ainda que após 3 dias de ensaio

foram registadas concentrações reduzidas de zinco para todas as soluções de nZVI injectadas (à excepção do ensaio em branco) (Figura 7.24).

Relativamente à amostra CA3-18, a oscilação na retenção do zinco pelos óxidos e hidróxidos de ferro que envolvem o núcleo das nZVI, segue as variações dos valores de pH analisadas, com aumento do teor em zinco na fase solúvel em condições mais ácidas e diminuição sob condições mais alcalinas (Figura 7.10). Observa-se assim, uma diminuição dos teores em zinco solúvel até 14 dias de ensaio, (interrompida por um aumento após 7 dias), seguindo-se de um aumento aos 30 dias e posterior redução até aos 60 dias a após injeção, onde atinge um intervalo de valores compreendidos entre 0,531 e 16,04 mg/l (Anexo AII - Tabela AII.8) para as concentrações de nZVI 1, 3 e 7 mg/l.

Através da análise da amostra compósita (Figura 7.25), verifica-se uma diminuição média em zinco, comparativamente com o teor médio inicial, mais evidente nas amostras CA1-33 e CA3-18, nomeadamente para as concentrações 3 e 7 g/l na primeira e 1 e 3 g/l na segunda. A amostra CA2-10 obtém uma diminuição mais considerável apenas para a concentração mais baixa de nZVI (1 g/l), podendo estar relacionado com os elevados teores em zinco presentes nesta amostra (maioritariamente em formas facilmente solubilizáveis), assim como a possível perda de reactividade das nZVI ao longo do ensaio. Ocorrem ainda outros factores que poderão influenciar a retenção deste elemento pelas nanopartículas, tais como:

- Os valores baixos de pH determinados após o primeiro dia de ensaio, que influenciam e inibem a actuação eficaz das NZVI;
- A presença de elevados teores de cádmio em solução que poderão influenciar a capacidade de retenção do zinco, por fenómenos de competição entre os dois catiões aquando a sua adsorção na superfície das nanopartículas;
- Os elevados teores de sulfatos (inibidores na retenção de zinco), como anião competitivo na receção de electrões cedidos pelas nZVI, uma vez que os sulfatos, em contacto com as nZVI, podem ser reduzidos passando a sulfuretos, que precipitam com catiões metálicos à superfície das nanopartículas, diminuindo a sua capacidade de adsorção.

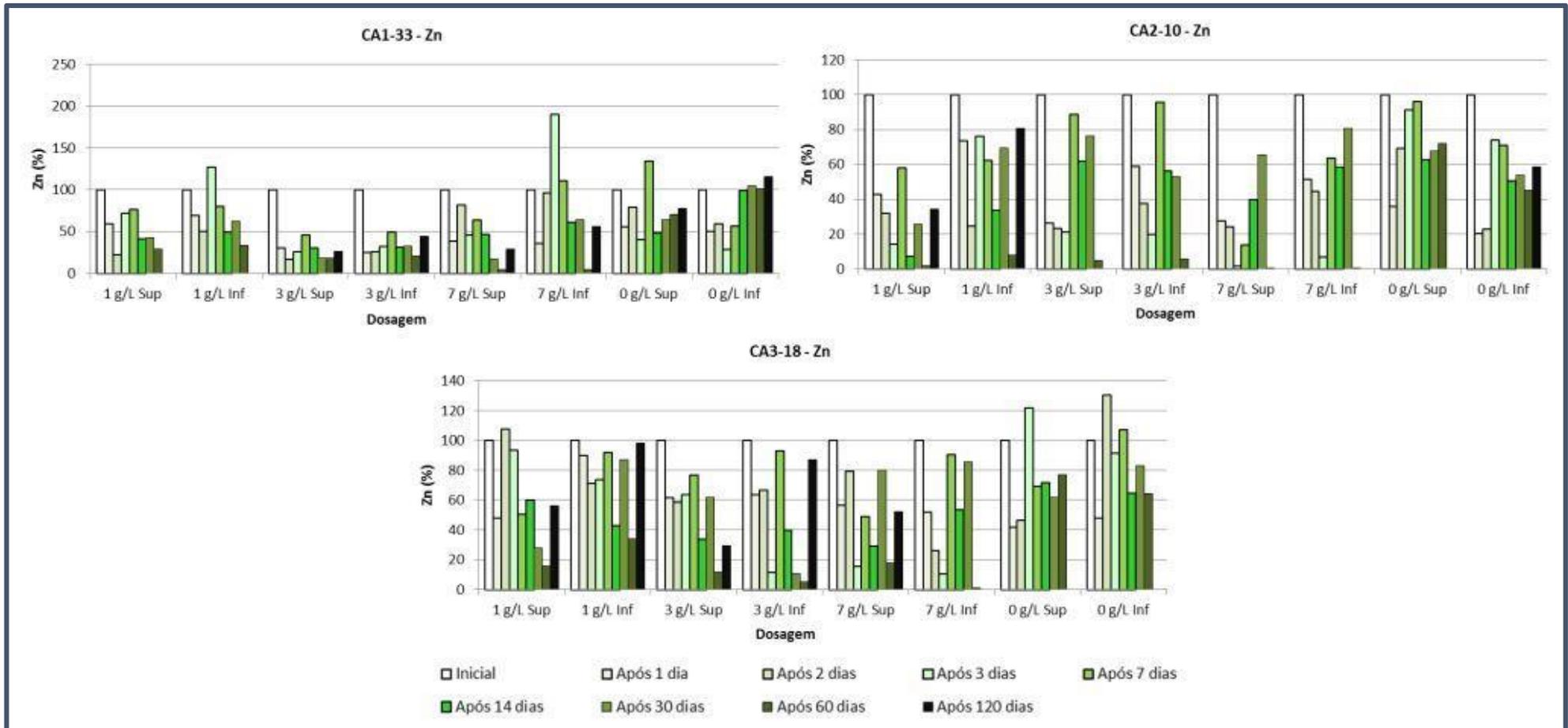


Figura 7.24: Representação gráfica da variação do teor em Zn (%) nas amostras consideradas, ao longo de 120 dias do ensaio de remediação com injeção de concentrações de 0, 1, 3 e 7 g/l da solução de nZVI.

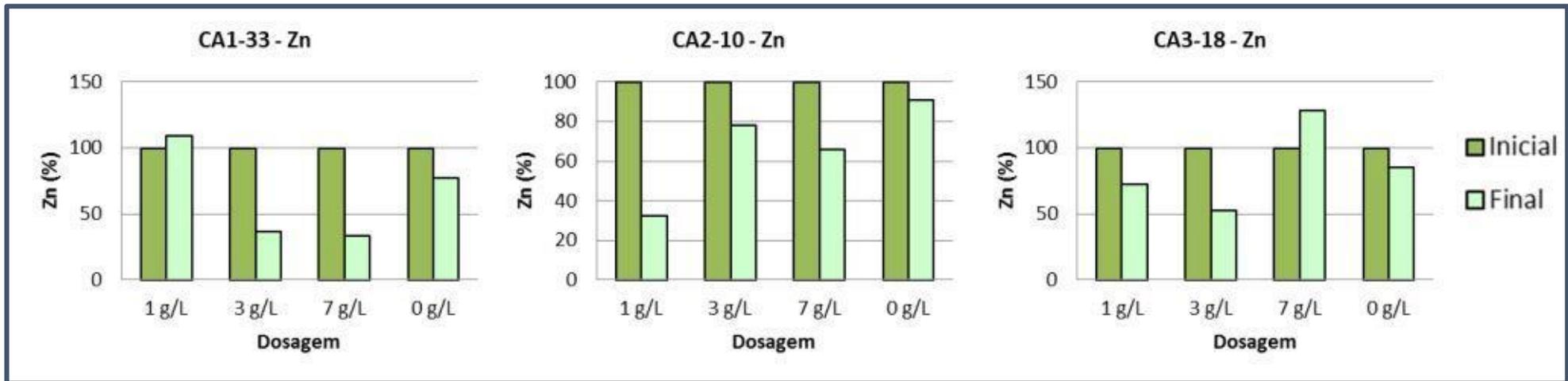


Figura 7.25: Variação do teor em Zn (%) na água intersticial de amostras compósitas ao fim de 120 dias de injeção e comparação com os valores iniciais.

7.3. Conclusão do Ensaio Laboratorial de Injecção de nZVI

Os dados obtidos a partir do ensaio laboratorial de injecção de nanopartículas de ferro zero valente a amostras com elevadas concentrações de metais potencialmente tóxicos permitem concluir que a aplicabilidade das nZVI neste tipo de amostras é um processo complexo, estando a sua viabilidade dependente de parâmetros que variam desde a natureza da amostra até às reacções físico-químicas entre a amostra e as nZVI. Assim, não é clara a conclusão a retirar sobre o efeito das diferentes concentrações de nZVI injectadas na remoção dos contaminantes das amostras analisadas.

O primeiro factor de interferência é o facto do ensaio ter sido realizado à escala laboratorial, tornando-se impossível simular condições de drenagem, difusão, precipitação, permeabilidade e porosidade naturais (em amostras não perturbadas), aliada ao elevado número de metais contaminantes cujas concentrações ultrapassam, em larga escala, os limites legislados para as águas subterrâneas (COPAM, 2011). O ensaio foi realizado em sistema fechado, sem adição de água durante todo o período, contribuindo assim para a saturação das amostras de água intersticial recolhidas periodicamente em cada coluna de amostra, não reproduzindo assim condições naturais como a infiltração, difusão, lixiviação e escurência.

De uma perspetiva geral, atendendo aos resultados obtidos, relativamente aos elementos contaminantes maioritários (Zn, Cd, Cu, Pb e Ni), as nZVI mostraram-se eficazes na sua retenção (nas concentrações injectadas mais elevadas) comparativamente com o ensaio em branco. No entanto foram raras as situações em que os teores destes elementos alcançaram as concentrações abaixo dos limites regulamentados (de acordo com o elemento) pela COPAM para as águas subterrâneas. De considerar ainda a perda de reactividade das nZVI a partir dos 60 dias de ensaio, uma vez que após 120 dias foi verificado, para a maioria dos elementos e amostras analisadas, um aumento da sua concentração, o que se poderá dever à ressuspensão de alguns metais mediante esta perda de reactividade, indicando a necessidade de uma segunda injecção após 60 dias.

Estes resultados apontam a possível intervenção de alguns factores que poderão justificar a baixa eficiência da injeção das nZVI, na diminuição dos teores solúveis dos elementos metálicos poluentes, tais como:

- A baixa dispersão e difusão das soluções de nZVI, não atingindo toda a amostra colocada nas colunas;
- Os valores muito elevados da maioria dos elementos em fase solúvel aliado à não renovação da água no ensaio (por se tratar de um sistema fechado);
- O elevado e diversificado número de metais contaminantes, o que poderá provocar efeitos de competição entre os respetivos iões, pelos locais de adsorção em torno das nanopartículas;
- O elevado teor em sulfatos, que poderá levar a uma diminuição da reactividade das nanopartículas, através da formação de sulfuretos metálicos que poderão precipitar à superfície destas, inibindo a sua reactividade;
- Os elevados teores de ferro, de origem natural (litogénica), que ocorrem naturalmente nos materiais, sob formas de óxidos de ferro cristalinos e amorfos (como identificado na extracção sequencial realizada), que poderão eventualmente diminuir a reactividade das nZVI;
- A diminuição brusca dos valores de pH registada após 2 a 3 dias da injeção das nZVI, tendo-se mantido os valores baixos aproximadamente até 60 dias após o início do ensaio. Esta diminuição poder-se-á dever à libertação de iões H^+ para a solução por efeito de mecanismos de hidrólise desencadeados pela saturação permanente do material com água, em sistema fechado. Os iões H^+ inibem a formação de óxidos e hidróxidos de ferro à superfície do núcleo de Fe^0 das partículas, resultando numa menor adsorção dos catiões metálicos.

Assim, este ensaio permitiu apenas ter uma noção da evolução temporal das concentrações dos elementos contaminantes em fase solúvel, das condições químicas do meio, e do tempo de reacção das nanopartículas, não se podendo considerar como absolutos, os dados obtidos.

Tendo em conta a dificuldade da simulação das condições reais, laboratorialmente, de modo a comprovar a real eficácia das nZVI na remediação destes materiais, assim como a conclusão sobre a concentração de nZVI mais adequada, o período de reactividade das partículas, a velocidade difusiva das soluções injectadas assim como o seu raio de acção, seria mais conclusiva a análise destes parâmetros obtidos de um ensaio à escala piloto na zona em estudo, anteriormente à sua aplicação em larga escala.

A utilização desta técnica como método de remediação para a área em estudo (mediante monitorização periódica), contribuiria essencialmente para a imobilização de contaminantes

metálicos *in situ*, seguida da diminuição da sua concentração nas águas intersticiais e subterrâneas por reduzida lixiviação e percolação. Assim, com a utilização deste tipo de tecnologia, poder-se-ia reduzir a migração dos elementos contaminantes das águas subterrâneas da planície aluvionar em direcção às linhas e cursos de água adjacentes (córrego Consciência e o rio São Francisco).

No entanto a permeabilidade reduzida dos materiais aluvionares da área em estudo dificulta a injeção e difusão nas nZVI (como verificado no ensaio laboratorial para a maioria dos elementos analisados mediante a disparidade entre os valores das sub-amostras recolhidas no topo (Sup) e na base (Inf) das colunas), sendo provavelmente necessária uma grande quantidade de furos de injeção para garantir a sua infiltração o mais homogénea possível (agravando os custos associados). Assim, e tendo em conta todos estes factores, conclui-se que a injeção de nZVI não será a técnica mais viável para a descontaminação da área em estudo, podendo ser colocada a hipótese da sua utilização como material de enchimento de barreiras reactivas permeáveis (técnica abordada no Capítulo 8).

Tendo ainda em consideração outro factor observado durante o ensaio experimental, verifica-se que atendendo à elevada concentração de diferentes elementos contaminantes, se verifica uma possível perda de reactividade das nanopartículas após 60 dias de ensaio e posterior mobilização de alguns metais, considerando-se assim como mais favorável o enchimento de barreiras reactivas com partículas de ferro zero valente à escala granular (com manutenção e controlo periódico), tendo em conta o seu período de vida consideravelmente mais longo do que à escala nano.

Considera-se assim que esta tecnologia será certamente a mais indicada para a área industrial da unidade de Três Marias da Votorantim Metais para remoção dos metais contaminantes nas planícies aluvionares. A utilização de partículas de ferro zero valente, à escala granular, em barreiras reactivas permeáveis, foi considerada pela EPA em 2002, como sendo uma tecnologia de remediação padrão. Nestas barreiras reactivas, não apenas as partículas à escala macro de ferro zero valente são utilizadas como enchimento.

De entre os principais materiais utilizados no tratamento de elementos inorgânicos e metálicos, incluindo as partículas ZVI, são ainda de destacar (ITRC, 2011a; ITRC, 2011b):

1) Ferro Zero Valente (ZVI - *Zero Valent Iron*)

As barreiras reactivas permeáveis com ferro zero valente têm provado ser uma tecnologia robusta tendo funcionado ao longo de muitos anos numa grande variabilidade de ambientes geoquímicos. O seu maior efeito envolve a formação de precipitados na superfície do Fe^0 . Precipitados de carbonatos de cálcio e ferro, óxidos e hidróxidos de ferro e sulfuretos de ferro, formam-se em resposta à corrosão do ferro, contribuindo para o aumento do pH da água subterrânea ou da água que circula entre as partículas dos materiais sedimentares.

O ferro zero valente utilizado nestas estruturas deve possuir concentração elevada (> 90%) de ferro metálico, baixo teor em carbono (< 3%) e níveis inferiores aos estabelecidos por legislação local, em metais-traço (que são tomados como impurezas). Deverá ainda, estar livre de quaisquer coberturas na sua superfície (como óleos ou graxas) que possam inibir a sua reactividade (ITRC, 2011a; ITRC, 2011b).

À medida que a água subterrânea circula através de uma barreira reactiva permeável que possua partículas de ferro zero valente o seu pH tem a tendência a aumentar substancialmente por hidrólise da água, sendo a precipitação de óxidos e hidróxidos metálicos um importante meio de imobilização de elementos metálicos. Como anteriormente referido, a área superficial das partículas de ferro zero valente é muito importante pois as reacções de fixação de contaminantes ocorrem na interface ferro-água. De uma forma geral, as taxas de reacção aumentam com da área superficial das partículas, assim partículas à escala granular apresentam uma superfície específica menor reactivamente às nanopartículas, sendo portanto menos reactivas. Contudo de entre a macroescala, preferem-se as partículas menores de forma a terem uma maior área superficial de reactividade. Para barreiras reactivas permeáveis construídas pelo método de escavação, a granulometria normalmente utilizada encontra-se entre 2 e 0,25 mm, o que possibilita uma condutividade hidráulica média na ordem dos centímetros por segundo (cm/s). Frações mais finas (de diâmetro igual ou inferior a 1 mm) são geralmente utilizadas em técnicas de injeção possuindo maior capacidade reactiva localmente.

Estudo anteriores relativos à aplicabilidade do ferro zero valente para imobilização de cátions metálicos verificaram que (ITRC, 2011a; ITRC, 2011b):

- A baixo pH, a remoção de metais pelo ferro zero valente é controlada por processos de adsorção na superfície do ferro ou nos produtos de corrosão do ferro;
- Em ambientes neutros, a pH alcalinos, a precipitação de espécies carbonatadas providencia diferentes tipos de superfícies de adsorção aumentando o potencial de co-precipitação dos metais.

2) *Biowalls* (Material Rico em Carbono Orgânico)

As *biowalls* consistem em barreiras reactivas permeáveis que promovem o tratamento biológico de contaminantes em águas subterrâneas. Entre os tipos de substratos orgânicos para o enchimento de *biowalls* identificam-se: (1) fontes sólidas de carbono como *mulch*, composto, serradura ou palha; (2) fontes de carbono dissolvido ou em suspensão como soro de queijo (*cheese whey*), lactato de sódio, melão, óleos vegetais emulsionados e outros hidratos de carbono e álcoois; (3) compostos sólidos ou fluidos fontes de hidrogénio (ITRC, 2011a; ITRC, 2011b).

O *Mulch* e o composto são fontes de carbono orgânico a longo prazo com tempos de vida superiores a 5-10 anos. A sua eficácia ao longo desse período varia conforme as condições ambientais da água subterrânea e o tipo de contaminante tratado. Estes materiais devem ser misturados com areia grosseira ou cascalho fino numa razão de 40-60% por volume, de forma a permeabilizar a barreira (Robertson *et al.*, 2000; Robertson. *et al.*, 2008).

A solubilização de elementos metálicos depende do pH, do potencial de oxidação-redução, da concentração das espécies reactivas na água, da disponibilidade de zonas de adsorção e da cinética da reacção. A solubilidade e, portanto, a mobilidade de muitos compostos inorgânicos, diminui a pH neutro a ligeiramente básico, enquanto a solubilidade e mobilidade pode aumentar em soluções muito ácidas ou muito alcalinas. A solubilidade de metais bivalentes aumenta geralmente em condições redutoras, sendo uma excepção, os casos onde ocorram sulfuretos em concentração suficiente para que, por si só, removam os metais em solução, formando sulfuretos metálicos.

Assim, em *biowalls*, os elementos metálicos podem ser imobilizados por: (1) precipitação de sulfuretos metálicos, em consequência da redução de sulfatos; (2) precipitação de hidróxidos metálicos, por aumento do pH; (3) precipitação de carbonatos metálicos, em consequência da produção de bicarbonato resultante da actividade microbiana; (4) adsorção em matéria orgânica e precipitação de minerais inorgânicos (Neculita, *et al.*, 2007).

A precipitação de metais com recurso a *biowalls* pode ser catalisada através da adição de calcário, de forma a aumentar o pH. Foi tentado em Vancouver, Canadá, numa zona onde a água subterrânea continha elevadas concentrações de sulfatos, ferro e outros metais pesados (Cd, Cu, Ni, Pb e Zn) uma técnica envolvendo *biowalls* semelhante às técnicas utilizadas para tratamento de drenagem ácida em minas. A velocidade média da água era elevada 1m/dia e a concentração de recarga dos sulfatos foi de aproximadamente 1,000mg/l. Foram construídas, à escala de campo, barreiras reactivas permeáveis no local, que estiveram ativas no período entre Novembro de 2000 e Fevereiro de 2001. O composto foi instalado dentro da barreira reactiva, construída em forma de trincheira. Procedeu-se ao ensaio piloto e verificou-se que as concentrações de Zn baixaram de >2mg/l para <0,1mg/l. O Cu diminuiu de 3,9mg/l para <0,01mg/l e as concentrações de Cd diminuíram de 0,015mg/l para <0,0001mg/l no interior da barreira permeável (Ludwig *et al.*, 2002).

3) *Biowalls* combinado com ZVI (Zero Valent Iron)

A combinação de compostos orgânicos com ZVI consiste numa técnica que tem vindo a ser avaliada como método de tratamento para metais bivalentes, arsénio (Ludwing *et al.*, 2009), sulfatos, nitratos e selénio (Sasaki *et al.*, 2008). Os *biowalls* são eficazes no processo de redução de sulfato a sulfureto, e na precipitação de catiões metálicos como sulfuretos de baixa solubilidade. No caso do ZVI, este promove a redução e adsorção de selénio, bem como múltiplos mecanismos de tratamento para o arsénio. Consequentemente, a combinação de *biowalls* (compostos orgânicos) e ZVI facilita, tanto mecanismos de redução como de adsorção sendo eficazes em conjunto, no tratamento de uma ampla gama de contaminantes, maior do que o conseguido por apenas uma das técnicas (Ludwing *et al.*, 2009; Sasaki *et al.*, 2008).

Sasaki *et al.*, (2008) realizaram experiências em coluna com águas de drenagem mineira e barreiras permeáveis constituídas por ZVI, adubo municipal (folhas), serragem e lascas de madeira. Esta combinação foi utilizada para tratar contaminação em selénio com concentrações iniciais de 40mg/l, as quais reduziram, apenas em um mês de tratamento para <0,014 mg/l. Também após o mesmo período, o sulfato reduziu de concentrações iniciais de 620 mg/l para 200 mg/l. O modelo geoquímico indicou a formação de selénio metálico e a redução dos sulfatos para sulfuretos.

Ludwig *et al.*, (2009) testou durante 30 meses um ensaio piloto com barreiras permeáveis preenchidas por uma mistura de adubo à base de folhas, ZVI, pedra calcária, e brita fina, destinado a tratar o excesso de metais bivalentes e de arsénio, em águas subterrâneas. Foram tratadas águas contendo teores elevados de As, Pb, Cd, Zn e Ni com concentrações de respectivamente, 206mg/l, 2,02mg/l, 0,324mg/l, 1060mg/l e 2,12mg/l e determinados os seus teores após o tratamento. A

espectrometria de Raio-X revelou que o arsénio foi removido da solução por adsorção e co-precipitação do Fe sob a forma de hidróxido, presente nas superfícies corroídas do ZVI e precipitação directa de sulfuretos e/ou co-precipitação de sulfuretos de Ferro.

4) Apatite

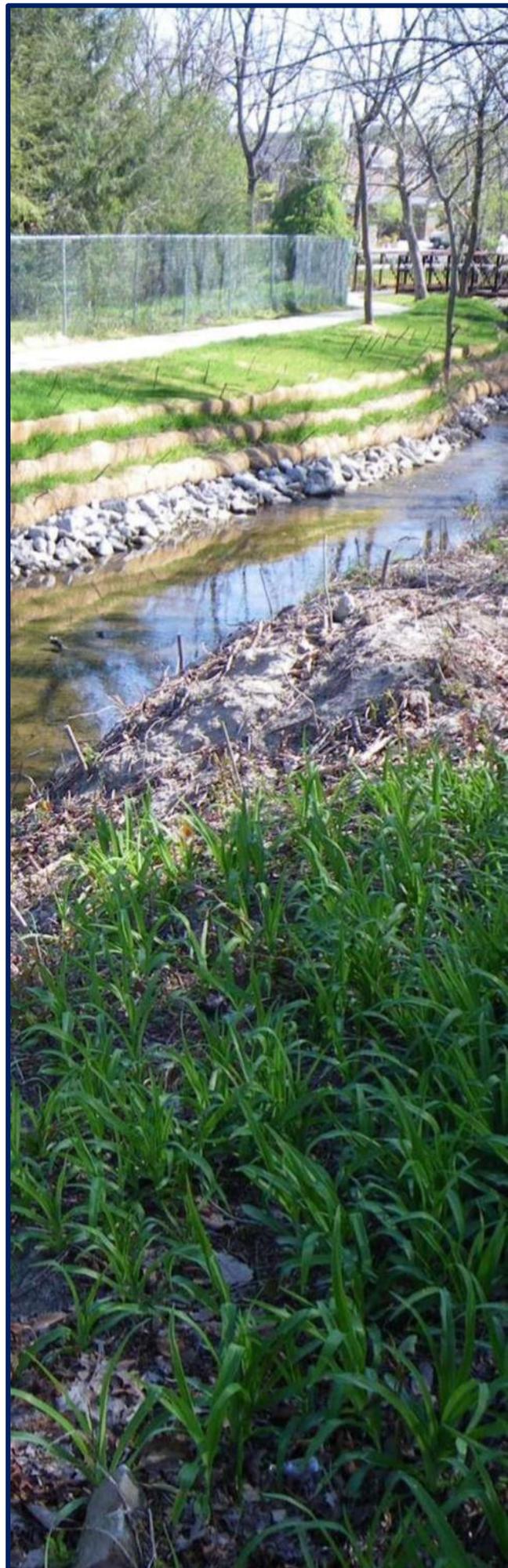
Componentes fosfatadas, em particular, partículas de apatite têm a capacidade de remover elementos metálicos dissolvidos numa solução aquosa e transformar elementos metálicos ligados ao solo em fases menos solúveis (Conca, 1997; Conca *et al.*, 2002). De todos os minerais fosfatados, as apatites consideram-se as mais adequadas para a aplicação em barreiras reactivas permeáveis devido à sua relativa baixa solubilidade e elevada estabilidade a longo prazo. A utilização de apatites em barreiras permeáveis foi já testada e aplicada em campo nos Estados Unidos para tratamento de radionuclídeos, e contaminação em minas (Idaho) (McCloskey, 2007; Conca *et al.*, 2002; Naftz *et al.*, 2002; LANL, 2004).

Os minerais de apatite possuem uma carga negativa superficial a pH neutro e alcalino e, portanto, são eficazes na adsorção de catiões metálicos numa grande variedade de condições ambientais. As características da apatite variam, tendo sido realizadas modificações de forma a melhorar a *performance* no tratamento ou alterar as propriedades superficiais da apatite, promovendo um tratamento eficaz de importantes contaminantes, incluindo catiões metálicos (Somasundaran, *et al.*, 1984). Os mecanismos do tratamento chave para a remoção de metais com apatite incluem troca catiónica, precipitação de fosfatos metálicos e incorporação no interior da sua estrutura cristalina. Devido à presença de materiais orgânicos associados, as apatites podem ainda promover a precipitação de fases sulfatadas metálicas de baixa solubilidade, devido a alterações químicas induzidas por actividade biológica (Fuller *et al.*, 2002; Conca, *et al.*, 2006).

5) Zeólitos

Os zeólitos têm sido amplamente utilizados para o tratamento de águas, desde a remoção de metais pesados em unidades de tratamento de águas residuais até ao tratamento de amónio em resíduos animais. Zeólitos são minerais naturais, alumino silicatados, com elevada capacidade de troca catiónica e elevadas áreas superficiais (até 145 m²/g). Um típico zeólito é uma estrutura de tetraedros empilhados formando poros ou canais onde a troca catiónica pode ocorrer. Uma vez que os zeólitos são minerais carregados negativamente, podem ser utilizados para remover catiões de uma solução aquosa (Cyrus, *et al.*, 2008). Os mecanismos de tratamento para a remoção de elementos metálicos por zeólitos passam pela troca catiónica e a adsorção. Os zeólitos naturais possuem capacidades de troca catiónica superiores comparativamente à maioria de outros materiais inorgânicos utilizados pelas suas propriedades de troca catiónica (Van, *et al.*, 1991; Mohan, *et al.*, 2007).

8 Remediação



8. Remediação

8.1. Tecnologias de Remediação de Áreas Contaminadas por Metais Pesados

Tendo em conta que o principal objectivo do trabalho é a caracterização dos riscos ambientais de materiais contaminados por metais pesados na planície aluvionar adjacente a uma unidade metalúrgica, torna-se também importante a identificação de técnicas de remediação ambiental que possam ser aplicadas à problemática deste tipo de contaminação, quer para os solos quer para as águas.

Assim, serão apresentadas e descritas algumas das técnicas mais frequentemente utilizadas neste tipo de contaminação, embora após a caracterização física e química de toda a área em estudo, descrita nos capítulos anteriores (Capítulo 5) se tenha percebido que algumas das técnicas aqui identificadas não serão as mais apropriadas para a resolução da contaminação da área. As técnicas que melhor responderão como solução para a remediação desta área, serão devidamente desenvolvidas e propostas no ponto dois deste capítulo.

As tecnologias de Remediação dividem-se em cinco grupos genéricos:

- Técnicas de Tratamento *in situ*;
- Técnicas de Tratamento *ex situ*;
- Métodos de Remediação Química (*in situ* e *ex situ*);
- Métodos de Remediação Biológica;
- Métodos de Remediação de águas subterrâneas;

8.1.1. Técnicas de Tratamento *in situ*

As técnicas de tratamento *in situ*, consistem no tratamento ou contenção dos contaminantes no local, não implicando a remoção dos materiais contaminados. Entre estas destacam-se a cobertura (“*capping*”), a contenção hidrodinâmica, a estabilização/imobilização e a vitrificação (U.S.EPA, 1993; Evanko, *et al.*, 1997; Mulligan, *et al.*, 2001; Khan, *et al.*, 2004; Reis, *et al.*, 2007).

- ❖ A **cobertura (“*capping*”)** consiste no isolamento dos materiais geológicos contaminados, recorrendo à utilização de uma cobertura sobre um depósito *in situ* (Figura 8.1). A cobertura pode ser constituída por sedimentos não contaminados ou envolver materiais como geotêxteis, em camadas simples ou múltiplas;

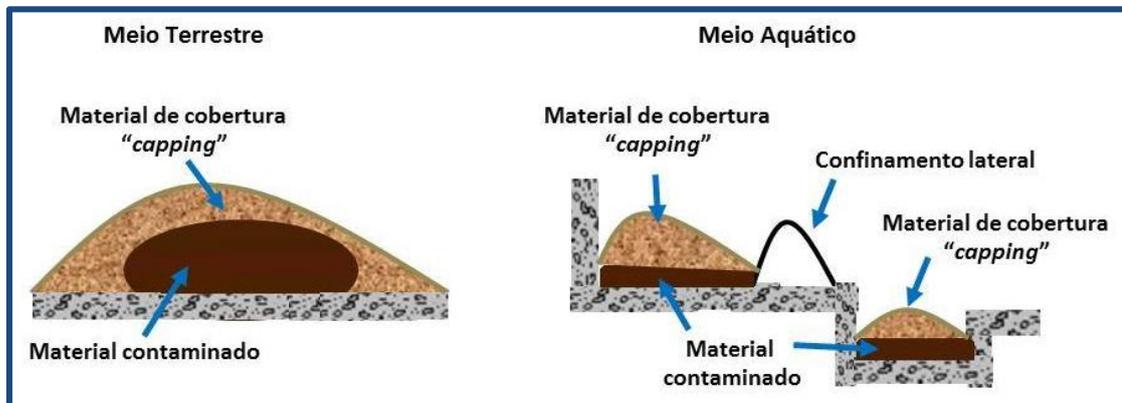


Figura 8.1: Sistemas de cobertura para a remediação de materiais contaminados.

(Adaptado de U.S.EPA, 2016)

- ❖ As **técnicas de solidificação/estabilização**, geralmente aplicadas a solos, envolvem a adição de agentes ligantes ao solo contaminado, de forma a conter os contaminantes num produto sólido (não eliminando os contaminantes) e reduzir o acesso a agentes externos dispersantes, evitando assim que os contaminantes sejam transportados nas águas subterrâneas e superficiais. A adição do agente ligante (orgânico ou inorgânico) é normalmente realizada por mistura no solo ou injeção dos agentes directamente no interior do material contaminado (Figura 8.2). Os agentes ligantes podem ser inorgânicos, como argilas (bentonite ou caulinite), cimento, cinzas volantes, carbonato de cálcio, óxidos de ferro e/ou manganês, carvão vegetal ou zeólitos ou orgânicos como betume, estrume ou compostos orgânicos (U.S.EPA, 1997; Wuana, *et al.*, 2011).

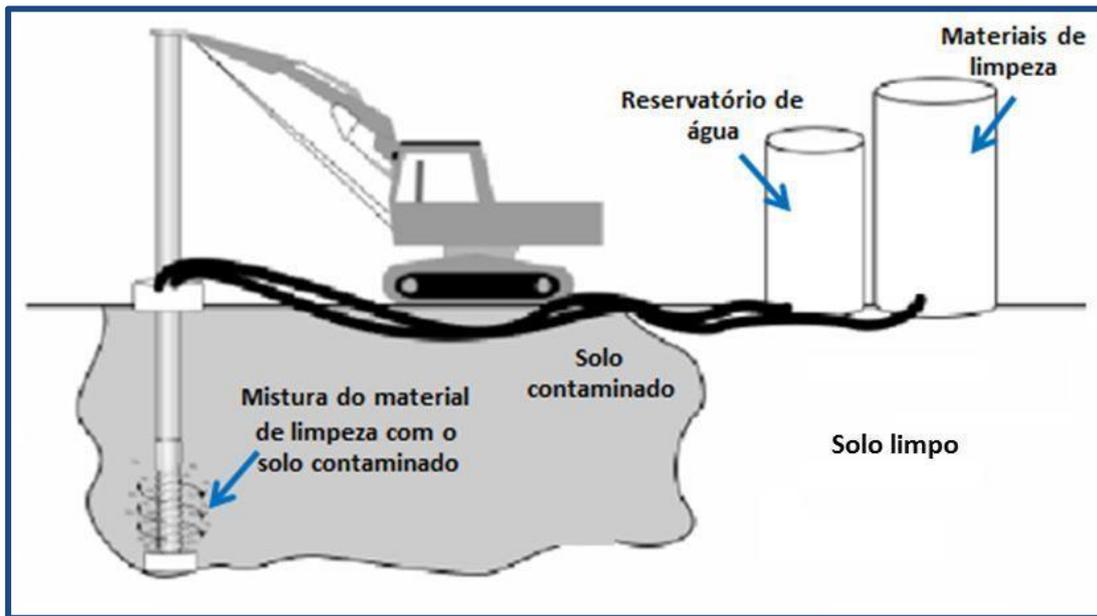


Figura 8.2: Aplicação da solidificação/estabilização na remediação de solos contaminados.

(Adaptado de Fonseca, *et al.*, 2015)

A solidificação refere-se, portanto, à transformação do solo num bloco sólido pela mistura do mesmo com cimentos, mistura esta que altera as propriedades físicas do meio contaminado. Por outro lado, a estabilização consiste na transformação do contaminante num produto menos prejudicial e menos móvel envolvendo reacções químicas inibidoras da mobilidade e solubilidade dos contaminantes. Estes dois métodos são usualmente empregues em conjunto, sendo que o produto resultante é normalmente escavado e conduzido a aterro.

- ❖ A **vitrificação**, igualmente aplicada a solos, consiste num tratamento a altas temperaturas da área contaminada tendo como objectivo a fusão do material contaminado, originando um material vítreo inerte, normalmente na forma de óxido, imobilizando os contaminantes por solidificação. Durante este processo, o aumento das temperaturas leva à volatilização de compostos orgânicos e espécies voláteis que existam na área. Este processo pode ser realizado *in situ* ou *ex situ*, sendo utilizado preferencialmente *in situ*, devido aos menores custos associados. O processo *in situ* envolve a passagem de uma corrente eléctrica pelo solo, utilizando um conjunto de eléctrodos inseridos verticalmente na área contaminada, que levam à fusão dos materiais contaminados (Figura 8.3), e posterior imobilização após o seu arrefecimento e solidificação (U.S.EPA, 1997; Wuana, *et al.*, 2011).

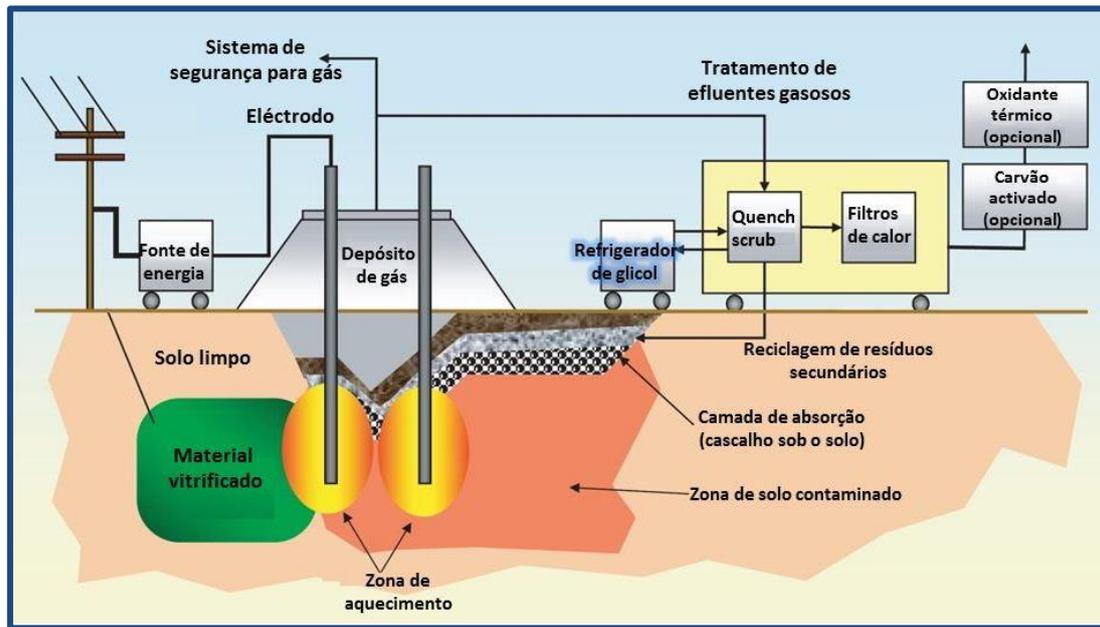


Figura 8.3: Processo de vitrificação *in situ*. (Adaptado de IAEA-2006b, 2016)

Uma das vantagens da utilização desta técnica é a sua rápida aplicação e obtenção de resultados, necessitando de um período entre semanas ou meses para a sua conclusão. No entanto a sua utilização está condicionada à necessidade de utilização de elevados recursos energéticos que englobam custos muito elevados.

8.1.2. Técnicas de Tratamento *ex situ*

As técnicas de tratamento *ex-situ* consistem em procedimentos em que ocorre a remoção dos materiais geológicos contaminados (solos e materiais sedimentares), sendo o seu tratamento ou deposição realizados exteriormente à área contaminada. Entre as técnicas de tratamento *ex situ* destacam-se a lavagem do material contaminado, a extracção térmica e o tratamento eletrocinético (OSPAR Commission, 2008; Manap, *et al.*, 2014).

- ❖ O **método de lavagem** de materiais geológicos contaminados é utilizado essencialmente como um processo de tratamento inicial, de forma a minimizar o volume de resíduos a tratar posteriormente. É tipicamente realizado em solos removidos (em tratamentos *ex situ*) mas também pode ser utilizado *in situ*. De uma forma geral, a lavagem é realizada através (1) da separação física das partículas que contém contaminantes, (2) remoção de contaminantes por adição química e (3) recuperação da solução ou do substrato sólido ou uma combinação de ambas as metodologias (Figura 8.4). No entanto, e na maioria dos

casos, as fracções contaminadas separadas têm como destino final a eliminação. A fracção separada não contaminada pode ser reutilizada como inerte para a cobertura, quer na área, quer noutros locais, ou depositada como um material não perigoso, diminuindo significativamente os custos. A lavagem de um material geológico contaminado pode ser realizada com água, ou com uma solução de surfactantes (agentes com actividade superficial), co-solventes, agentes quelantes ou ácidos orgânicos, tendo sempre como objectivo o posterior tratamento destas soluções, de forma a que elas próprias não originem fontes de poluição (U.S.EPA, 1997; Wuana *et al.*, 2011).

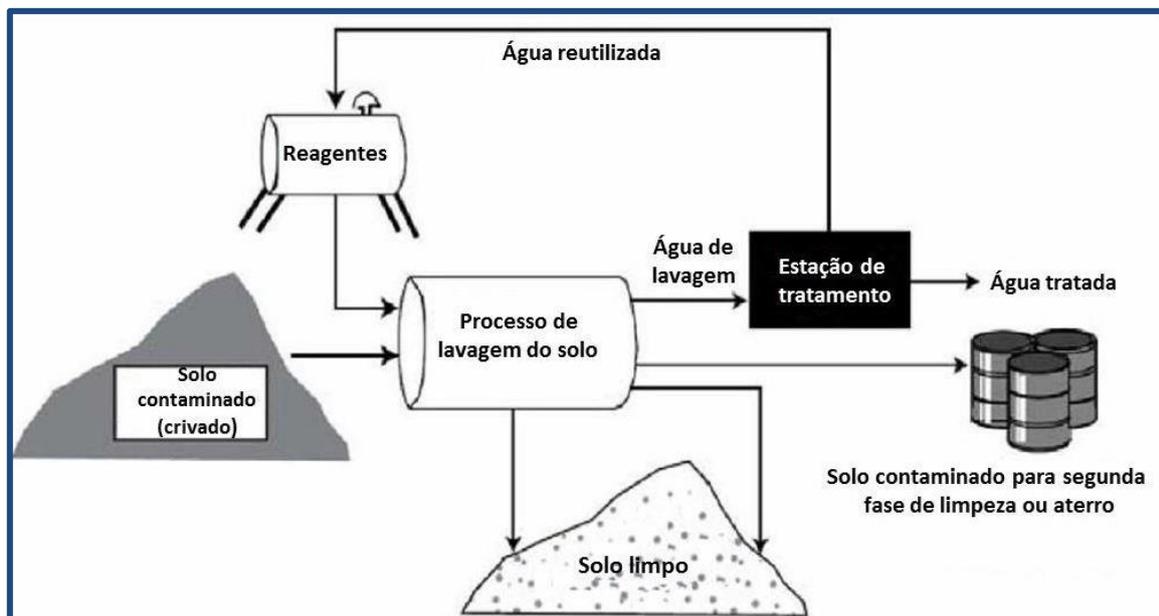


Figura 8.4: Processo de lavagem do solo. (Adaptado de ReNeW Canada, 2016)

O processo de lavagem é eficaz apenas para materiais grosseiros (com fracção de finos inferior a 20%) e que tenham baixo teor em matéria orgânica, estando de igual forma condicionada pelo tipo de material geológico e do contaminante.

- ❖ A **extração térmica** recorre a elevadas temperaturas de forma a remover os metais de materiais contaminados. Estes são queimados em caldeiras a alta temperatura, de forma a remover contaminantes voláteis da fase sólida. Os resíduos da combustão, ricos em elementos metálicos, podem ser recuperados e reutilizados (Martins, 2014).
- ❖ O **método de substituição** consiste na troca de parte do material geológico contaminado por um limpo, sendo o seu objectivo diluir a concentração dos contaminantes. Esta técnica pode ser realizada pela simples substituição do material contaminado por outro não contaminado, na escavação da área, permitindo a migração dos contaminantes para áreas mais profundas, o que leva à sua diluição e degradação/atenuação natural ou cobertura da área contaminada por materiais importados (Dias, 2014).

8.1.3. Métodos de Remediação Química (*in situ* e *ex situ*)

Os métodos de tratamento *in situ* de sistemas contaminados passam ainda pela aplicação de estratégias de remediação química. O tratamento consiste na adição de agentes químicos a materiais geológicos contaminados tendo como objectivo estabilizar os contaminantes através de processos de quelação, oxidação ou redução. Os tratamentos variam conforme os elementos contaminantes, variando ainda a proporção de aditivo que deverá ser adicionada ao material contaminado de forma que se verifiquem eficiências máximas. A maior desvantagem associada a estes tratamentos consiste na determinação dos riscos ambientais associados à sua utilização, assim como na determinação de possíveis libertações de contaminantes por variações dos parâmetros físico-químicos (U.S.EPA, 1997; Wuana, *et al.*, 2011).

- ❖ A **remediação por electrocinese**, consiste na aplicação de uma corrente eléctrica de baixa intensidade nos materiais contaminados, que tende a mobilizar espécies carregadas electricamente, causando a movimentação dos iões na direcção dos eléctrodos. Deste modo, iões metálicos, amónia e compostos orgânicos carregados positivamente movimentam-se para o cátodo, enquanto os aniões cloreto, cianeto, nitrato e outros compostos orgânicos carregados negativamente movimentam-se para o ânodo (Figura 8.5). Esta tecnologia pode ser aplicada em solos, lamas e materiais sedimentares dragados, contaminados por metais pesados, iões e compostos orgânicos, sendo aplicada maioritariamente em solos com baixa permeabilidade. As suas limitações relacionam-se com a baixa percentagem de humidade relativa nos materiais contaminados (inferior a 10%), a sua pouca eficiência em áreas que apresentem elevadas condutividades eléctricas e a necessidade de utilização de eléctrodos inertes (de carbono, grafite ou platina) e não metálicos, para que não ocorra dissolução por electrólise durante o processo de remediação (FRTR, *Federal Remediation Technologies Roundtable*, 2017).

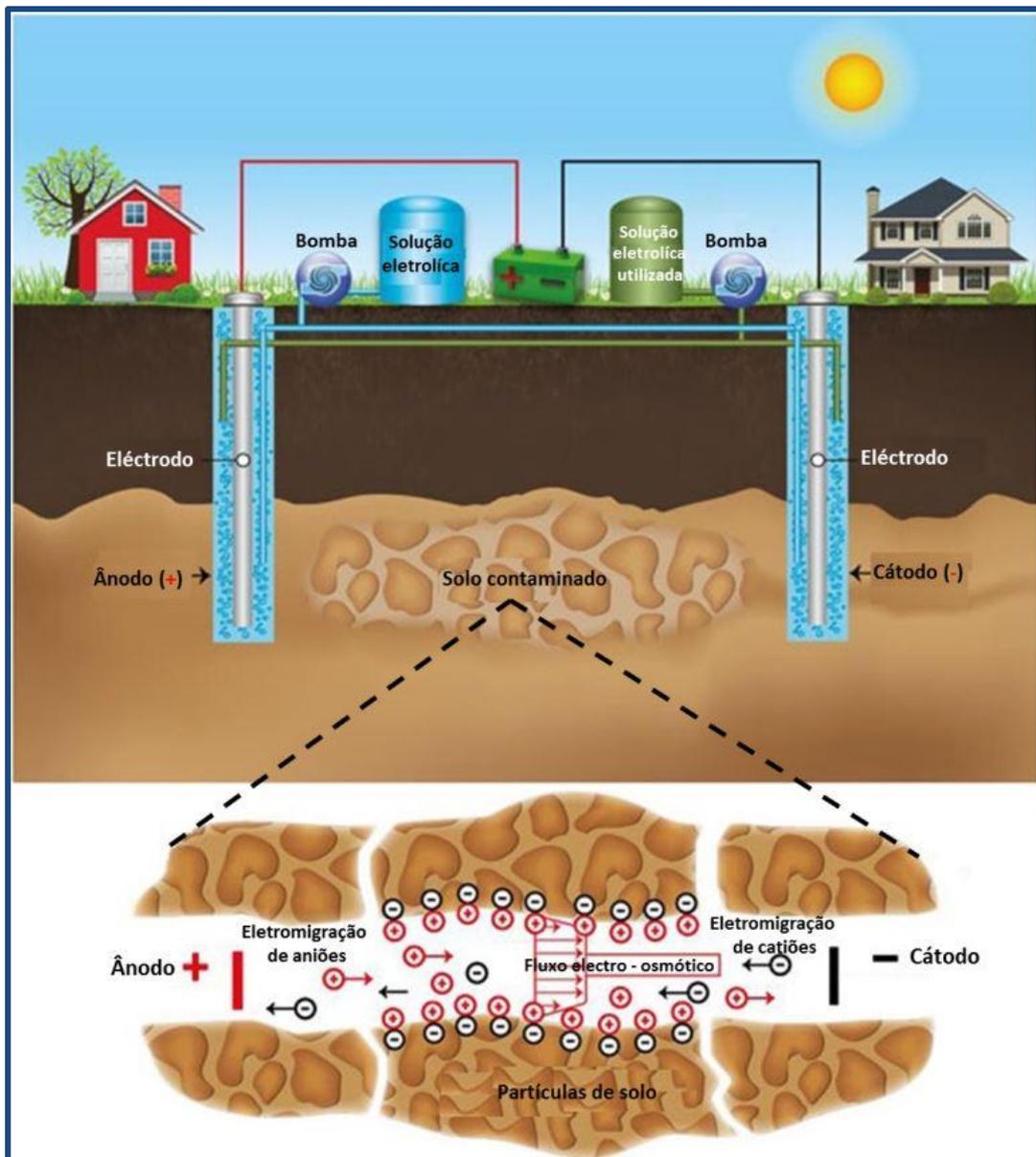


Figura 8.5: Processo de electrocinese. (Adaptado de *eni*, 2016)

- ❖ A **desadsorção térmica** é baseada na volatilidade dos poluentes e consiste no aquecimento do solo ou material sedimentar contaminado utilizando vapor, microondas ou radiação infravermelha de forma a volatilizar os contaminantes (Figura 8.6), sendo o seu principal objectivo a remoção do contaminante, do solo ou água, através da sua fase gasosa. No entanto, esta técnica pode apenas ser utilizada em contaminantes com baixo ponto de ebulição, uma vez que estimula os contaminantes através do calor e com sistemas de baixa pressão, sendo utilizado em compostos orgânicos e em elementos químicos como o arsénio ou o mercúrio que passam facilmente ao estado gasoso (Dias, 2014).

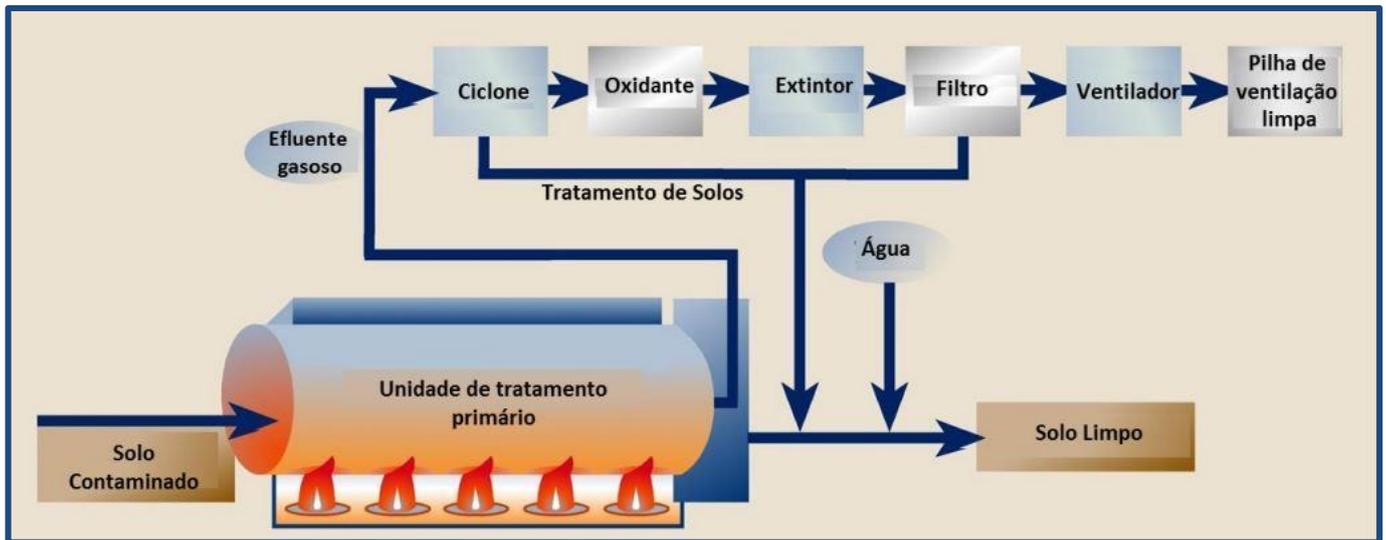


Figura 8.6: Processo de desadsorção térmica. (Adaptado de *Scientiaestpotentia*).

- ❖ O **flushing do solo** é uma técnica de extracção *in situ* com acção de uma solução aquosa. Este processo consiste na utilização de água, uma solução aquosa de químicos ou um extractante orgânico para recuperar os contaminantes do material *in situ*. Entre as soluções extractantes mais utilizadas identificam-se ácidos orgânicos ou inorgânicos, hidróxido de sódio, solventes solúveis em água (como o metanol) ou agentes complexantes (como EDTA ou DTPA). A solução extractante utilizada no *flushing* pode ser aplicada à superfície, acima da zona contaminada ou directamente na zona contaminada, no interior da zona vadosa ou na zona saturada. Os contaminantes são mobilizados por solubilização, formação de emulsões ou por reacções químicas por acção das soluções injectadas. Após a passagem pela zona contaminada, o fluido contendo os contaminantes é recolhido por furos estrategicamente posicionados ou trincheiras, sendo necessário o seu tratamento *ex situ*, de forma a reutilizar a água no processo (Figura 8.7).

A aplicabilidade desta técnica no solo depende da permeabilidade dos solos e na capacidade da solução lixiviar a área contaminada. Assim, este método é aplicado a contaminantes que sejam relativamente solúveis no fluido utilizado e que não tendam a ficar adsorvidos nas partículas do solo. Como todos os métodos de remediação a aplicação do *flushing* depende directamente de algumas propriedades do solo a remediar, tais como o pH, a tipologia do solo (por exemplo um solo com elevada heterogeneidade diminuirá a eficiência desta técnica), da capacidade de troca catiónica, da permeabilidade e condutividade hidráulica do material contaminado, do tipo de

contaminante e da sua concentração na fracção solúvel (principal fase mobilizada pelo *flushing*) (Evanko, *et al.*, 1997; Roote, 1997; U.S.EPA, 1997; Mulligan *et al.*, 2001; Khan *et al.*, 2004; FRTR, *Federal Remediation Technologies Roundtable*, 2017).

A profundidade da zona contaminada e da localização física do contaminante no interior do regime hidrogeológico não é por si só um factor limitante, sendo que contaminantes presentes na zona vadosa ou na zona saturada de aquíferos confinados ou não confinados são igualmente passíveis de tratamento com *flushing in situ*. A profundidade é, no entanto, um factor limitante no que diz respeito aos custos envolvidos com a injeção e a extracção (Roote, 1997).

Um dos parâmetros chave para a aplicação desta técnica é a permeabilidade. A condutividade hidráulica deverá ser idealmente superior a 1×10^{-3} cm/s de forma a permitir a passagem das soluções extractantes através da matriz do solo/sedimento num período razoável de tempo (aproximadamente 1 a 3 anos). Porém, materiais com baixa permeabilidade, com condutividades hidráulicas entre 10^{-3} e 10^{-5} cm/s podem também ser considerados para *flushing*, sendo apenas necessário ter em conta que a duração do processo de remediação terá de ser mais longo. A determinação da condutividade hidráulica deve ter em conta variações verticais e laterais, devendo ser realizada em diferentes localizações na potencial zona de tratamento e ser determinada a sua variação. É ainda importante determinar a condutividade hidráulica em unidades adjacentes à potencial zona de *flushing* para determinar o potencial de contenção natural e a necessidade de construção de zonas de contenção adicionais (Roote, 1997; FRTR, *Federal Remediation Technologies Roundtable*, 2017).

A contenção dos contaminantes e das soluções extractantes após o *flushing* é essencial para a aplicação desta tecnologia com sucesso. A sua aplicação é simplificada quando os gradientes hidráulicos horizontais e verticais são baixos e/ou a zona de tratamento é rodeada geologicamente por materiais com condutividade hidráulica relativamente baixa. Inversamente, a presença de linhas de água, lagos ou outras zonas de descarga de água subterrânea na proximidade da zona de tratamento o que pode dificultar a aplicação desta técnica, uma vez que a presença destes sistemas não facilita a contenção hidráulica (Roote, 1997; FRTR, *Federal Remediation Technologies Roundtable*, 2017).

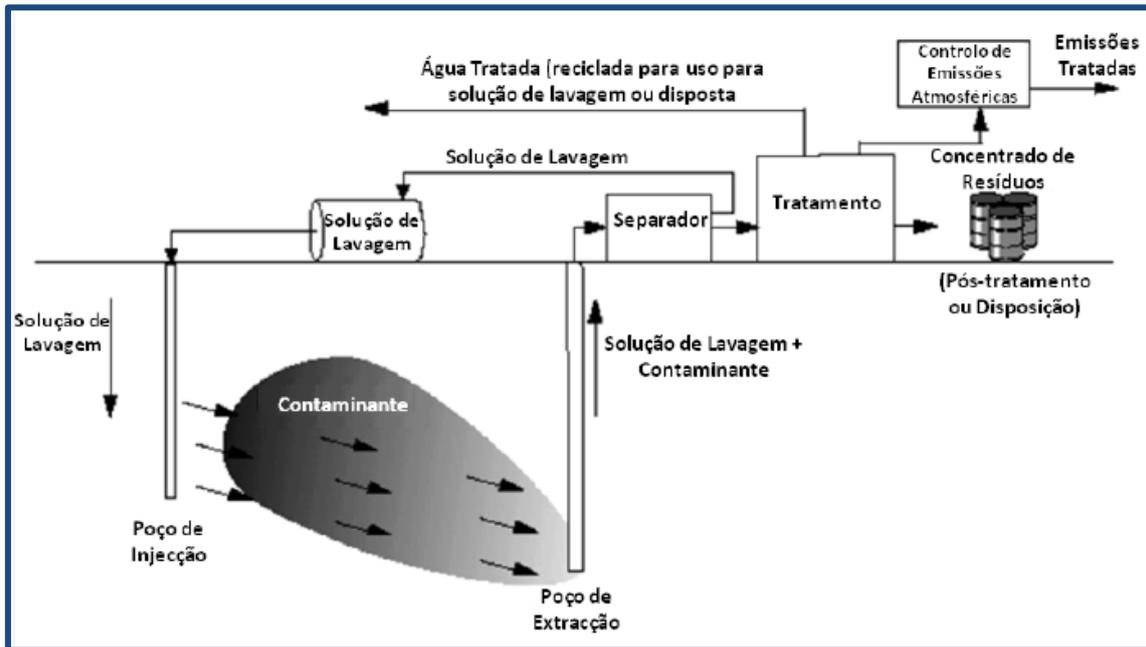


Figura 8.7: Processo de *flushing* do solo *in situ*. (Adaptado de U.S. EPA, 2016)

8.1.4. Métodos de Remediação Biológicos

As metodologias de tratamento biológicas são geralmente utilizadas na remediação de contaminantes orgânicos, podendo ainda ser aplicados na remediação de áreas contaminadas com elementos metálicos. A possibilidade da sua aplicação em zonas contaminada em metais relaciona-se com a capacidade de algumas plantas e microrganismos de adsorver elementos metálicos ou alterar o potencial de oxidação/redução (Eh) do ambiente onde vivem (Martins, 2014). A biorremediação permite assim que processos naturais limpem os contaminantes do meio, uma vez que os microrganismos presentes nas águas subterrâneas e nos solos absorvem e digerem as substâncias químicas contaminantes. As técnicas de tratamento biológico podem ser realizadas por (Martins, 2014):

- ❖ **Bioacumulação** – consiste na captação dos contaminantes por organismos. Alguns microrganismos e plantas possuem a capacidade de acumular elementos metálicos como resultado dos seus processos metabólicos naturais;
- ❖ **Biolixiviação** – consiste na lixiviação induzida por microrganismos, utilizando a acção directa de bactérias ou a sua interação com produtos metabólicos para a solubilização de contaminantes metálicos. Este processo pode ser utilizado *in situ* ou *ex situ* como processo auxiliador na remoção de elementos metálicos do meio;

- ❖ **Processos Bioquímicos** – consistem em reacções de oxidação e redução mediadas por microrganismos, que podem ser manipuladas para a remediação de contaminações metálicas. Alguns microrganismos são capazes de oxidar ou reduzir contaminantes metálicos directamente. Por outro lado, a metilação envolve a junção de grupos metilo a formas inorgânicas de iões metálicos, formando compostos organometálicos. Este processo pode ser mediado por acção de microrganismos, no entanto, são necessários tratamentos posteriores para que não ocorram contaminações secundárias, visto que estes compostos são mais voláteis e móveis;

- ❖ **Fitorremediação** - processo de remediação com recurso a plantas, amplamente utilizado em solos. É definido como um processo *in situ* tendo como finalidade a remoção, degradação, ou imobilização de poluentes em solos, águas e sedimentos (Figura 8.8) (Evangelho, *et al.*, 2007, *in* Pinho, 2013). Os processos de remoção de contaminantes com recurso a esta técnica encontram-se definidos na tabela 8.1.

Tabela 8.1: Processos de remoção de contaminantes através de Fitorremediação

(Pivetz, 2001, Marques, *et al.*, (2009).

Método	Processo	Utilização	Sub-processo	Descrição
Fitorremediação	Degradação de Contaminantes	Poluentes orgânicos	Risodegradação	aumento da capacidade de biodegradação abaixo da zona radicular por acção de microrganismos.
			Fitodegradação	captação pelo sistema radicular seguida de acumulação de elementos contaminantes.
	Acumulação	Poluentes orgânicos ou metálicos	Fitoextracção	absorção de metais do solo, deslocalizando-os para as folhas, onde são acumulados
			Rizofiltração	adsorção pelo sistema radicular e contenção e/ou posterior remoção de elementos contaminantes
	Dissipação	Poluentes orgânicos e inorgânicos e posterior emissão para a atmosfera	Fitovolatilização	extracção de determinados metais do solo e libertação por volatilização para a atmosfera através das suas partes aéreas.
	Imobilização	Contenção de poluentes orgânicos e inorgânicos	Fitoestabilização	utilização de plantas para estabilizar o solo, facilitando a posterior limpeza do mesmo.

As vantagens e limitações da utilização de métodos de fitorremediação em áreas contaminadas com metais pesados têm sido largamente estudadas em função do seu menor custo quando comparadas com os processos físico-químicos mais dispendiosos (Lasat, 2000). No entanto, a aplicação destes métodos acarreta ainda algumas limitações, nomeadamente relacionadas com o seu pequeno raio de acção (o que torna imperactivo um grande número de espécies vegetais para a descontaminação de uma área), a impossibilidade de descontaminação de zonas abaixo do nível radicular, a impossibilidade de remoção de contaminantes não bioacessíveis e a remoção dos resíduos orgânicos após a colheita (Lasat, 2000).

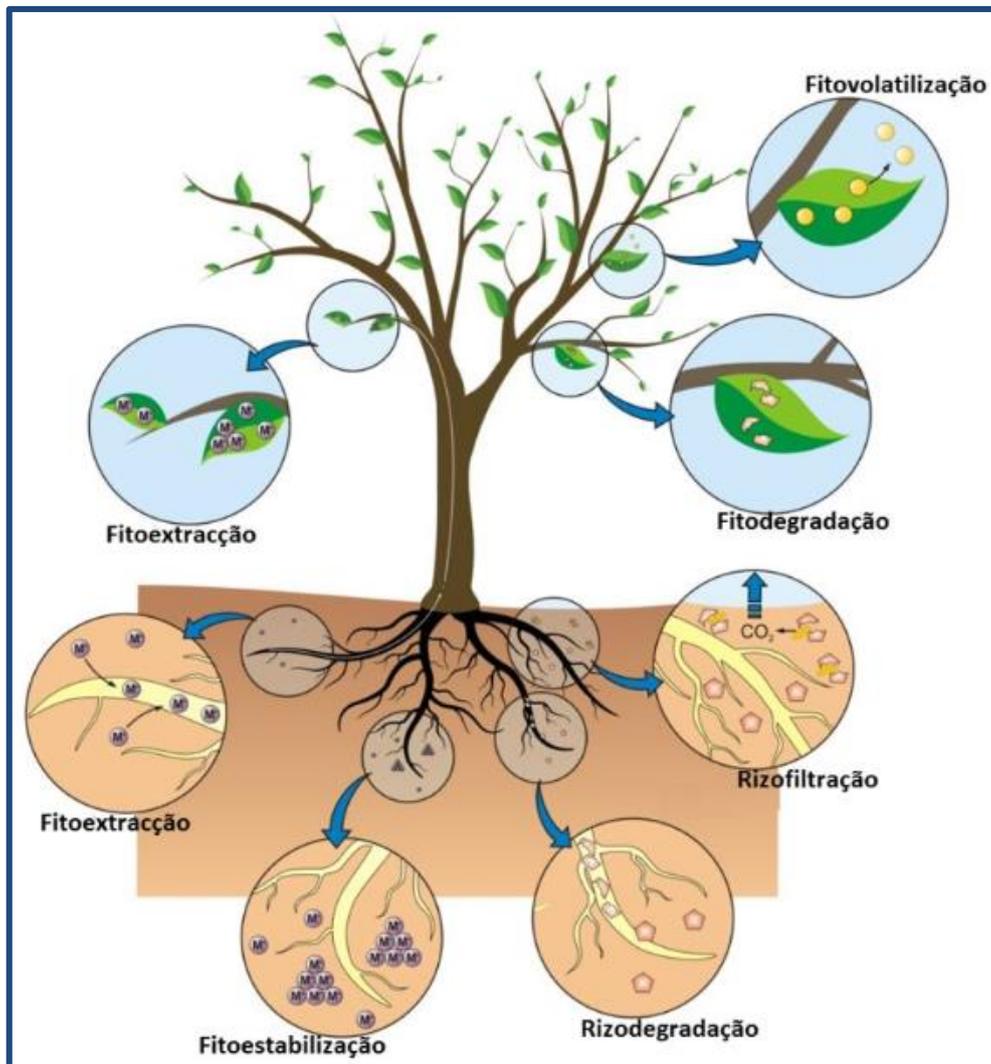


Figura 8.8: Esquematização dos processos de Fitorremediação.

(Adaptado de INTECH, 2016)

8.1.5. Métodos de Remediação de Águas Subterrâneas Contaminadas

As técnicas de remediação mais utilizadas para a remediação de aquíferos e águas subterrâneas podem ser físico-químicas e/ou biológicas (Pivetz, 2001; Marques *et al.*, 2009), sendo agrupadas em quatro grupos genéricos:

- **Atenuação** do risco por meios institucionais (gestão);
 - **Contenção/isolamento** dos materiais contaminados *in situ*, não ocorre descontaminação, mas os contaminantes mantêm-se no local através da colocação de coberturas superficiais ou barreiras de contenção impedindo o seu deslocamento;
 - **Tratamento *in situ*** da contaminação (mediante diversas técnicas);
 - **Remoção** da contaminação e **destruição** ou **tratamento *ex situ*** (mediantes diversas técnicas).
- ❖ O processo de **Atenuação Natural** representa um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos, que reduzem a massa, a toxicidade, a mobilidade, o volume ou a concentração de contaminantes no solo e na água subterrânea sem a intervenção humana. Este fenómeno baseia-se em processos como a biodegradação, dispersão hidromecânica, diluição, sorção, decaimento radioactivo, volatilização e estabilização (transformação ou destruição por reacção química e biológica do contaminante).
- ❖ A **Contenção Hidrodinâmica** com aplicação de **Barreiras Impermeáveis** consiste na modificação das condições de fluxo no sistema aquífero de modo a impedir a migração de contaminantes. Os processos de contenção hidrodinâmica requerem, por isso, supervisão rigorosa, manutenção de furos e bombas e o ajuste do caudal espectável perante variações externas, tais como precipitação e recarga. A utilização de barreiras impermeáveis subdivide-se em três tipos configuração: uma primeira que garanta o isolamento de todo o local contaminado, sendo para esta necessário o capeamento (uniformização da área) de forma a evitar a infiltração de águas pluviais, a bombagem da água subterrânea para posterior tratamento e a ventilação ou drenagem de gases, caso seja necessário (Figura 8.9 a). Uma segunda, consistindo na construção de barreiras impermeáveis a montante da zona contaminada, evitando assim a recarga de água limpa e propiciando a saída da água contaminada através do normal sistema de fluxo (Figura 8.9 c). Uma terceira, que consiste na construção destas barreiras a jusante da zona contaminada permitindo assim a captação mais eficaz da água contaminada para posterior tratamento (Figura 8.9 b).

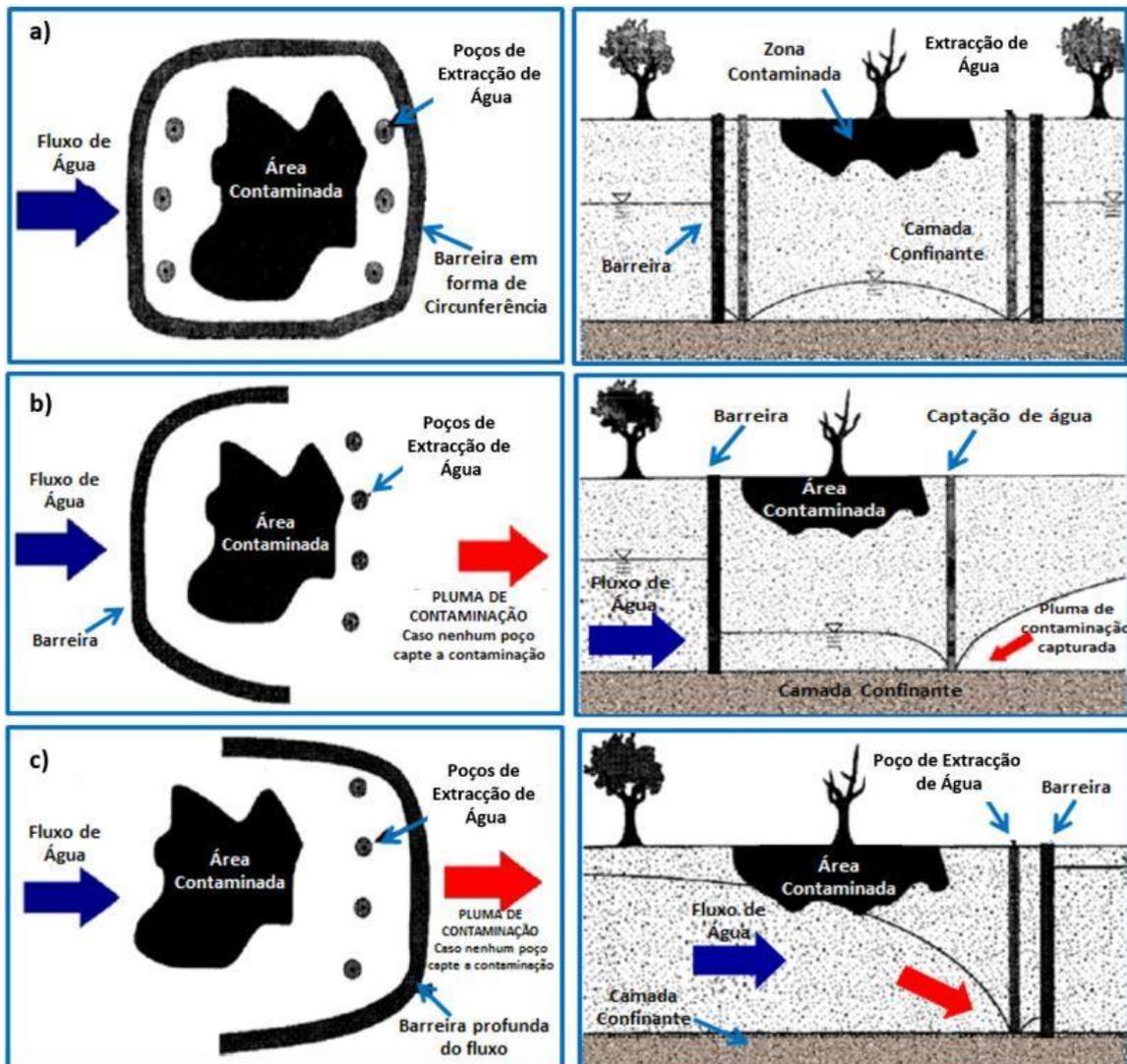


Figura 8.9: Barreiras impermeáveis. a) barreira impermeável em forma de circunferência; b) barreira impermeável construída a jusante da contaminação; c) barreira impermeável construída a montante da contaminação. (Adaptado de Fonseca, *et al.*, 2015)

A utilização de barreiras impermeáveis a montante e a jusante das zonas contaminadas apenas podem ser utilizadas quando o fluxo do aquífero não é muito elevado. A execução deste tipo de barreiras requer a construção de trincheiras impermeáveis. Estas trincheiras são impermeabilizadas com recurso a *Cimento-Escória-Bentonite* (tecnologia patenteada no Reino Unido), inicialmente fluido de forma a sustentar às paredes da trincheira até que se torna sólido. Pode ser ainda utilizado *Solo-Bentonite* (tecnologia patenteada nos Estados Unidos da América) de forma a substituir a mistura temporária de *Água-Bentonite* utilizada para manter estáveis, numa primeira fase, as paredes da trincheira. Este tipo de estrutura requer ainda a aplicação de um material impermeável no fundo da trincheira o qual, por vezes, pode ser injectado sob pressão.

As barreiras têm como principal objectivo a limitação da infiltração da água superficial, quer à superfície, quer lateralmente. As principais vantagens na utilização de tecnologias de contenção consistem (1) na sua relativamente simples e rápida implementação, com baixos custos; (2) na possibilidade de implementação em áreas muito extensas e com elevados volumes de resíduos; e (3) na possibilidade de deposição à superfície de um solo não contaminado que suporte vegetação e que seja esteticamente apelativo. As suas limitações incluem o desconhecimento do seu tempo de vida útil, a não remoção dos contaminantes dos locais e a necessidade de manutenção e monitorização (U.S.EPA, 1997).

O tratamento de áreas contaminadas engloba geralmente a recuperação de águas subterrâneas e superficiais, devendo estas ser descontaminadas em conjunto com os materiais geológicos (solos e sedimentos) presentes, assim torna-se necessário conhecer alguns métodos de tratamento de águas.

- ❖ A **bombagem e tratamento** (“*pump-and-treat*”) corresponde ao método mais frequentemente utilizado onde a água subterrânea é bombeada para um reator, tratada e reinjectada no sistema. O tipo de tratamento aplicado à água no reactor varia de acordo com o poluente (Figura 8.10). Ocasionalmente a área contaminada pode ser isolada com barreiras de baixa permeabilidade de forma a prevenir a migração dos contaminantes, no entanto, a contaminação mantém-se na área (Bronstein, 2005). Esta técnica torna-se dispendiosa uma vez que é necessária a construção de instalações para o tratamento das águas extraídas de forma a esta ser reintroduzida no aquífero (através dos poços de injeção) ou colocada em linhas de água ou lagos (Figura 8.10) (Khan *et al.*, 2004; Bronstein, 2005). Os poços de extracção são normalmente construídos na zona contaminada, de forma a minimizar a dispersão da pluma de contaminação, podendo ser utilizados surfactantes que mais facilmente mobilizem os contaminantes do solo ou sedimento contaminado (Khan *et al.*, 2004).

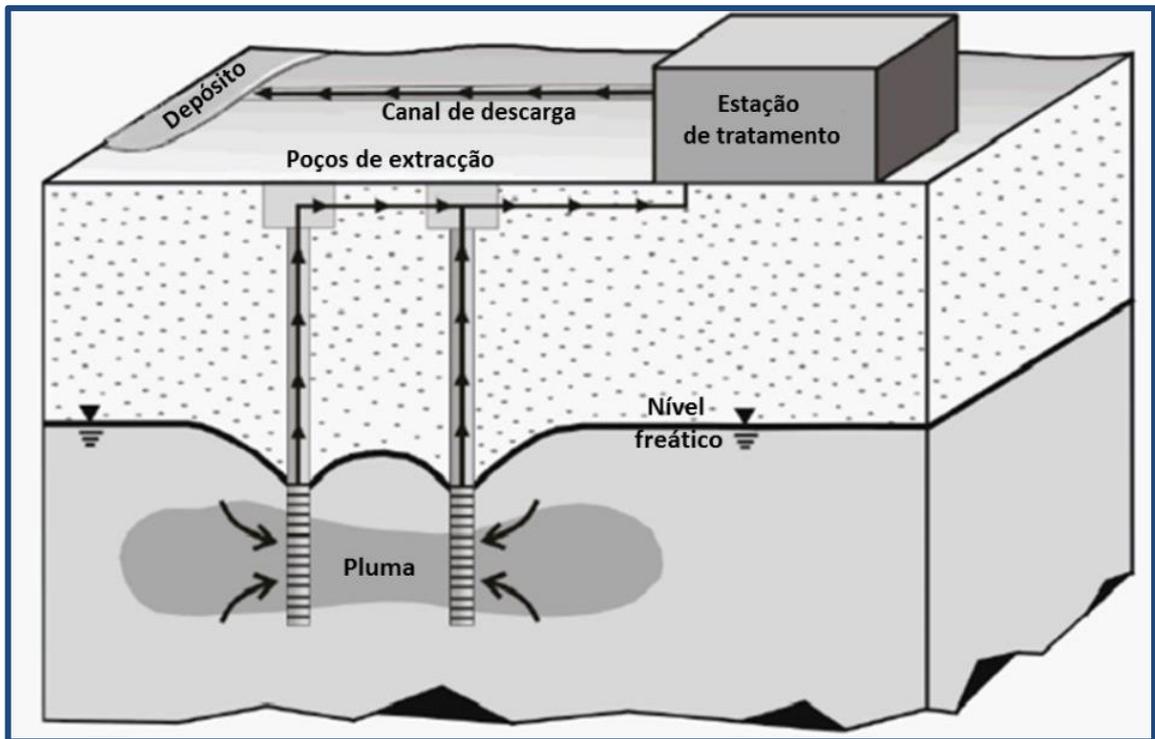


Figura 8.10: Processo de captação e tratamento (“*pump-and-treat*”). (Adaptado de *Oceanworld*, 2016)

As principais vantagens desta técnica relacionam-se com (1) a simplicidade de *design* e operação, (2) a elevada disponibilidade de equipamentos necessários, (3) a possibilidade do tratamento de todos os contaminantes na fase solúvel ou móvel, (4) a sua rápida implementação e (5) o reduzido número de perturbações na área, quando comparada com outras tecnologias de remediação. As suas limitações relacionam-se com (1) os tempos de remediação muito elevados (que podem variar entre 5 a mais de 50 anos), (2) a sua baixa eficiência em solos argilosos, rochas fracturadas e contaminantes que fiquem adsorvidos nos solos e (3) os seus custos muito elevados, devido ao tratamento *ex-situ* das águas bombeadas e à construção, manutenção e funcionamento dos poços (Khan et al., 2004, FRTR, *Federal Remediation Technologies Roundtable*, 2017).

- ❖ A técnica “*Air sparging*” consiste na injeção de ar abaixo da linha d’água, sobe a forma de um fluxo de água que vai gradualmente absorvendo o oxigénio causando a volatilização dos contaminantes (Figura 8.11). O oxigénio promove ainda a biodegradação dos compostos orgânicos presentes, uma vez que estimula as reacções catabólicas dos microorganismos presentes. Este método é bastante eficiente para contaminantes voláteis orgânicos (VOCs) e para amônia (gás amoníaco, composto químico cuja molécula é constituída por um átomo de azoto (N) e três átomos de

hidrogénio (H), NH_3), podendo alcançar percentagens de 90% de remoção de poluentes, que pode ainda ser catalisada através da injeção de ar quente. Sendo o seu princípio de tratamento a transferência do contaminante da fase aquosa para gasosa, a qual deverá ser posteriormente tratada (Khan *et al.*, 2004, FRTR, *Federal Remediation Technologies Roundtable*, 2017).

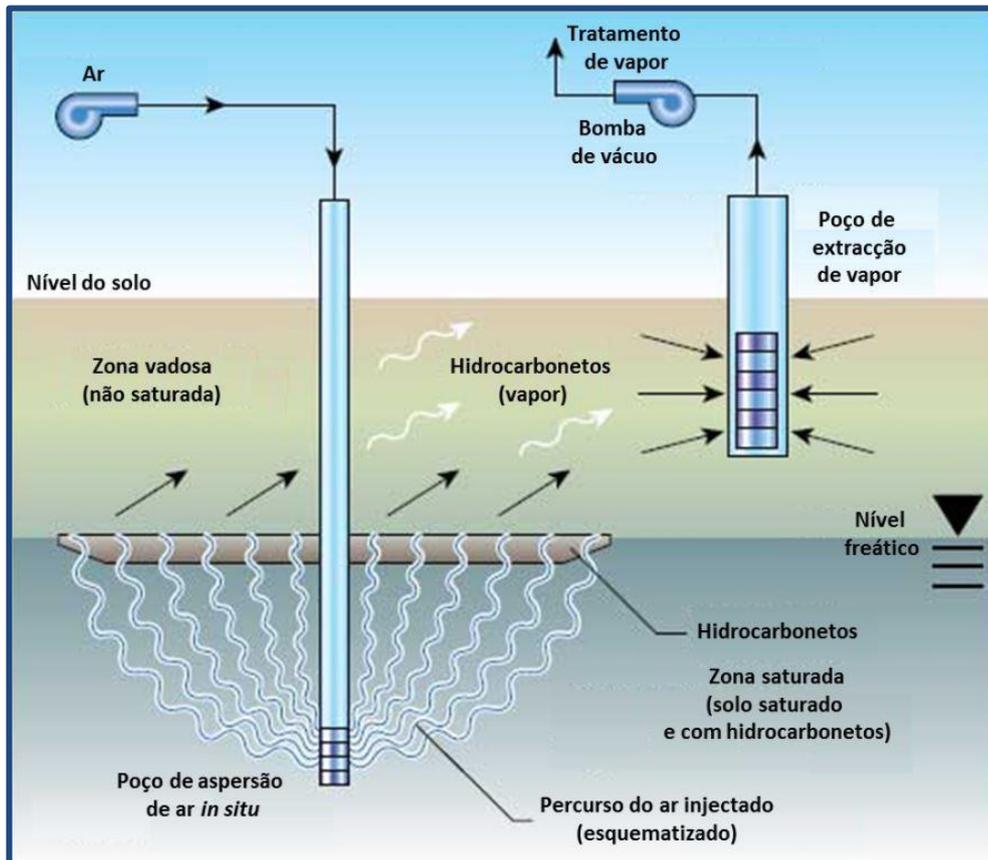


Figura 8.11: Processo de "air sparging". (Adaptado de IHS Engineering 360, 2016)

- ❖ As **Barreiras Reactivas Permeáveis (BRP)** são uma alternativa economicamente viável à utilização de métodos de "pump-and-treat". Constituem num método de tratamento *in situ* com recurso a material reactivo, de cariz permanente, semi-permanente ou substituível instalado na direcção do sentido de fluxo do transporte de uma pluma de contaminação (RTDF *Permeable Reactive Barriers Action Fean*, 1998), funcionando como filtros que retêm os contaminantes como radionuclídeos e elementos traço, através da sua degradação e/ou imobilização, sem influenciar o fluxo de água subterrânea (Figura 8.12). (D.L. Naftz, *et al.*, in U.S. Geological Survey (USGS), 2016).

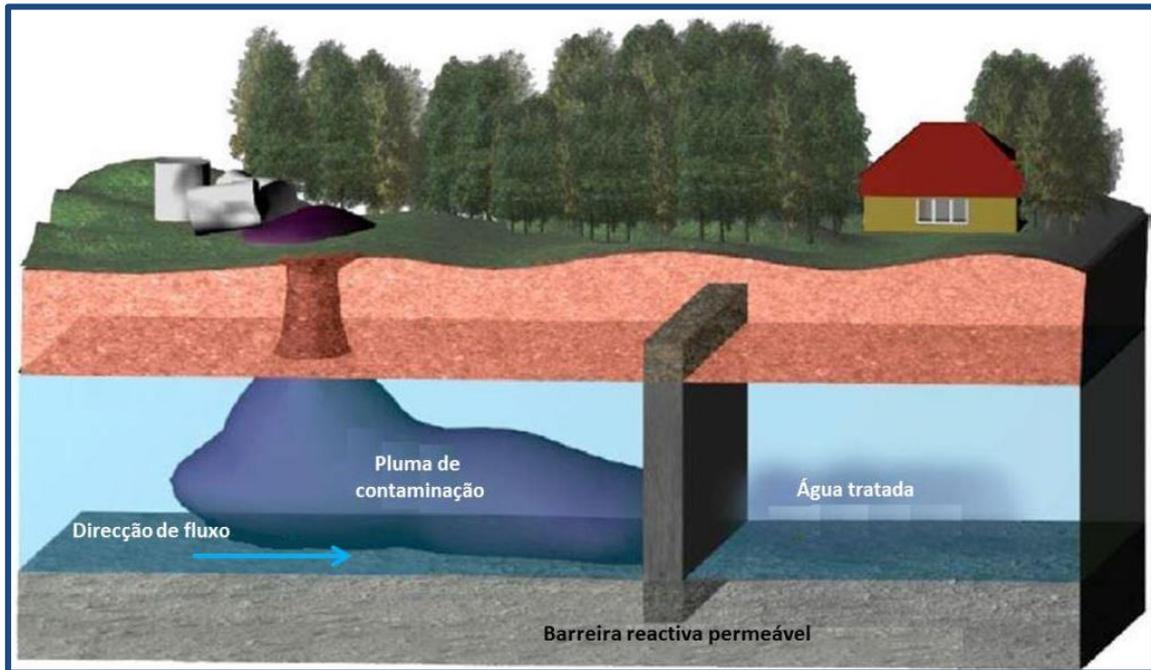


Figura 8.12: Modelo conceitual de uma Barreira Reactiva Permeável. (Adaptado de Birke, *et al.*, 2006)

A retenção dos contaminantes pode ser feita de várias formas. Normalmente, à medida que a água subterrânea passa através da barreira reactiva, de acordo com o gradiente hidráulico, os contaminantes são removidos com recurso a processos físicos, químicos ou microbiológicos, que estão dependentes da natureza do contaminante e do material de construção da própria barreira. Estes processos incluem a precipitação, sorção, oxidação/redução, fixação e degradação dos contaminantes. Um exemplo da aplicação deste tipo de barreiras é na construção de aterros sanitários, onde são utilizadas para impedir a lixiviação dos poluentes. Corresponde a uma tecnologia bastante disseminada na América do Norte com resultados práticos considerados satisfatórios pelas entidades ambientais.

A utilização de barreiras reactivas como método de remediação/recuperação de águas subterrâneas necessita, após a sua instalação, de monitorização permanente. No entanto a sua instalação semipermanente com recurso a baixo consumo de energia e limpeza apenas da área necessária, diminui os volumes de solos a serem tratados, reduzindo os custos e tornando esta técnica uma das mais viáveis economicamente. Além disso, permite ainda a utilização da área logo após a instalação da barreira. A aplicação desta técnica encontra-se em constante actualização, sendo os principais objectos de estudo a) o tipo de materiais a utilizar na construção de barreiras que sejam reactivos para os diversos poluentes; e b) os métodos de instalação para

locais mais profundos ou de difícil acesso a um custo razoável. (Naftz, *et al.*, in U.S. Geological Survey (USGS), 2016)

O fluxo de água contaminada que atravessa uma barreira reactiva permeável está directamente relacionada e dependente do gradiente natural, assim este sistema de tratamento necessita de manutenção reduzida. As reacções químicas que ocorrem no material de enchimento das barreiras tem como objectivo degradar os contaminantes, tornando-os menos tóxicos ou transferi-los para fases imóveis, mais estáveis. (Naftz, *et al.*, 2016). As potenciais limitações da utilização de barreiras reactivas incluem a possibilidade de libertação de contaminantes retidos após desgaste do material reactivo de enchimento. A remoção e tratamento deste material após a passagem da pluma de contaminação pode, quando mal executado, provocar efeitos nocivos na qualidade da água “tratada/descontaminada” (Naftz, *et al.*, 2016). O desenvolvimento e aplicação de BRPs permite um uso mais eficaz de tecnologias naturais, de forma a remediar locais contaminados (Carvalho, 2008).

8.1.5.1. Construção e Aplicação de Barreiras Reactivas Permeáveis (BRP)

- **Tipos Construtivos de BRP**

O principal objectivo da utilização de BRP's consiste, como já referido anteriormente, na captura de uma pluma de contaminação migratória com recurso a materiais reactivos. As BRP's podem ser construídas mediante duas configurações principais, como barreiras de trincheira contínua ou de funil e comporta (Powell, *et al.*, 1998; Gavaskar, *et al.*, 2000).

- 1) As **Barreiras Contínuas** devem ser projetadas de forma a provocarem o menor impacto possível sobre as condições de circulação das águas subterrâneas no local, sendo o seu principal objectivo a passagem da água através da barreira segundo o seu gradiente e velocidade normal. A velocidade da água no interior da barreira será muito semelhante à do próprio aquífero, sendo que, se a condutividade hidráulica do aquífero for inferior à da barreira, não ocorrerão problemas de desvio da pluma de contaminação. Assim, este tipo de barreira necessita apenas de cobrir uma área equivalente à secção transversal da pluma (Figura 8.13) (Fuente, 2011).

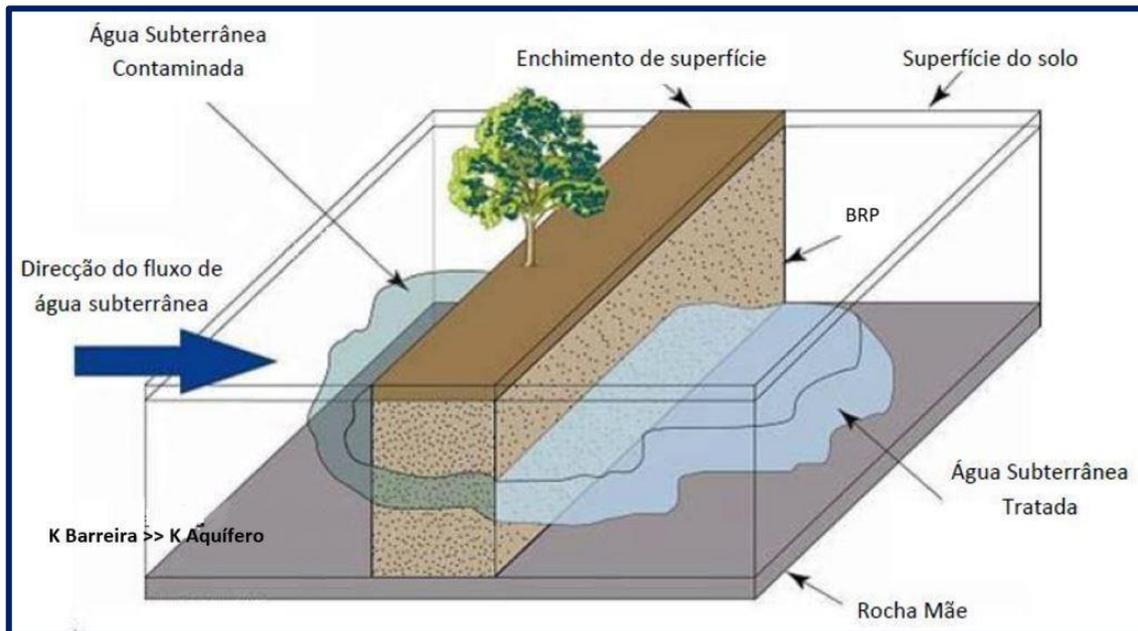


Figura 8.13: Configurações em barreira contínua. (K: Coeficiente de permeabilidade; BRP: Barreira Reactiva Permeável) (Adaptado de Fuente, 2011)

Numa perspetiva ideal, as barreiras contínuas devem ser construídas com comprimento e profundidade abrangente das dimensões horizontais e verticais da pluma de contaminante, assegurando-se que o enchimento da barreira, adequado à situação e tipo de contaminante, assegura uma espessura suficiente para a remediação do contaminante em questão até ser atingida a concentração pretendida. Por vezes, quando a pluma é muito grande ou profunda, as dimensões necessárias para a aplicação de barreiras contínuas que garantam a eliminação do(s) contaminante(s) são demasiado elevadas para serem exequíveis. Assim, de forma a contornar este problema, foram desenvolvidas barreiras com sistemas de funil e comporta.

- 2) As **Barreiras de Funil e Comporta** são constituídas por muros de muito baixa permeabilidade cuja sua função é encaminhar/direcionar a água até à secção reactiva da barreira, actuando como uma espécie de funil. Este método permite uma área reactiva mais reduzida, e por outro lado, uma menor quantidade de reagente, reduz muito os custos. Os funis são constituídos tipicamente por cortinas de estacas, paredes de "slurry", ou outros materiais encastrados/aplicados em camadas geológicas impermeáveis, como argilas ou rocha sã (Figura 8.14) (Fuente, 2011).

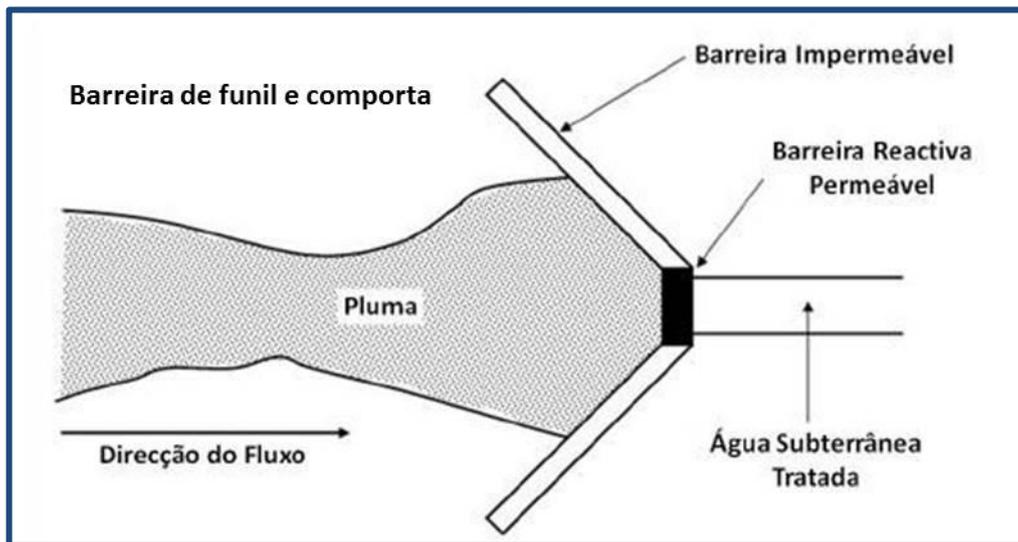


Figura 8.14: Configurações em barreira de funil e comporta. (Adaptado de Fonseca, *et al.*, 2015)

Uma vez que se direciona uma grande área de fluxo para uma secção com área muito inferior, as velocidades de água subterrânea no interior da barreira serão superiores às que resultam do gradiente natural (Day, *et al.*, 1999 *in* Fuente, 2011). Para o caso de plumas muito largas, podem ser utilizadas várias portas em paralelo. Para o caso de plumas que contêm uma mistura de contaminantes e que necessitem de mais do que um tipo de material reactivo, podem ser tratadas através da aplicação de várias comportas em série em que cada uma possuiria uma substância reactiva específica (Starr, *et al.*, 1994 *in* Fuente, 2011).

- **Materiais Utilizados em Mecanismos de Remoção**

O enchimento das BRP é geralmente constituído por um material poroso, mais permeável que o constituinte do aquífero que contém a água subterrânea contaminada, de forma a permitir a convergência do fluxo de água para a zona de tratamento. (Carvalho, 2008)

O tipo de material reactivo utilizado em barreiras é estudado e adequado à problemática tendo em conta o tipo e natureza dos contaminantes e do resultado que se pretende obter. As principais características que os materiais reactivos devem satisfazer são as seguintes (Gavaskar, *et al.*, 2000; Roehl, *et al.*, 2000, *in* Fuente, 2011).

- Possuir reactividade suficiente para promover a redução da concentração do contaminante até ao valor pretendido, sendo que a barreira deve imobilizar o contaminante no interior do material reactivo de forma a ser eficaz. Esta reactividade

é avaliada através do tempo de residência e da cinética da reacção de forma que a BRP possua uma espessura dentro dos limites aceitáveis;

- Garantir eficácia durante um período de tempo pré-determinado, ou seja, ser suficientemente estável a alterações do meio de funcionamento (pH, temperatura, etc);
- Assegurar uma granulometria variada de forma a garantir tempos de residência e permeabilidades compatíveis com as velocidades do fluxo de águas subterrâneas;
- Ser compatível ambientalmente, evitando formação de subprodutos contaminantes de forma a que ele próprio não se torne numa fonte de contaminação;
- Se de fácil acesso e economicamente viável, isto é o material reactivo deve encontrar-se disponível e a custos razoáveis, para esta seja uma tecnologia de remediação economicamente viável;
- Consistir num produto não nocivo para os trabalhadores que o manuseiam.

O ferro zerovalente corresponde ao material mais vulgarmente utilizado em BRP para o tratamento de uma grande variedade de compostos orgânicos clorados, metais e radionuclídeos. Materiais reactivos, como fontes de carbono ("*compost*"), calcários, carbono ativado granular, zeolitos, entre outros têm sido igualmente utilizados em BRP no tratamento de metais e alguns compostos orgânicos (Tabela 8.2 e Tabela 8.3) (Chunming, *et al.*, 2001; EPA, 2002; Birke, *et al.*, 2003; Birke, *et al.*, 2005; Wantanaphong, *et al.*, 2005; Roehl, *et al.*, 2005; Birke, *et al.*, 2006; Golab, *et al.*, 2006; EPA, 2010).

Tabela 8.2: Materiais reactivos utilizados para o tratamento de compostos orgânicos.

Materiais Reactivos	Contaminantes	Processo de Tratamento
Fe ⁰ , Fe ⁰ /Al ⁰ , Fe ⁰ /Pd, Fe ⁰ /Pirite, Fe/Ni	CHC, FCHC, Aromáticos clorados	Desalogenação redutiva abiótica
Fe ⁰ e bactérias metano-tróficas	Clorohidrocarbonetos	Desalogenação redutiva abiótica e degradação microbiológica
Zeolitos e bactérias metano-tróficas	TCE	Adsorção ligada à degradação microbiológica
Zeolitos	MTBE, CHCl ₃ , TCE	Adsorção
Zeolitos modificados com surfactantes (SMZ)	PCE, PAH	Adsorção
Fe ⁰ /Zeolitos modificados com surfactantes	PCE	Adsorção, redução
Organo-bentonites	TCE, benzeno, fenóis	Adsorção, oxidegradação e degradação microbiológica
Compostos libertadores de oxigénio	BTEX	-
Carbono Activado	PAH, TCE, DCE	Adsorção possivelmente ligada com degradação microbiológica

Tabela 8.3: Materiais reactivos utilizados para o tratamento de compostos inorgânicos.

Materiais Reactivos	Contaminantes	Processo de Tratamento
Fe ⁰	CrO ₄ ²⁻ , UO ₂ ²⁺ , TcO ₄ ⁻	Redução, precipitação e co-precipitação
Zeolite modificada com surfactante	CrO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻	Adsorção, redução, precipitação superficial
Ditionito de Sódio	Cr ⁶⁺	Redução e precipitação
Fe ⁰ / Zeolitos modificadas com surfactantes	CrO ₄ ²⁻	Adsorção, redução
Fe ⁰ / Óxidos de ferro	As	Adsorção e co-precipitação
Hidroxiapatite	Pb ²⁺ , Zn ²⁺ , Cd ²⁺	Precipitação, adsorção, co-precipitação
Calcários	Pb, Cd, As, Zn, Cu	Precipitação
Calcários, cinzas	UO ₂ ²⁺	Co-precipitação
Fe ⁰ , Óxido de ferro amorfo (AFO), PO ₄ ³⁻	U	Adsorção e precipitação
Carbono orgânico	Ni, Fe, Sulfatos	Redução e precipitação
Celulosa	UO ₂ ²⁺	Redução e precipitação
Turfa, óxidos de Fe(III)	MoO ₄ ²⁻	Adsorção/co-precipitação
Zeolitos	⁹⁰ Sr ²⁺	Adsorção
Fe ⁰ , Fe ⁰ /serrim	NO ₃ ⁻ , UO ₂ ²⁺	Redução e precipitação
Serrim	NO ₃ ⁻	Redução
Fe ⁰ /lã de cobre/lã de aço	As, Mo, Se, U, V, Zn	Redução e precipitação
Óxidos de Fe/Ca	PO ₄ ³⁻	Adsorção/co-precipitação

Para que o sistema seja eficiente, a barreira deve ter uma permeabilidade que permita o direcionamento do fluxo para o seu interior, impedindo que a água procure outros percursos e rodeie a própria barreira, ou seja, a pluma acabe por ser desviada. Normalmente, o reagente é misturado com outros materiais, tais como areias, gravilhas, etc, de forma a ser possível a obtenção da permeabilidade desejada. O tratamento hidráulico e o dimensionamento da barreira dependem de medições de condutividade hidráulica no campo e de uma modelação do fluxo de água subterrânea e do transporte de contaminante através da BRP de forma a otimizar o sistema, permitindo um tempo de residência adequado do contaminante no interior da barreira, para que ocorra a reacção necessária para a remoção do contaminante (Carvalho, 2008).

O material reactivo para o enchimento da BRP é seleccionado de acordo com o contaminante ou contaminantes presentes. Os contaminantes podem sofrer diferentes reacções, dependendo do material existente na barreira (Carvalho, 2008):

- **Adsorção** – por exemplo: utilização de carvão activado para a remoção de compostos orgânicos hidrofóbicos, retidos na superfície do material adsorvente;
- **Precipitação** – por exemplo: tratamento de crómio hexavalente em barreira preenchida com uma mistura de calcário, favorecendo a sua precipitação;
- **Degradação** – por exemplo: o caso de barreira com adição de ferro metálico promovendo a decomposição de compostos organoclorados (métodos abióticos), ou adição de oxigénio e nutrientes que decompõe compostos orgânicos aromáticos, funcionando como uma biobarreira;
- **Reacções Redox e Transformações Bioquímicas** – por exemplo: tratamento com carbono orgânico que promove a redução e precipitação dos contaminantes.

Os meios reactivos utilizados em barreiras devem ser compatíveis com o ambiente subterrâneo encontrado, podendo ser variados e actuar no(s) contaminante(s) através de processos de adsorção ou por reacções redox (oxidação-redução), onde há um receptor e doador de electrões (Carvalho, 2008). São numerosos os compostos que actuam como receptores de electrões. Entre eles pode-se destacar o oxigénio, os óxidos de Ferro (III), e o sulfato (SO_4^{2-}), entre outros. Galvão, *et al.*, (2004) defende que as tecnologias de oxidação química recorrem a compostos químicos de forma a transformar os contaminantes *in-situ*, convertendo-os em estados menos tóxicos ou até não tóxicos dependendo dos casos. São exemplo de agentes oxidantes o “*permanganato de potássio*” (KMnO_4), o peróxido de hidrogénio (H_2O_2) e o azoto (N). Como agentes redutores podem-se incluir o ferro metálico (Fe), o zinco (Zn), os ácidos orgânicos e o sulfato de ferro (FeSO_4) (Galvão, *et al.*, 2004).

A Figura 8.15 assinala os diferentes agentes reactivos utilizados em BRP, baseando-se num estudo, com 57 casos de aplicação de barreiras, onde se verifica a predominância da utilização do ferro como meio/material reactivo (Galvão, *et al.*, 2004).

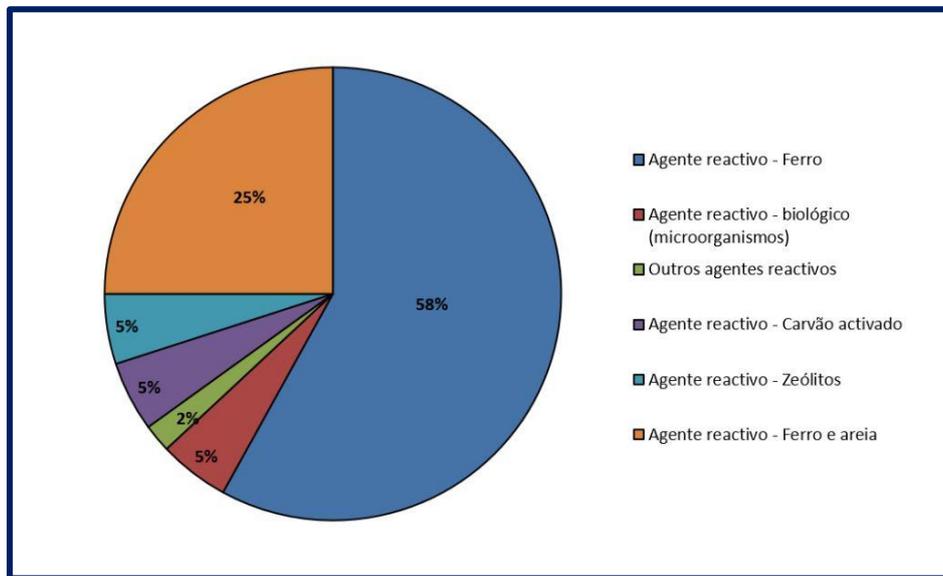


Figura 8.15: Agentes reactivos utilizados em barreiras reactivas permeáveis (BRP).

(Adaptado de Lourenço, 2006)

Assim, os principais aspetos a ter em conta aquando da identificação e escolha do agente reactivo mais adequado para aplicação em BRP são a sua reactividade, a sua actuação em meios hídricos, a sua estabilidade e compatibilidade ambiental e por último a sua disponibilidade e custo associado. Esta é uma técnica economicamente vantajosa uma vez que os custos de operação, manutenção e monitorização são reduzidos, ao contrário de outras tecnologias, como o *pump and treat*, onde estes custos são mais elevados. A utilização da configuração de barreiras reactivas permeáveis em *funnel and gate* tem a vantagem de diminuir a dimensão da barreira reactiva permeável necessária para a recuperação de uma área contaminada de grande dimensão, diminuindo os custos e mão-de-obra para a instalação. Não provoca uma grande perturbação na área, não expondo a condições oxidantes nem sendo necessário o manuseamento e transporte de materiais contaminantes. Os seus custos associam-se essencialmente com o tipo, actividade e distribuição dos contaminantes, as dimensões da barreira e o tipo de materiais de enchimento utilizados podendo variar, de acordo com a FRTR, 2017 (*Federal Remediation Technologies Roundtable*), entre 540 e 750 US\$/m².

- **Dimensionamento de Barreiras Reactivas Permeáveis (BRP)**

O dimensionamento e instalação de uma barreira permeável baseia-se principalmente numa boa caracterização geológica, geotécnica e hidrogeológica do local, em provas de avaliação da eficácia do material de enchimento e composição da barreira e modelação correta. Após uma avaliação preliminar de um local de instalação que se demostre apto, procede-se a uma avaliação dos dados de caracterização existentes, de forma a comprovar a possibilidade do projecto.

Esta avaliação baseia-se em dados de caracterização do aquífero a remediar e do(s) contaminante(s) a tratar, tendo em conta os seguintes parâmetros (Jennifer, *et al.*, 2004):

- Conhecimento da direcção de fluxo, para que a construção da barreira seja realizada de forma a interceptar a pluma de contaminação;
- Quantificação, através de análises geoquímicas, dos teores e tipos de contaminantes presentes na água subterrânea a tratar;
- Conhecimento das características do sistema aquífero presente, nomeadamente o tipo e forma de recarga e descarga e a distância da pluma de contaminação relativamente a esses pontos e as características hidrogeológicas (porosidade e permeabilidade);
- A geometria e tipologia do aquífero presente (confinado, semi-confinado, livre, etc), o tipo de rocha reservatório e selante do sistema e respectivas espessuras e a sua constituição mineralógica.

- **Factores Limitantes à Construção de BRP**

Associado ao dimensionamento e implementação de barreiras, existem factores que limitam e influenciam a escolha do tipo de barreira a implementar, sendo eles a profundidade do local, a permeabilidade e porosidade requerida ao material reactivo de enchimento, a topografia da zona, o acesso ao local e o espaço disponível para o desenvolvimento do trabalho, as características do solo e facilidade ou não de execução, as imposições de cariz geotécnico e os custos associados (Carvalho, G., 2008).

- **Estimativa da Longevidade**

A actuação e reactividade de uma barreira é afetada com o passar do tempo, uma vez que a reactividade dos materiais de enchimento se vai atenuando. Daí, ser importante o conhecimento e identificação dos processos responsáveis pelo decréscimo da qualidade de actuação desses materiais. São conhecidos alguns métodos, utilizados previamente em laboratório, que permitem a determinação da evolução de actuação de uma barreira, assim como a estimativa de deterioração associada, nomeadamente (1) métodos de comparação de medidas tomadas em séries de tempo diferentes e de parâmetros hidrológicos distintos e (2) análises periódicas de amostras recolhidas no núcleo das células reactivas (interior da barreira) (Carvalho, G., 2008).

Prevê-se que o pico de efectividade/reactividade do material de enchimento da barreira se dê quando as partículas metálicas reactivas são relativamente novas e só algumas espécies minerais precipitadas se tenham depositado nos poros intersticiais. Uma vez que o meio reactivo oxida, e os poros vão-se preenchendo pelos precipitados dos minerais, a actuação do material reactivo tende a diminuir com o tempo (Carvalho, G., 2008). Assim, devem ser controlados periodicamente alguns parâmetros importantes das águas subterrâneas após a instalação de uma barreira reactiva, tais como: os teores em sódio e cloro, o oxigénio dissolvido, o pH e alcalinidade, o teor em nitratos, amónia e sulfatos, os teores totais de carbono orgânico e inorgânico, metano e fósforo dissolvido, o potencial de oxidação-redução e o teor em metais (Jennifer, *et al.*, 2004). Estas análises têm como objectivo primordial a identificação de alterações na qualidade e características da água subterrânea, tais como variações na velocidade de fluxo subterrâneo, possíveis efeitos causados pela corrosão dos materiais reactivos e possíveis alterações químicas nas zonas de monitorização (Jennifer, *et al.*, 2004). Estes estudos podem ser realizados através de ensaios em coluna, que permitem ter uma visualização mais próxima do que ocorrerá na realidade (Carvalho, G., 2008).

- **Limitações das BRP para Tratamento de Metais**

Uma das mais relevantes limitações é a falta de informação sobre a efectividade deste tipo de processo de remediação a longo prazo, devendo-se ter em consideração que mediante fluxos de água subterrânea lentos, o tratamento de uma pluma de contaminação pode demorar entre 100 a 200 anos para atravessar uma barreira. Embora existam já alguns estudos de longevidade favoráveis, devem ser prudentes as extrapolações dos dados laboratoriais limitados no tempo para situações reais. Os resultados esperados à escala real podem não ser concordantes com os esperados uma vez que ocorrem interferências ao longo do tempo de actuação da barreira tais como o envelhecimento do material reactivo ou a diminuição da condutividade hidráulica devido

à formação de precipitados (Johnson, *et al.*, 2008), o crescimento microbiológico, ou a acumulação de gás, que não podem ser estimados em experiências de laboratório de curto prazo.

Para além das limitações impostas pela geologia, geoquímica e geotecnia do local e dos problemas construtivos associados à implementação de BRP, existem ainda sem resposta questões relacionadas com os processos de eliminação dos contaminantes imobilizados ou mineralizados na barreira, precipitados, resíduos resultantes dos processos de redução, etc (Geiger, *et al.*, 2002).

8.2. Estratégia de Remediação Sugerida para a Área em Estudo

Os teores elevados em metais pesados identificados na área em estudo aliados às diferentes formas químicas em que se apresentam influenciam directamente a escolha da técnica de remediação a aplicar, tornando-a mais complexa. São diversas as técnicas aplicadas e em desenvolvimento para a remediação de aluviões/sedimentos contaminados, baseando-se no melhor compromisso entre materiais geológicos contaminados e qualidade ecológica (Reis *et al.*, 2007). Contudo, primeiramente em qualquer processo de remediação ambiental dever-se-á assegurar a prevenção de contaminações futuras e o controlo das fontes actuais de poluição. Assim, e anteriormente a qualquer medida de remediação é necessária a minimização das emissões de efluentes líquidos e resíduos sólidos na área em estudo, e simultaneamente diminuir ou cessar contaminações de carácter secundário (U.S.EPA, 1997; OSPAR Commission, 2009).

Na área em estudo, e tendo em conta a caracterização geoquímica da contaminação existente descrita no Capítulo 5, verifica-se que a remediação da zona aluvionar e, conseqüentemente, do córrego Consciência (que a atravessa) não se poderá realizar sem que para isso sejam objecto de intervenção todas as componentes que directa ou indirectamente, contribuem para a degradação das características ambientais da área em estudo.

Assim, a proposta de remediação a apresentar terá de preconizar intervenções quer no material sólido (aluviões), quer nas águas interticiais e subterrâneas que percolam na zona. Da caracterização e análise realizada anteriormente foi possível a identificação das seguintes fontes de contaminação da área em estudo e do córrego Consciência (Figura 8.16):

- 1) Contaminação directa pelas águas de escoamento superficial que mobilizam as fracções solúveis nas áreas que constituíam depósitos de contaminantes (áreas A3 e de forma geral todo o sector sul, onde está situada a unidade industrial), especialmente durante a época das chuvas, tendo em conta as características climáticas da área (Figura 8.16 a).

- 2) Contaminação directa por aluvião contaminado, erodido da restante área subjacente por acção das águas pluviais e escoamento superficial (Figura 8.16 b).
- 3) Contaminação indirecta por descarga das águas subterrâneas nas formações aluvionares (Figura 8.16 c) contaminadas pelo escoamento superficial proveniente da área situada a sul ou por águas subterrâneas provenientes dos metassiltitos e saprólitos subjacentes a essa área;
- 4) Contaminação indirecta por desadsorção dos contaminantes retidos na matriz rochosa das aluviões e metassiltitos e que por efeito da infiltração das águas pluviais e da circulação das águas subterrâneas, vão ser mobilizados e descarregados para o córrego.

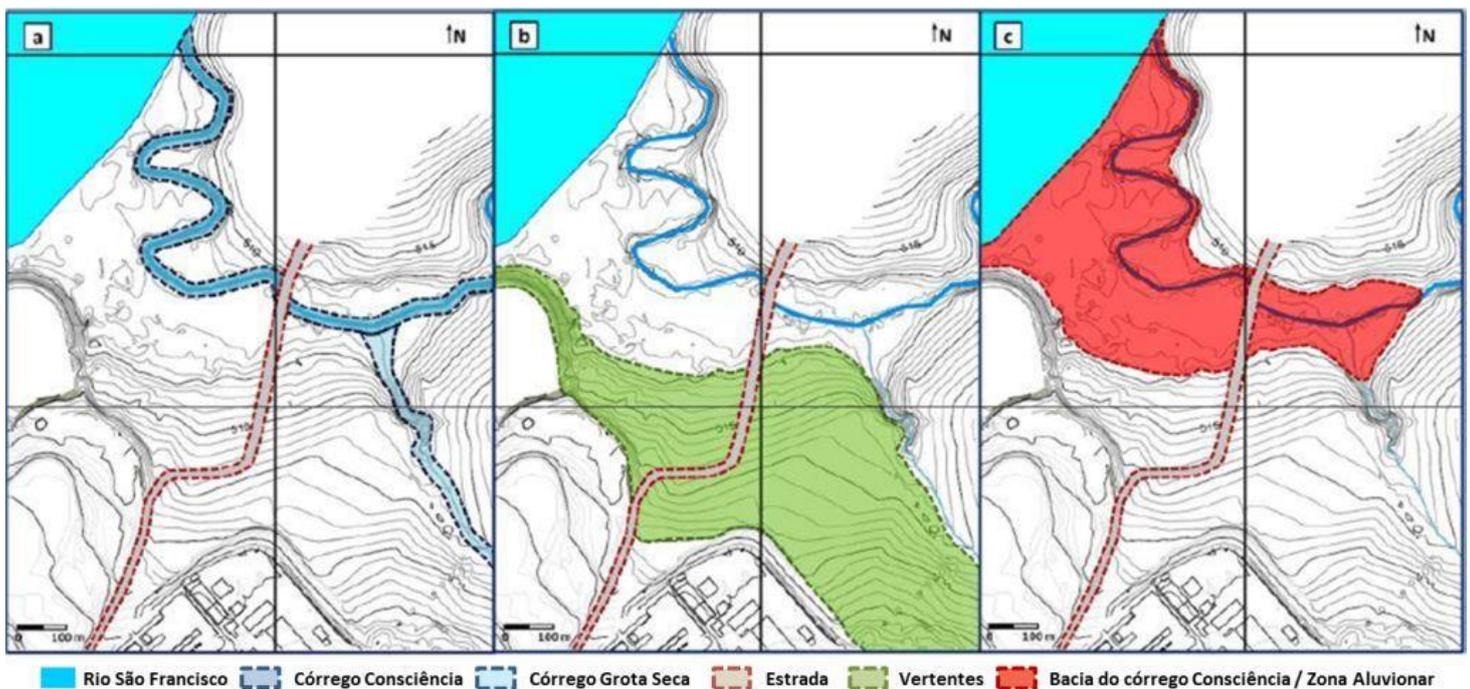


Figura 8.16: Fontes de contaminação e zonas contaminadas na área em estudo.

8.2.1. Áreas Envolventes da Unidade Industrial

Anteriormente a qualquer tipo de acção na zona aluvionar do córrego Consciência é necessária a inclusão do projecto de remediação com as áreas adjacentes, de forma a não ser comprometida a viabilidade e sucesso da remediação. Uma das acções prioritárias passa pela implementação de um sistema de drenagem na área envolvente à unidade industrial, minimizando os efeitos de enxurradas, muito comuns na época das chuvas, que promovem um elevado acarreo de lixiviados para a zona aluvionar.

Assim, e tendo em conta estudos anteriores realizados pela *Golder Associates* (2007) verifica-se a necessidade de:

- 1) Redimensionar o sistema de drenagem proposto (Figura 8.17).
- 2) Implementar uma barreira vegetal na área em redor da unidade fabril, de forma a prevenir o lançamento de poeiras e contaminações eólicas (Figura 8.18);
- 3) Implementar tecnologias de remediação e estabilização da área da Barragem Velha e das áreas degradadas identificadas na área A3 (compreendida na zona/planície aluvionar), de forma a minimizar contaminações de origem secundária na zona aluvionar do córrego Consciência (Figura 8.19).

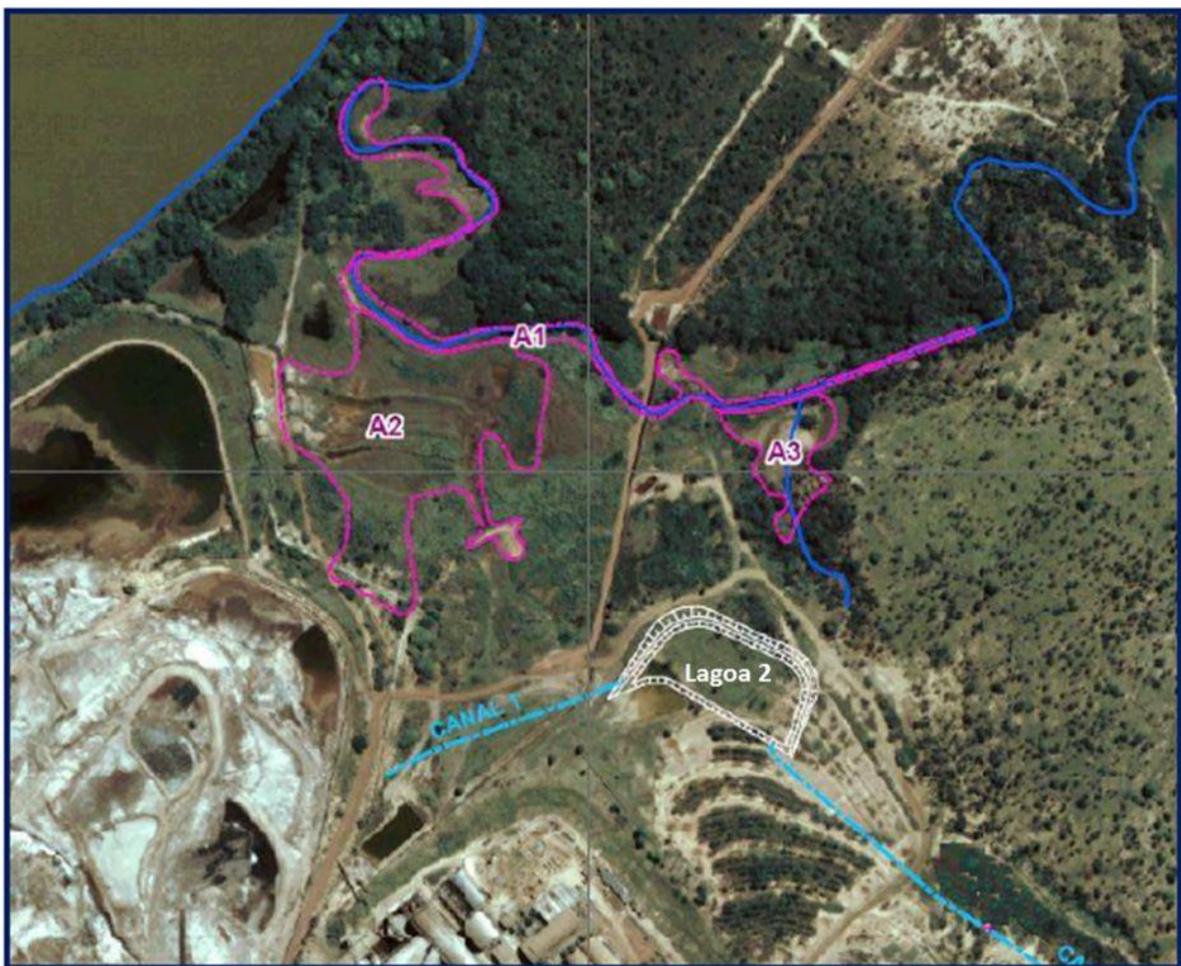


Figura 8.17: Excerto da proposta para a correcção da drenagem na área em estudo proposta pela *Golder Associates* (Adaptado de: *Golder Associates*, 2007).

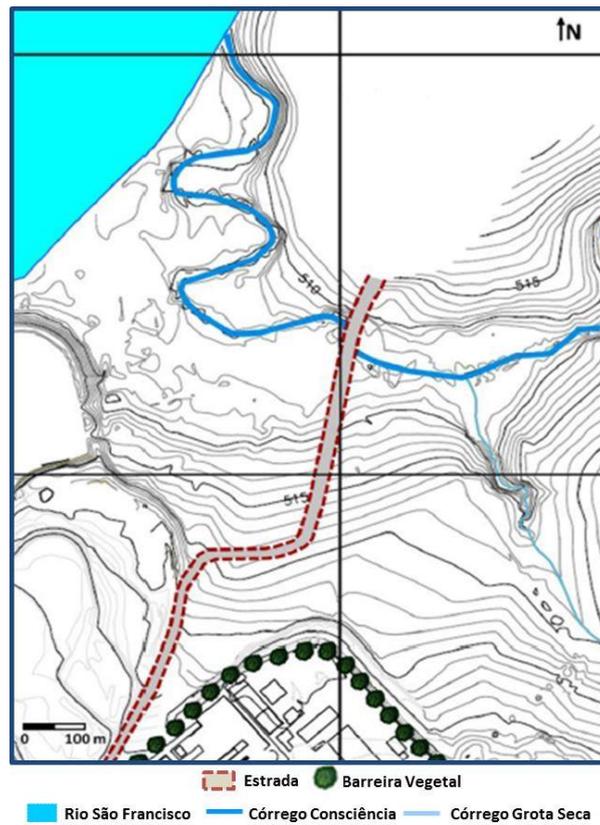


Figura 8.18: Proposta para a implementação de barreiras vegetais na área em estudo, como metodologia complementar à(s) técnica(s) de remediação.

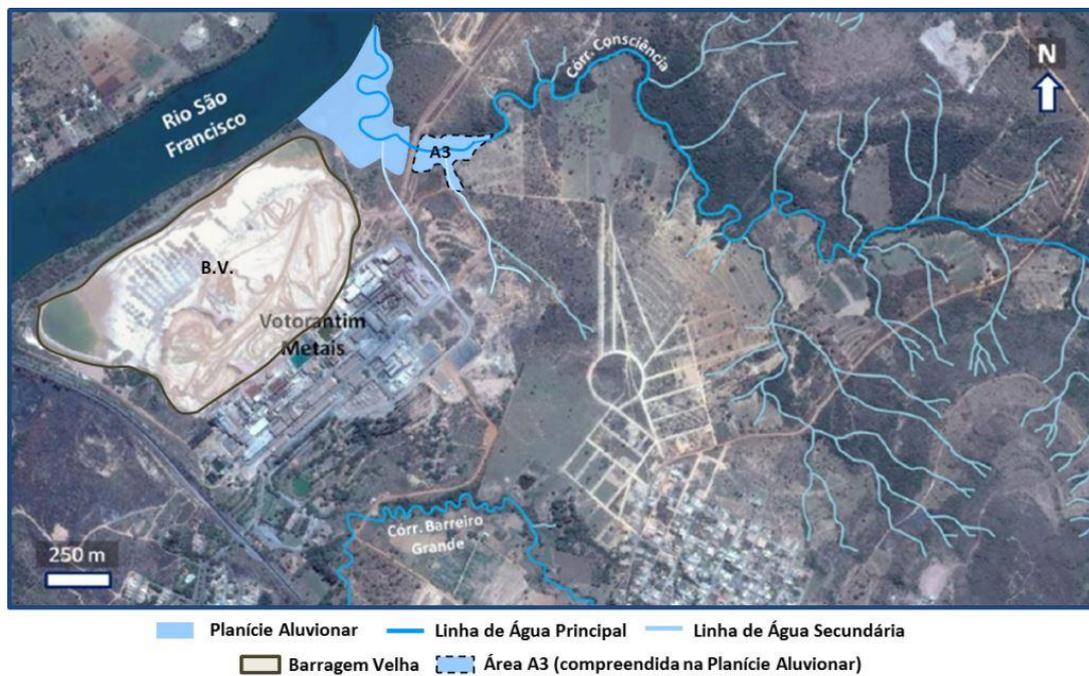


Figura 8.19: Identificação dos locais onde é necessária a realização da remediação previamente à remediação da zona aluvionar do córrego Consciência, na Barragem Velha e na Área A3.

8.2.2. Planície Aluvionar

De acordo com a caracterização geoquímica realizada e tendo em conta a granulometria e ocorrência dos principais metais contaminantes em fase solúvel e ligadas às fracções mais finas, o mais sensato será descartar a hipótese de dragagem como método de remediação/recuperação da zona aluvionar e da bacia de drenagem do córrego Consciência nela incluída. Este método de remediação poderá ser desfavorável para este cenário de contaminação uma vez que poderão ocorrer elevadas ressuspensões criadas durante a sua realização levando ao aumento da mobilidade dos elementos contaminantes. No entanto, continua a existir a necessidade de remover uma camada superficial de material contaminado, na zona aluvionar. Deste modo, poder-se-á optar por uma variante da dragagem, a escavação ou decapagem em época seca, evitando desta forma o transporte de material contaminado para a coluna de água.

Na zona aluvionar, sugere-se após decapagem, instalação de uma camada permeável, cobertura com solo vegetal (*capping*) e revegetação intensiva, a utilização de *flushing* do solo com água durante a época seca de forma a solubilizar a fracção solúvel e canalização para a barreira reactiva permeável, para tratamento *in situ*. Durante a época das chuvas, não é necessário recorrer ao *flushing* caso ocorra precipitação. Neste caso, a infiltração de água realiza-se naturalmente, não havendo necessidade de irrigação.

Assim, e tendo em conta as características da zona em estudo verificou-se a viabilidade da aplicação das seguintes técnicas:

1) *Capping*

Uma vez que se propõe a remoção de uma fina camada superficial na zona aluvionar, torna-se necessária a aplicação de *capping* da área, de forma a (1) dificultar a infiltração no aquífero de contaminantes que possam ainda existir nas águas superficiais, (2) impedir o contacto de águas superficiais não contaminadas com material contaminado em profundidade (Figura 8.20), e (3) permitir a colocação de uma camada de solo vegetal para a revegetação de uma área contaminada.

O *capping*, como já descrito no ponto 8.1 deste capítulo, consiste numa técnica de isolamento. Esta técnica apresenta como principais vantagens (1) a redução da exposição de contaminantes ao ambiente aquático num curto intervalo de tempo (< 1 ano), (2) a necessidade de poucas infraestruturas, (3) a contenção a longo prazo dos contaminantes e (4) a reduzida dispersão e volatilização dos contaminantes. Como todas as técnicas apresenta também desvantagens que passam pela não remoção total dos contaminantes da área, com a necessidade de monitorização intensiva (durante e após construção e a longo prazo), a possível mobilização

dos materiais da cobertura por erosão hídrica ou eólica e a possibilidade de utilização apenas em pequena escala.

Os custos associados a este método relacionam-se com a complexidade do *design* do *capping* e materiais utilizados, da acessibilidade ao local contaminado, da profundidade da coluna de água, dos equipamentos de construção e mão-de-obra. Segundo a *Federal Remediation Technologies Roundtable* (FRTR), os seus custos podem variar entre 43 e 55 US\$/m².

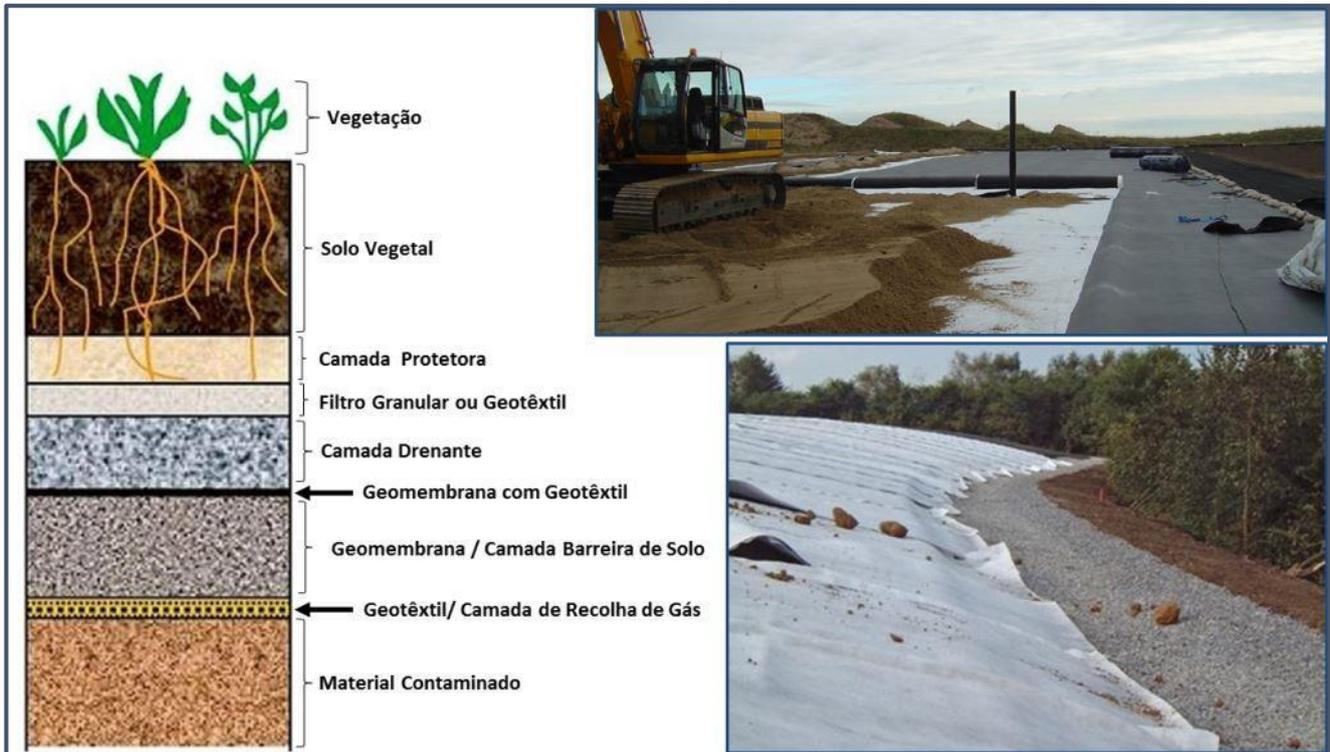


Figura 8.20: Exemplo esquemático de aplicação de capping e fotografias ilustrativas do seu processo de implementação. (Adaptado de IAEA-2006b; abg - *creative geosynthetic engineering*; TYPAR)

Assim para a remediação da planície aluvionar do córrego Consciência, propõe-se a decapagem e remoção do solo superficial contaminado (0,5 a 1 m de profundidade) e colocação de uma camada drenante (podendo ser constituída por areia ou cascalho) e solo vegetal, de forma a permitir a revegetação intensiva desta área (Figura 8.21). Este processo possibilitará a maximização da infiltração de água para a desadsorção de elementos contaminantes em profundidade (funcionando como complemento e contributo às alternativas de recuperação das águas subterrâneas) e diminuição das velocidades de escorrência superficial e de material carreado.

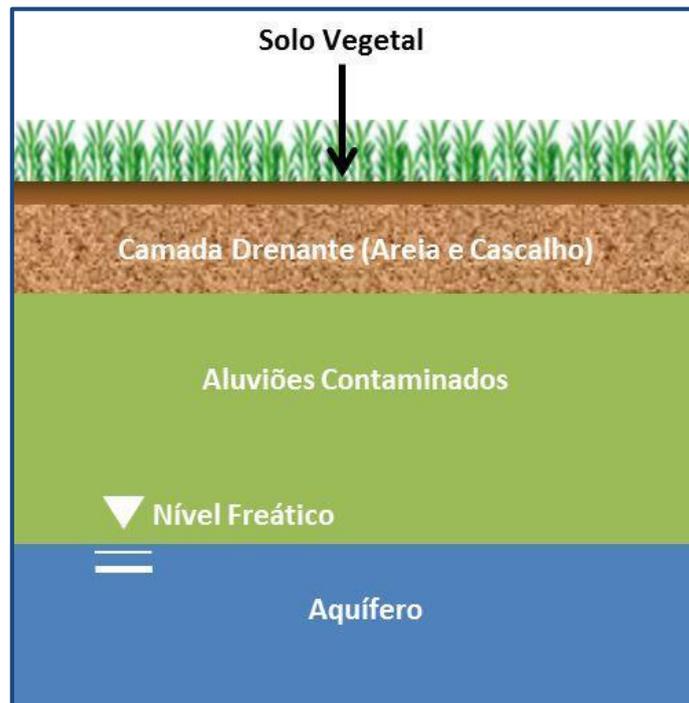


Figura 8.21: Esquema representativo da hipótese proposta de remoção da camada superficial do solo superficial contaminado, colocação de camada drenante e solo vegetal.

2) *Flushing* do Solo

Para a área em estudo propõe-se o *flushing* do solo (Figura 8.22) como uma das tecnologias para a sua remediação. O *flushing* do solo, como já descrito no ponto 8.1 deste capítulo, consiste na injeção ou infiltração de água ou soluções extractantes no material contaminado por inundação, rega, colocação de drenos ou abertura de trincheiras. Esta técnica aplica-se à área, pois por ser uma técnica *in situ* não desencadeia os problemas ambientais associados à remoção do material, podendo ser utilizada tendo em conta as condições da área em estudo (nomeadamente a textura, a permeabilidade e o tipo de contaminação).

Os custos associados a esta técnica variam de acordo com as condições específicas da zona contaminada, mais especificamente das suas propriedades físicas, tais como a sua dimensão e o seu grau de contaminação, que influênciam directamente no número de ciclos de *flushing* a aplicar assim como o tipo e concentração das soluções extractantes a utilizar. Por exemplo, para permeabilidades reduzidas (0,001 cm/s) os custos estimados pela FRTR, 2017 (*Federal Remediation Technologies Roundtable*) rondam os 35-64 US\$/m³ de solo contaminado.

Torna-se assim necessário um conhecimento muito extensivo do regime hidrogeológico de forma a: (1) determinar se esta técnica é aplicável, a sua probabilidade de sucesso e potencial duração do processo; (2) o *design* do projecto, o que inclui a determinação do extractante a

utilizar, o tipo de injeção e extração e a necessidade de contenções físicas ou hidráulicas (Roote, 1997).

Ocorrendo, na área em estudo, a fracção solúvel como uma das mais importantes, devido à sua elevada concentração em elementos contaminantes na zona aluvionar, e tendo em conta que será esta fracção que leva à contaminação da água subterrânea, o *flushing* pode ser realizado apenas com água, o que permite a diminuição dos custos e da perigosidade da introdução de soluções extractantes nestes materiais e, conseqüentemente, nos aquíferos da área. Propõe-se assim, que a aplicação do *flushing* seja realizada por irrigação à superfície auxiliando a dispersão no interior da zona vadosa e saturada sendo ainda economicamente mais vantajosa. Uma vez que a aplicação convencional do *flushing* é realizada por extração e tratamento *ex situ*, esta poderá ser adaptada (conjuntamente com outras técnicas) para a área em estudo, diminuindo assim os custos e mão-de-obra.



Figura 8.22: Exemplos do processo de implementação de flushing em sedimentos contaminados. (Adaptado de: *The BioSolve Company*; McGinley S., 2003)

3) Bombagem e Tratamento (“*Pump-and-Treat*”)

Para a área em estudo propõe-se, como uma das possíveis hipóteses, o “*pump-and-treat*” (Figura 8.23) como técnica mais adequada para o tratamento das águas subterrâneas da zona aluvionar. Esta técnica é proposta como uma de duas alternativas, por ser uma tecnologia que já se encontra em funcionamento na área (de acordo com estudos anteriores realizados pela *Golder Associates*, 2007) e permitir o tratamento dos contaminantes na fase solúvel (principal fase contaminante onde foram identificados os metais com elevada perigosidade ambiental) sem provocar perturbações extensivas na área.

Os custos associados à implementação de “*pump-and-treat*” variam de acordo com a área a remediar. Khan *et al.*, (2004) estima custos de cerca de 200.000 US\$ para *design* e instalação de três poços de extracção com cerca de 60 m de profundidade e as infraestruturas necessárias à sua operação. No entanto, a grande percentagem dos custos associa-se maioritariamente à energia despendida durante a operação e manutenção das unidades de tratamento que, segundo o mesmo autor, pode variar entre 0,26 e 26 US\$/m³ de água tratada.



Figura 8.23: Exemplos do processo de implementação e infraestruturas necessárias de pump-and-treat em áreas contaminadas. (Adaptado de Skanska, 2017; OI2M associates, LLC, 2017; Vertase FLI, 2017).

A proposta consiste assim, no prolongamento da barreira hidráulica existente na Barragem Velha, sendo necessária a construção de um conjunto de poços de injeção e extracção paralelos à frente aluvionar (Figura 8.24). Este conjunto de poços de extracção irá proporcionar quer o tratamento à superfície da água subterrânea, quer a remoção dos contaminantes solubilizados pelo processo de *flushing* (também proposto). Após tratamento, a água pode ser reutilizada nos poços de injeção de forma a rentabilizar o seu uso e a minimizar custos.

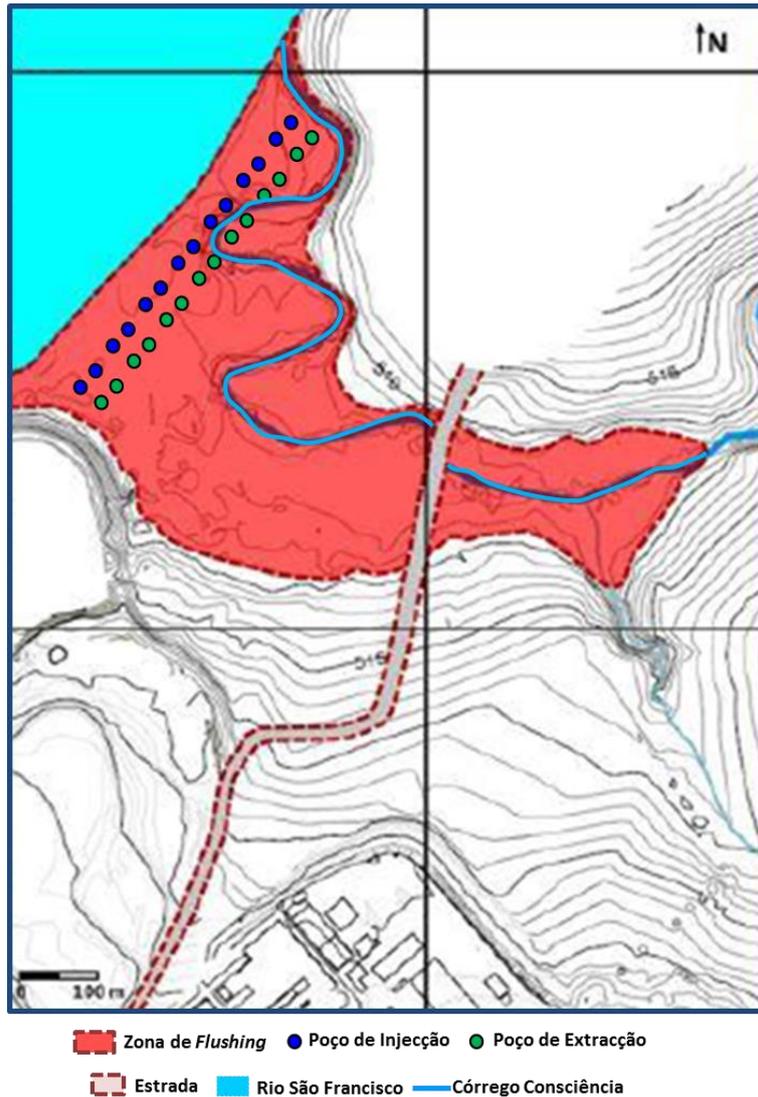


Figura 8.24: Representação esquemática da implementação do *flushing* do solo e *pump-and-treat* para a remediação da zona aluvionar para o tratamento das águas subterrâneas.

4) Barreira Reactiva Permeável

Como segunda hipótese sugere-se a instalação de uma barreira reactiva permeável próxima à zona de descarga para o rio São Francisco. Esta barreira reactiva permitirá a remoção dos elementos contaminantes da água à medida que esta a atravessa, impedindo que cheguem ao rio São Francisco. A instalação de uma barreira reactiva permeável é tanto mais dispendiosa quanto maior for a sua área, assim e de forma a direccionar o fluxo de água subterrânea para a zona de tratamento, diminuindo assim custos relacionados com a extensão da barreira, sugere-se a implementação de uma configuração em *funnel and gate*, sendo para tal necessária a construção de barreiras impermeáveis a montante para se garantir este efeito.

Para a aplicação de qualquer tipo de técnica de remediação é necessária primeiramente, a definição de uma zona piloto e sua utilização como teste. Assim para o caso da aplicação de uma barreira reactiva permeável é necessário ter em conta o tipo de enchimento mais apropriado para o tratamento dos contaminantes presentes na área e o seu dimensionamento que depende das condições e reacções químicas que ocorrem no interior da barreira e da velocidade de escoamento da água subterrânea.

Assim, sugere-se a delimitação de uma zona piloto de teste para a aplicação de ambas as técnicas no campo, de forma a compreender a sua aplicabilidade na área. O teste piloto poderá ser realizado numa pequena secção na área A2, conforme ilustra a figura 8.25, devendo ser realizado com uma barreira com diferentes enchimentos, devidamente monitorizada, de forma a determinar o enchimento mais adequado para a remediação da área em estudo. Para os diferentes enchimentos sugere-se a utilização de ferro zero valente, apatite e zeólitos uma vez que as *biowalls* são constituídas por materiais orgânicos diversificados e seriam necessários estudos complementares para a escolha do material/materiais mais indicados.

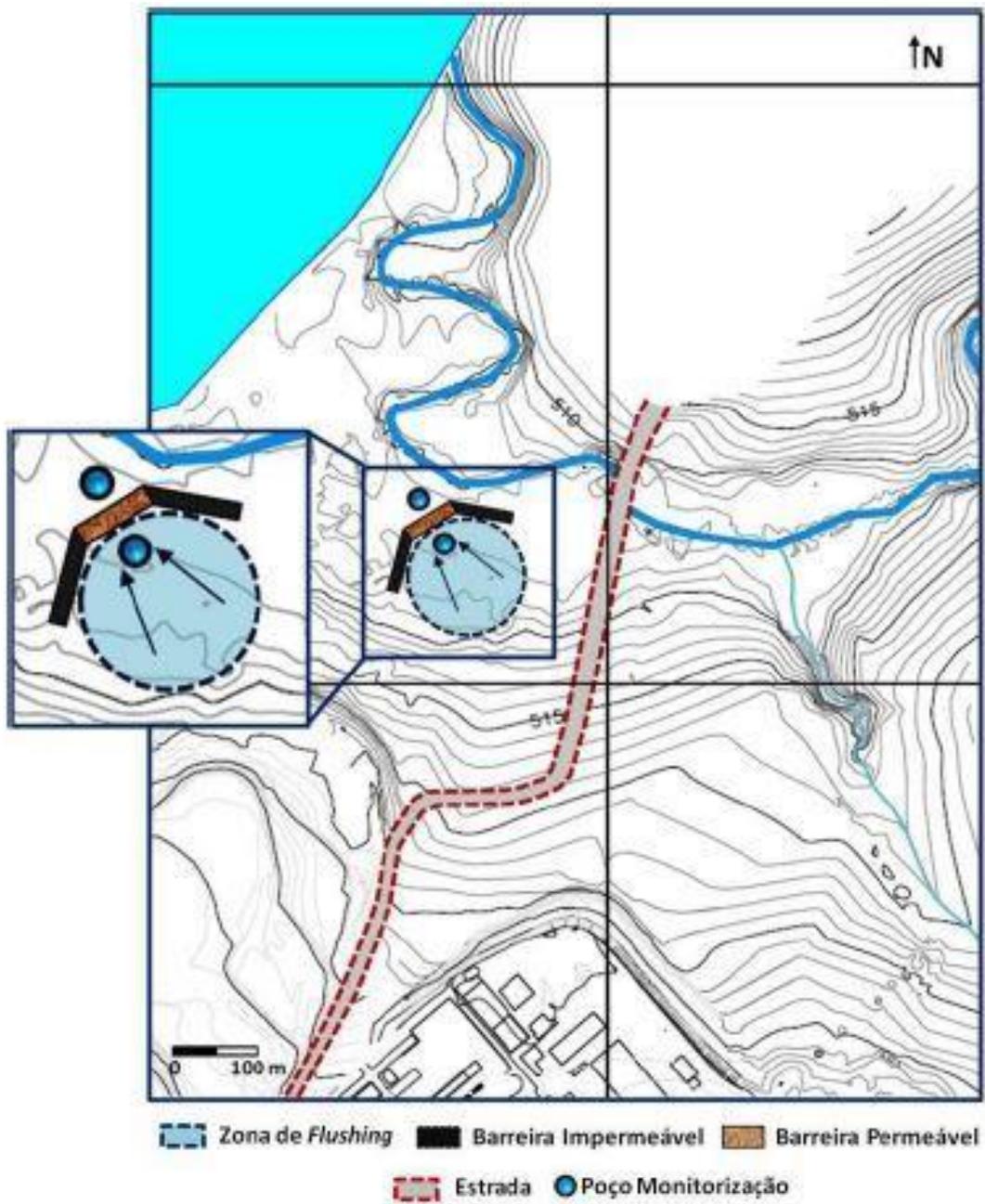


Figura 8.25: Representação esquemática da zona piloto para a implementação do *flushing* do solo e da barreira reactiva permeável (ensaio piloto).

A aplicação de qualquer uma destas hipóteses sugeridas deverá ter em conta dois aspectos principais:

- 1) Devido aos baixos valores de permeabilidade das amostras, qualquer das propostas de remediação apresentadas implica dezenas de anos de manutenção e monitorização;
- 2) O correcto dimensionamento das obras propostas neste capítulo implica numa próxima etapa, o envolvimento de especialistas em arquitectura, engenharia civil e engenharia hidráulica.

8.2.3. Estabilização das Vertentes na Bacia do córrego Consciência

A remediação de áreas contaminadas passa primeiramente por uma abordagem preventiva anteriormente à implementação de qualquer técnica de remediação específica. Assim, para a área em estudo sugere-se primeiramente a retenção do material sedimentar, transportado pelo córrego Grota Seca (afluente do córrego Consciência que atravessa a zona aluvionar) (Figura 8.16 a), e a regularização das vertentes na área, de modo que, na época das chuvas sejam evitados episódios de enxurrada e acarreo de elevados volumes de materiais sedimentares, contaminados ou não, para o córrego Consciência (evitando também assim o assoreamento do mesmo).

Esta retenção de sedimentos transportados pelo córrego Grota Seca poderá ser conseguida através da construção de degraus no interior do canal, diminuindo assim a velocidade do fluxo de água e promovendo a sedimentação (Figura 8.26 e 8.27). As hipóteses sugeridas na figura 8.27 correspondem a soluções de Engenharia Natural estando representada nas figuras 8.27 a, 8.27 b e 8.27 c as seguintes estruturas:

❖ Barragem de Correção Torrencial

Consiste numa estrutura construída segundo a tipologia clássica das barragens, apesar de ser constituída por madeira e pedra como materiais alternativos ao usual betão. É construída transversalmente em relação ao sentido do escoamento da água, contribuindo imediatamente para a diminuição da inclinação do fundo do leito do rio, o que favorece a diminuição dos efeitos erosivos e a deposição sedimentar (Figura 8.27 a).

O seu campo de aplicação engloba linhas de água onde ocorra erosão lateral de fundo do leito com transporte sólido não excessivo. Em termos de aspectos construtivos recorre a troncos de madeira, varões de ferro roscado, estacas e fascinas vivas e pedras. Como vantagens apresenta uma elevada durabilidade temporal e elevada capacidade drenante podendo substituir construções rígidas de engenharia Convencional e recorre à utilização de material natural local. A sua manutenção é também reduzida, sendo necessária apenas em caso de surgirem danos na estrutura.

Poderá no entanto como desvantagem constituir num obstáculo para a fauna piscícola e o seu período de implantação por vezes moroso (Fernandes, *et al.*, 2011). Contudo, a primeira desvantagem não se coloca neste estudo de caso dada a elevada concentração de metais potencialmente tóxicos e de arsénio e o regime intermitente deste curso de água, dois aspetos que inviabilizam a existência de qualquer tipo de fauna.

❖ **Soleiras**

São estruturas construídas por pedras, que servem para superar os desníveis do leito, evitando a criação de ressaltos, permitindo o movimento dos peixes, sendo que antes da sua realização, é necessário alargar o leito. A estrutura é eventualmente fixada a montante e a jusante com troncos inseridos em profundidade. Como campo de aplicação destina-se a linhas de água com inclinação média-baixa, e com fundo pedregoso e arenoso, funcionando como dissipadores de energia (Figura 8.27 b). São utilizados como materiais construtivos blocos de pedra e troncos de madeira.

As principais vantagens passam pela consolidação imediata do leito da linha de água onde são aplicadas funcionando também como estrutura de apoio à subida da fauna piscícola. Não necessitam de manutenção específica podendo ser implementadas em qualquer período do ano à excepção do período de reprodução piscícola de forma a não influenciar negativamente a fauna local (Fernandes, *et al.*, 2011).

❖ **Deflectores ou Esporões Vivos**

Consistem em estruturas de construção em madeira, pedra e material vegetal vivo, colocadas transversalmente ou longitudinalmente em relação ao escoamento das águas. Desenvolvem eficazmente funções anti-erosivas, reduzindo a velocidade da água, e consentindo a deposição de material sólido (Figura 8.27 c). A sua construção tem como base troncos de madeira, ramagem morta e viva, estacas vegetais, material de enchimento (pedras, seixos) e varões de ferro roscado.

Esta técnica oferece como vantagem uma incorporação visual natural, a presença da ramagem reduz a velocidade da água, criando zonas de águas baixas tranquilas, indicadas para a reprodução de diversas espécies piscícolas. Como desvantagens pode causar erosão mais expressiva na margem oposta, caso não seja bem dimensionada, recorre à utilização de grandes quantidades de material vivo, necessitando de um longo período de execução. Quanto à sua manutenção passa pelo acompanhamento mais expressivo nos dois primeiros anos (atenção ao desenvolvimento das estacas vivas) uma vez que terão de ser substituídas as que não se instalarem de forma eficaz (Fernandes, *et al.*, 2011).

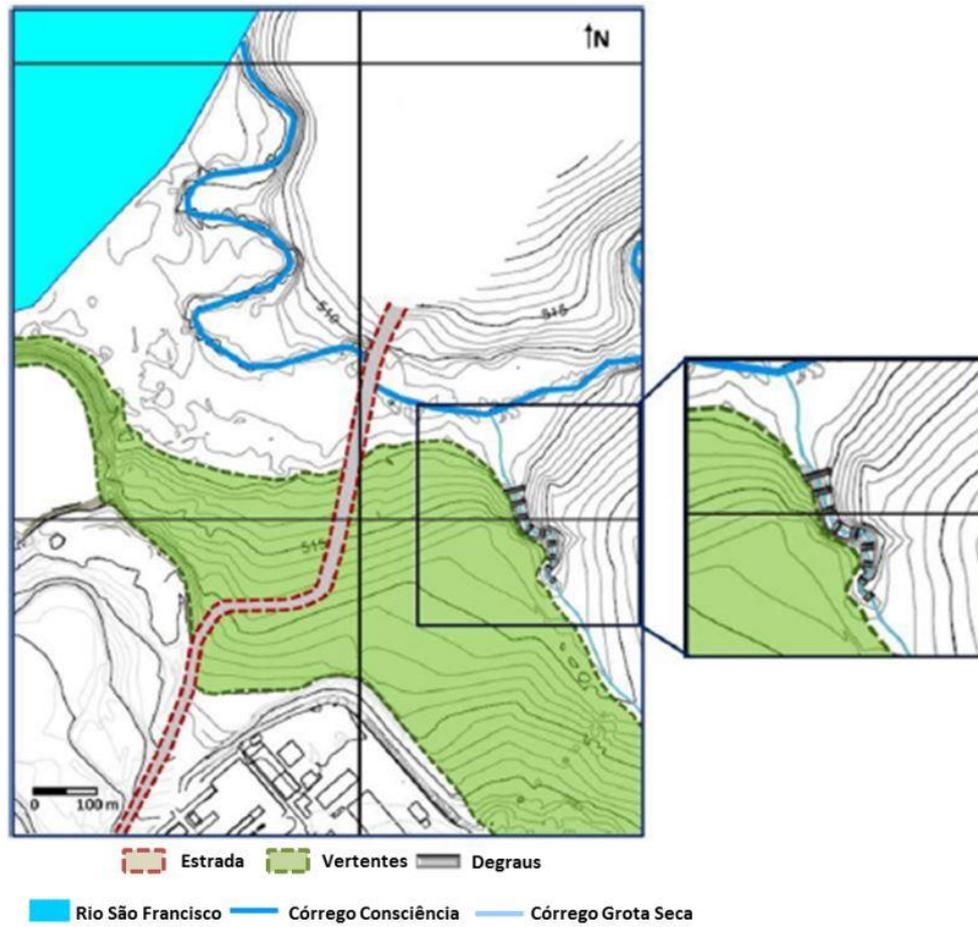


Figura 8.26: Representação esquemática da implementação de degraus no canal do córrego Grotto Seca.

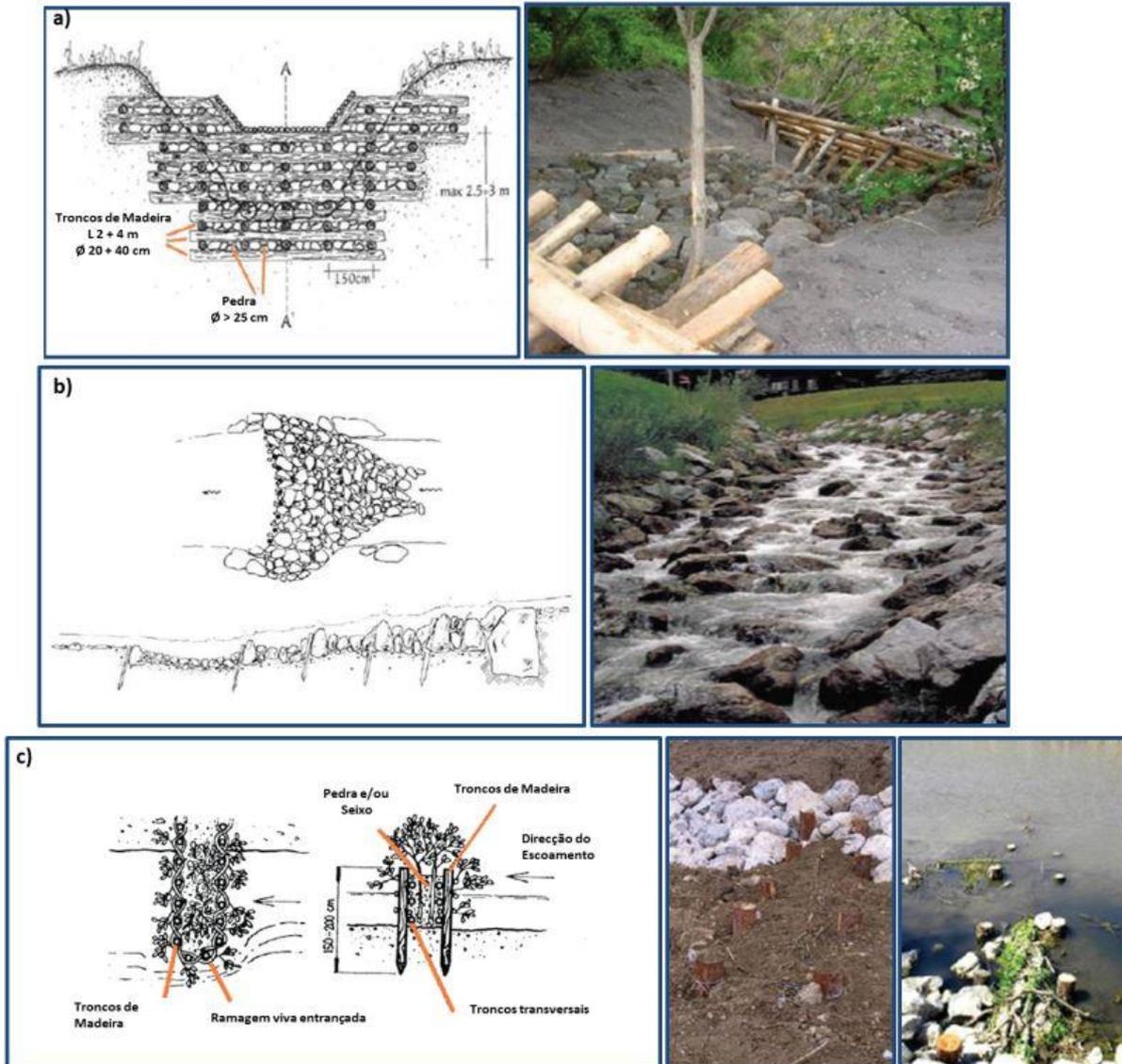


Figura 8.27: Hipóteses e exemplos de aplicação de estruturas em forma ou equivalentes a degraus para redução do fluxo no córrego Grotta Seca. (Adaptado de Fernandes, *et al.*, 2011)

Já a estabilização das vertentes adjacentes à zona aluvionar poderá ser realizada pela aplicação de medidas de engenharia Convencional ou recorrendo a métodos ambientalmente mais sustentáveis de Engenharia Natural (Figura 8.28). As hipóteses sugeridas na figura 8.28 correspondem a soluções de Engenharia Natural estando representada nas figuras 8.28 a, 8.28 b, 8.28 c, e 8.28 d as seguintes estruturas:

❖ Grade Viva

Consiste numa estrutura em madeira obtida através da colocação de troncos (com diâmetros compreendidos entre 10 a 30 cm) horizontais e verticais dispostos perpendicularmente entre si, suportada por troncos de madeira cravados no solo (Figura 8.28 a). Após a implementação da

estrutura, procede-se à plantação de estacas vivas (plantas) e posterior enchimento da estrutura com terreno local. As grades vivas são utilizadas para a consolidação superficial de taludes com uma altura até 20 m com declives até 55% e, eventualmente, em margens fluviais. O seu objectivo é a consolidação das camadas superficiais de solo da encosta/talude até uma profundidade que varia entre os 30 e 40 cm (em função do tipo de grade (simples ou duplo)). A distância vertical entre os diferentes níveis transversais é função do ângulo de estabilidade do solo de modo a garantir que não ocorram deslizamentos ou erosão do solo de enchimento.

Em termos construtivos são utilizados troncos de madeira, pregos ou varão de ferro roscado, terreno/solo local, arame, estacas vivas (plantas) de espécies arbustivas autóctones e plantas em torrão ou raiz nua. Como vantagens apresenta uma estabilização imediata, uma acção drenante extra devido à absorção de água por parte das plantas, requer poucos trabalhos de escavação, permite o desenvolvimento de vegetação em taludes com declives muito acentuados sem a necessidade de nivelamento dos mesmos e assegura um efeito estabilizante contínuo (inicialmente assegurado pela estrutura em madeira, e posteriormente assegurado pelo desenvolvimento radicular da vegetação). Como principal desvantagem apresenta um método construtivo por vezes difícil quando aplicada em substratos rochosos. Em termos de manutenção passará apenas pela substituição de algumas plantas caso estas não se desenvolvam favoravelmente (Fernandes, *et al.*, 2011).

❖ **Gabiões Vivos**

São estruturas em forma de caixa rectangular, feita com rede de malha hexagonal em arame galvanizado reforçado com o seu interior preenchido com pedra não friável e camadas de terra vegetal onde se dispõem ramos com capacidade vegetativa. O desenvolvimento destes ramos tem como objectivo a fixação da estrutura ao talude e o melhoramento da sua integração paisagística (Figura 8.28 b). Estas estruturas desempenham funções de protecção contra a erosão fluvial servindo simultaneamente como suporte às margens em caso de instabilidade gravítica, apresentando elevada flexibilidade e permeabilidade. Os gabiões vivos são utilizados principalmente em casos de defesa longitudinal e/ou transversal de linhas de água e em taludes com riscos de erosão elevados.

Como materiais de construção recorre a seixos do rio ou outro tipo de pedra, arame galvanizado reforçado e a estacas vivas (plantas) de espécies com capacidade de reprodução vegetativa. Tem como principais vantagens uma execução rápida e simples, um feito de contenção imediato, a possibilidade de utilização de materiais autóctones na sua construção, a sua flexibilidade e permeabilidade, a possibilidade de implementação em zonas íngremes ou com espaço reduzido e o aumento da estabilidade da estrutura com o desenvolvimento vegetal. A sua principal desvantagem passa pela artificialidade elevada da estrutura. Em termos de manutenção

esta é reduzida sendo apenas necessária aquando a ocorrência de danos na estrutura (Fernandes, *et al.*, 2011).

❖ **Terra Reforçada**

A aplicação de terra reforçada consiste numa técnica de sustentação, utilizada para reconstrução de taludes muito inclinados, através da estratificação reforçada de várias parcelas de terreno local, as quais são estabilizadas interiormente pelo próprio peso do terreno, já na parte frontal, a contenção do terreno é feita através de uma protecção com diversos tipos de materiais inertes (Figura 8.28 c). Na sua implementação são utilizadas mantas de geotêxtil orgânico, reforçadas ou não com redes de aço ou plástico, preenchidas com cerca de 50 cm de terra vegetal, seguida da plantação de espécies vegetais de raiz longa. Como materiais de construção recorre a rede sintética ou metálica zincada e plastificada, geotêxtil orgânico ou sintético, geogrelhas de reforço, material inerte de enchimento, estacas vivas de espécies de propagação vegetativa e hidrossementeira.

Como vantagens apresenta elevada durabilidade, a construção, realizada por módulos, permite obter formas ilimitadas, adaptadas às condições locais do terreno, é das estruturas artificiais com melhores condições para o estabelecimento da vegetação, pode ser aplicada em locais com fortes inclinações e espaços limitados e apresenta boa flexibilidade e permeabilidade. Como desvantagens apresenta um elevado custo, os materiais de reforço não são biodegradáveis, necessita de recolha de material de enchimento com características geotécnicas idóneas e requer de um elevado período de execução. Tal como os gabiões vivos, não necessita de trabalhos de manutenção recorrentes, a não ser que ocorram danos na estrutura (Fernandes, *et al.*, 2011).

❖ **Muros de Suporte Vivo**

Os Muros de Suporte Vivo correspondem a construções em madeira constituídas por uma estrutura em forma de caixa, formada por troncos dispostos perpendicularmente. O seu revestimento interior apresenta na sua base pedra até atingir o nível médio das águas, e a restante área de enchimento difere consoante as necessidades do local a requalificar, mas essencialmente poderá ser constituído por solo local ou espécies arbustivas autóctones (Figura 8.28 d). Estas estruturas adaptam-se muito bem ao suporte de taludes e encostas e à protecção e reconstrução de margens fluviais muito degradadas devido a acções erosivas muito intensas, sendo também utilizadas na construção de estruturas transversais de dissipação de energia em correntes torrenciais de montanha.

A sua construção faz-se com troncos de diâmetro entre 10 e 40 cm em camadas alternadas apresentado normalmente uma inclinação estrutural com cerca de 10-20%, podendo ser simples

(apenas com uma parede longitudinal frontal) ou duplo (com duas paredes longitudinais). A sua ancoragem pode recorrer a estacas (em meios muito instáveis em profundidade) e o seu preenchimento é realizado com solo e, sendo que em cada nível são distribuídos ramos com capacidade vegetativa ou plantas enraizadas de modo a que atinjam o solo de fundação. Pode ainda incluir preenchimento parciais com pedra na sua base e estar associado a sistemas de drenagem quando aplicado como muro de suporte em encostas. Utiliza como materiais de construção troncos de madeira, pregos ou varão de ferro roscado, estacas vivas de espécies arbustivas autóctones, plantas em torrão ou raiz nua, solo local e arame.

As suas principais vantagens passam pela consolidação imediata e robusta, a vegetação implementada desenvolve uma acção drenante, pois absorve a água necessária ao seu desenvolvimento, apresenta custos de manutenção contidos e grande flexibilidade estrutural. Como desvantagens apresenta possível desenvolvimento limitado em altura da obra, necessidade de utilizar meios mecânicos para executar as escavações e período de execução extenso, sendo a sua manutenção mais expressiva no primeiro ano após a implementação, de modo a evitar o descalçamento da estrutura, e a possibilidade de substituição de estacas ou plantas que não tenham enraizado (Fernandes, *et al.*, 2011).

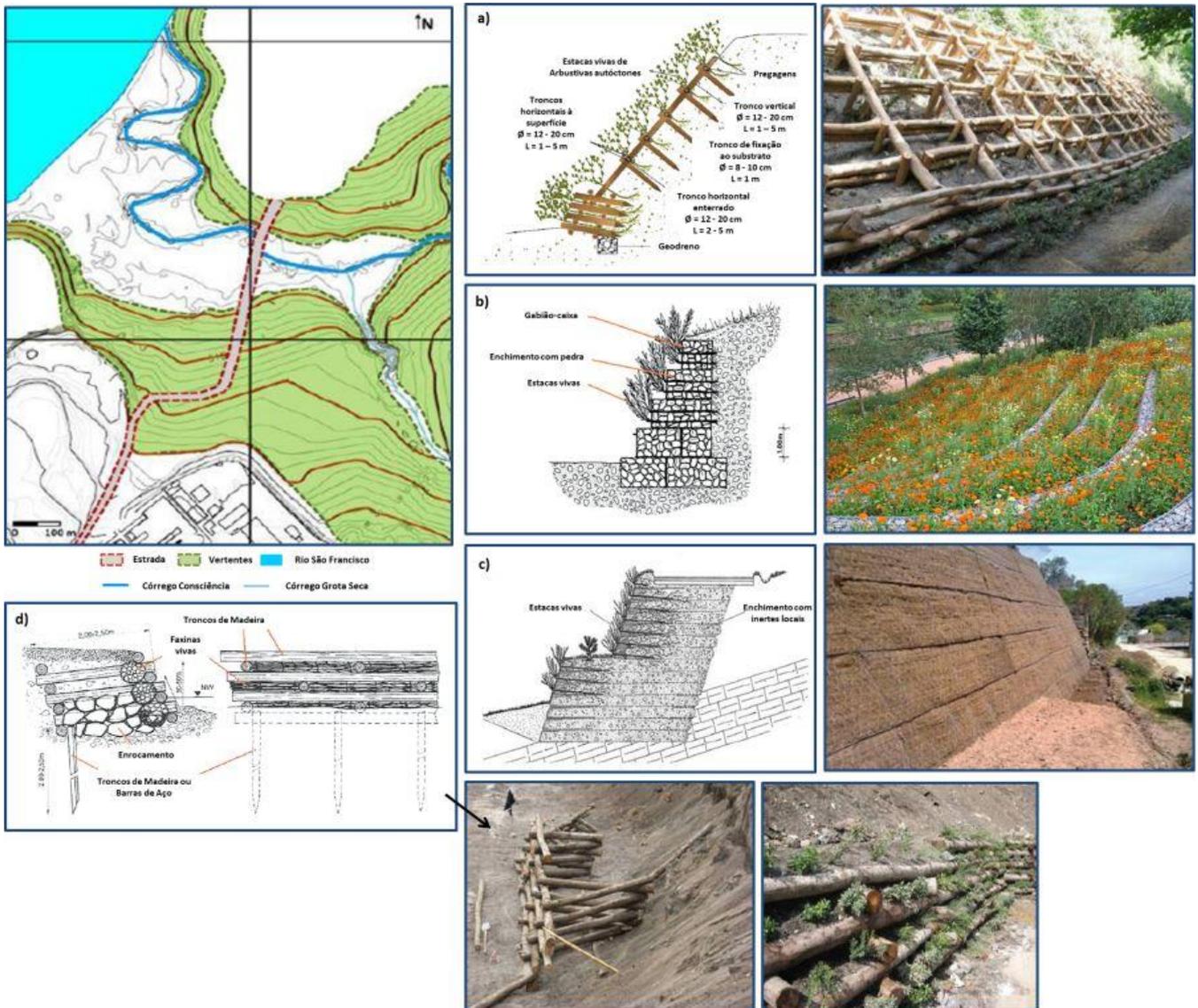


Figura 8.28: Representação esquemática de algumas das técnicas recomendadas de estabilização das vertentes na área em estudo, com recurso a Engenharia Natural. (Adaptado de Fernandes, *et al.*, 2011).

A Engenharia Natural é o ramo da engenharia que procura otimizar os processos construtivos numa perspectiva simultânea de funcionalidade estrutural e ecológica. As intervenções de Engenharia Natural são para além de funcionais em termos de uso, harmoniosas no espaço natural, sendo para tal utilizados os próprios sistemas naturais (Fernandes, *et al.*, 2011). Os diversificados métodos de Engenharia Natural permitem assim a estabilização de linhas de água e solos com recurso a materiais naturais (solo, vegetação, madeira e rochas) adquiridos nos próprios locais da intervenção, o que diminui consideravelmente os custos, quando comparado com outras técnicas de Engenharia Convencional.

Na área em estudo o recurso à Engenharia Natural é preferível à aplicação de obras de engenharia tradicionais pois, para além de ser economicamente mais viável, possibilita a implementação de espécies vegetais nas margens do córrego, que auxiliam a infiltração das águas pluviais e suporte do solo além do favorável enquadramento visual e ambiental.

8.2.4. Remediação do córrego Consciência

Como proposta de remediação do córrego Consciência (córrego mais afectado pela contaminação uma vez que atravessa a zona aluvionar) propõe-se a regularização do canal por remoção de sedimentos, impermeabilização do leito do córrego com geotêxtil ou uma camada argilosa impermeável (Figura 8.29) (prevenindo assim o afluxo de água subterrânea contaminada) e estabilização das margens (para evitar deslizamentos e obstruções no seu leito) que pode ser realizada com recurso à Engenharia Convencional ou Engenharia Natural (Figuras 8.30). Esta metodologia, tal como as anteriormente propostas, tem em conta a mobilidade dos metais, sendo por isso proposta de forma a minimizar o remeximento do material do córrego e de diferenciar os fluxos de água superficial e subterrânea (para que não ocorra infiltração e, conseqüentemente, troca de contaminantes dissolvidos).

Assim, e tendo em conta as características morfológicas do córrego e as características climáticas da área, esta hipótese, a ser realizada, terá de ser efectuada durante a época seca. Tendo que para isso o córrego ser temporariamente desviado, para evitar ressuspensões de material contaminado para a coluna de água, e/ou se bombear a água existente na zona saturada da zona aluvionar, podendo esta ser colocada directamente no rio São Francisco ou enviada para tratamento, dependendo da sua qualidade.

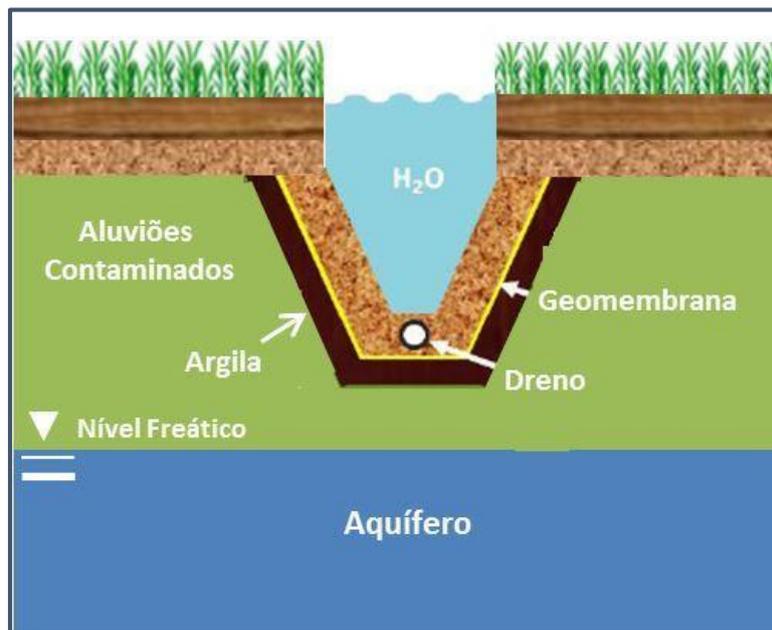


Figura 8.29: Esquema representativo da proposta de utilização do *capping* no leito do córrego Consciência.

As hipóteses sugeridas na figura 8.30 correspondem a soluções de Engenharia Natural estando representada nas figuras 8.30 a, 8.30 b, 8.30 c, e 8.30 d as seguintes estruturas:

❖ Estacaria Viva

Esta técnica corresponde à utilização de troços de troncos ou ramos (resistentes), com comprimentos entre 40 e 100 cm e de diâmetro entre 2 e 8 cm biselados na parte inferior de forma a poderem ser cravadas no solo (Figura 8.30 a). O efeito estabilizante desta técnica em profundidade aumenta consoante o comprimento da estaca colocada. Quanto maior a estaca, maior a profundidade a que se irão desenvolver as raízes e mais elevada será a estabilização em profundidade. Estas estacas adaptam-se bem à instalação de vegetação em enrocamentos, permitindo uma instalação posterior à construção da mesma, assegurando desta forma a sua revegetação sem necessidade de intervenções custosas. Como materiais de construção recorre apenas a estacas vivas de espécies de tronco resistente, como o salgueiro (*Salix spp.*), a tamargueira (*Tamarix africana*), o loendro (*Nerium oleander*), o choupo (*Populus spp.*), o freixo (*Fraxinus angustifolia*), entre outras.

Aplica-se principalmente em taludes e margens fluviais de baixo declive, podendo também ser usadas como elemento fixador na instalação de mantas orgânicas, fascinas, entrançados vivos, etc. A sua aplicação adapta-se também no controlo da erosão fluvial, permitindo a recuperação e

a estabilização de taludes de margens de linhas de água e, após a implementação e desenvolvimentos das estacas, consegue estabelecer com facilidade um coberto vegetal capaz de estabilizar o talude em ocorrências de caudais de cheia.

Como principais vantagens destacam-se o baixo custo, a facilidade de recolha de material, a sua execução simples, possuir acção muito eficaz após o desenvolvimento das estacas vivas (6 meses – 2 anos), e o favorecimento e evolução dos ecossistemas autóctones. Apresenta, como todas as técnicas, algumas desvantagens que passam pelo facto da estabilidade dos taludes e a consolidação superficial estarem limitadas até ao desenvolvimento de um adequado sistema radicular, sendo que o enraizamento das estacas nem sempre é assegurado. Em termos de manutenção requer o controlo da vegetação de forma a não permitir o ser desenvolvimento excessivo (Fernandes, *et al.*, 2011).

❖ **Entrançados Vivos**

São estruturas que, em conjunto com as fascinas, constituem na técnica mais generalizada e diversificada. Aplicam-se geralmente para a protecção de margens fluviais (onde seja necessário uma protecção continua e elástica das margens) e na estruturação e consolidação de taludes e encostas. É uma técnica de aplicação simples, consistindo na execução de um entrançado de ramos vivos espécies lenhosas com, características ecológicas semelhantes e adequadas às características do local de intervenção, em torno de estacas (que podem também ser vivas) cravadas no solo (Figura 8.30 b).

Utiliza como material de construção ramagem viva ou estacas de espécies com capacidade de propagação vegetativa, troncos de madeira, barras de aço e pedras. Tendo como principais vantagens a protecção imediata contra a erosão mecânica e posterior consolidação em profundidade através do desenvolvimento radicular, a facilidade de recolha de material, consistir numa estrutura flexível e permeável e apresentar resultados muito positivos no combate às cheias. Como desvantagens recorre a uma elevada quantidade de material vivo e em termos de manutenção esta terá de ser assegurada ao longo do tempo de acordo com os danos sofridos pela estrutura (Fernandes, *et al.*, 2011).

❖ **Esteira de Ramagem**

Consiste numa técnica de revestimento de margens fluviais com ramagens vivas de espécies com capacidade de propagação vegetativa. Colocam-se perpendicularmente à direcção do escoamento, e fixam-se ao solo através de arame e estacas de madeira. Posteriormente, a ramagem é recoberta com uma camada fina de terreno (Figura 8.30 c). Esta é uma técnica particularmente adequada à cobertura e consolidação de margens de rios onde se registre

torrencialidade e velocidades muito elevadas (adequando-se aos períodos de enxurrada da área em estudo). A esteira protege o talude da acção da corrente e desenvolve, ao mesmo tempo, uma espessa formação vegetal cobrindo a totalidade do talude. A rugosidade da esteira e da vegetação reduzem a velocidade da água junto à margem e, em consequência a sua energia erosiva. Os ramos retêm os materiais e sedimentos arrastados pelas torrentes criando um colchão protector que isola a margem do contacto directo da torrente e das ondas dos rios. Aplica-se assim principalmente a margens de linhas de água onde seja necessário uma protecção continua e elástica das mesmas. A sua construção, apesar de relativamente simples exige cuidados particulares de modo a garantir a sua eficácia e resistência ao fluxo da água.

Como materiais de construção recorre a ramagem viva ou estacas de espécies com capacidade de propagação vegetativa, troncos de madeira, pedras e barras de aço. As suas vantagens passam pela protecção imediata contra a erosão mecânica e posterior consolidação em profundidade através do desenvolvimento radicular, facilidade de recolha de material, consiste numa estrutura flexível e permeável e apresentar resultados muito positivos no combate às cheias. Como desvantagens recorre a uma elevada quantidade de material vivo e em termos de manutenção esta terá de ser assegurada ao longo do tempo de acordo com os danos sofridos pela estrutura (Fernandes, *et al.*, 2011).

❖ Fascina Viva

As fascinas são feixes de ramagem vivas e mortas com um diâmetros entre 15 e 20 cm e comprimento adaptado à aplicação projectada, (variando normalmente entre 2 e 4 m). A sua aplicação no terreno terá de garantir o máximo de contacto com o solo húmido de forma a permitir o desenvolvimento vegetativo, sendo fixadas ao terreno através de troncos de madeira. Para esta técnica recorre-se preferencialmente a espécies com grande capacidade de enraizamento vegetativo, que devem ser flexíveis, compridas, direitas e com gemas de crescimento activas (Figura 8.30 d). Como material de construção recorrem assim a estacas vivas de espécies lenhosas com capacidade de propagação vegetativa, troncos de madeira ou varão roscado, de forma a garantir a sua fixação no solo e arame ou corda de sisal (para construção das fascinas).

Estas estruturas apresentam utilização muito diversificada, podendo ser aplicadas em estruturas de drenagem e segmentação de taludes e ainda numa grande variedade de estruturas de protecção de margens de linhas de água. Nas margens de linhas de água esta técnica é recomendada para a criação de faixas de vegetação nas margens dos rios. A sua colocação ao longo da margem é rápida e simples, bastando a sua fixação com estacas de madeira. Em situações de margens mais declivosas pode recorrer-se a muros de fascinas empilhados e suportados por estacas fortemente enterradas no sentido da corrente, em complemento das estacas de fixação de cada fascina individual. A sua utilização na protecção e consolidação de margens de linhas de

água deverá ter em consideração a resistência limitadas destas técnicas à velocidade da água variando 2 m/s e 4 m/s. Como vantagens apresenta uma realização simples, baixo custo, eficácia estabilizante, facilidade de recolha de material, melhoramento imediato da acção drenante, devido ao efeito evapotranspirante das plantas e permitem redireccionar o sentido natural do escoamento, afastando as águas das áreas instáveis. Já as suas desvantagens passam pela necessidade de podas regulares e elevada quantidade de material vivo e mão-de-obra (Fernandes, *et al.*, 2011).

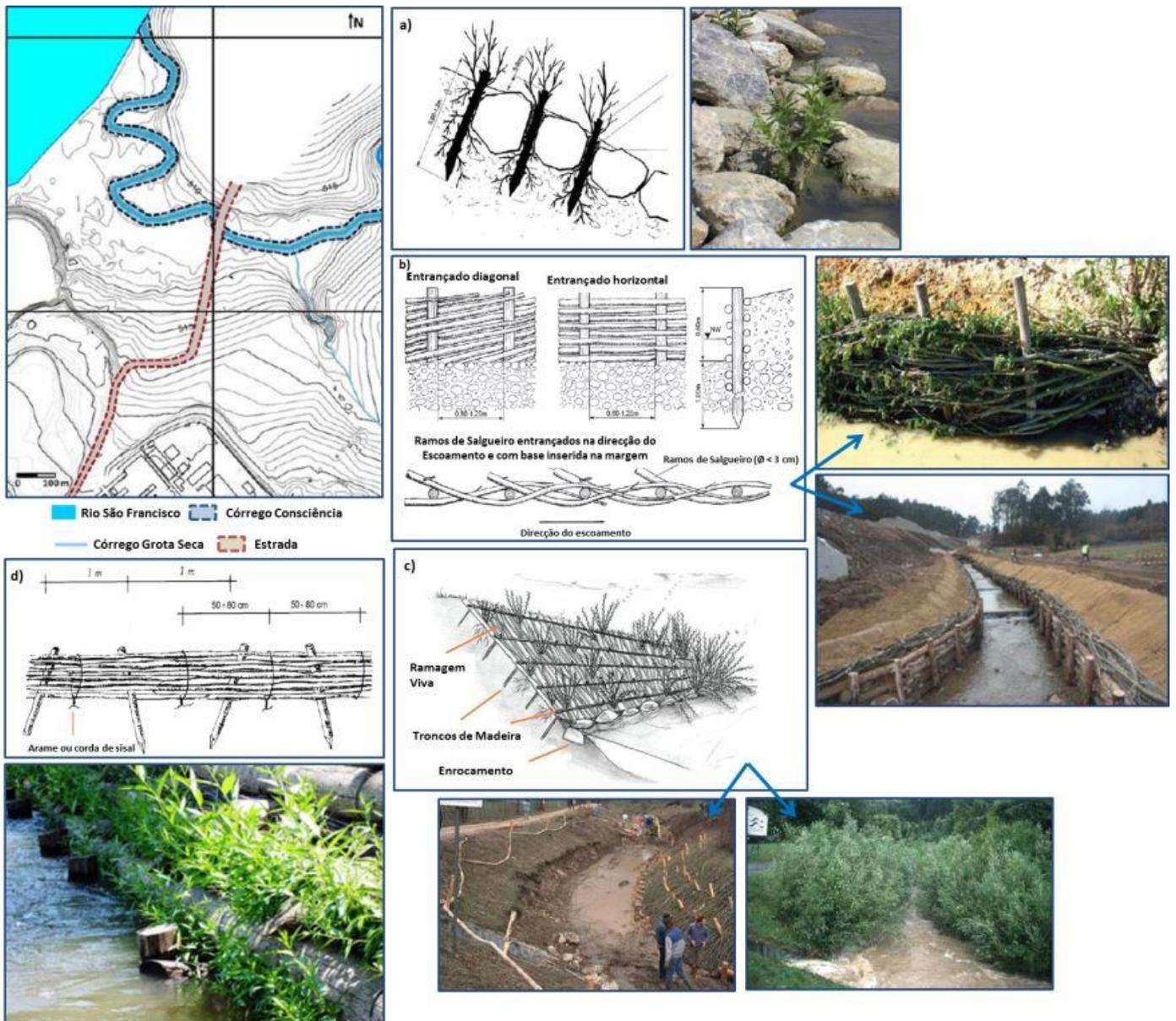
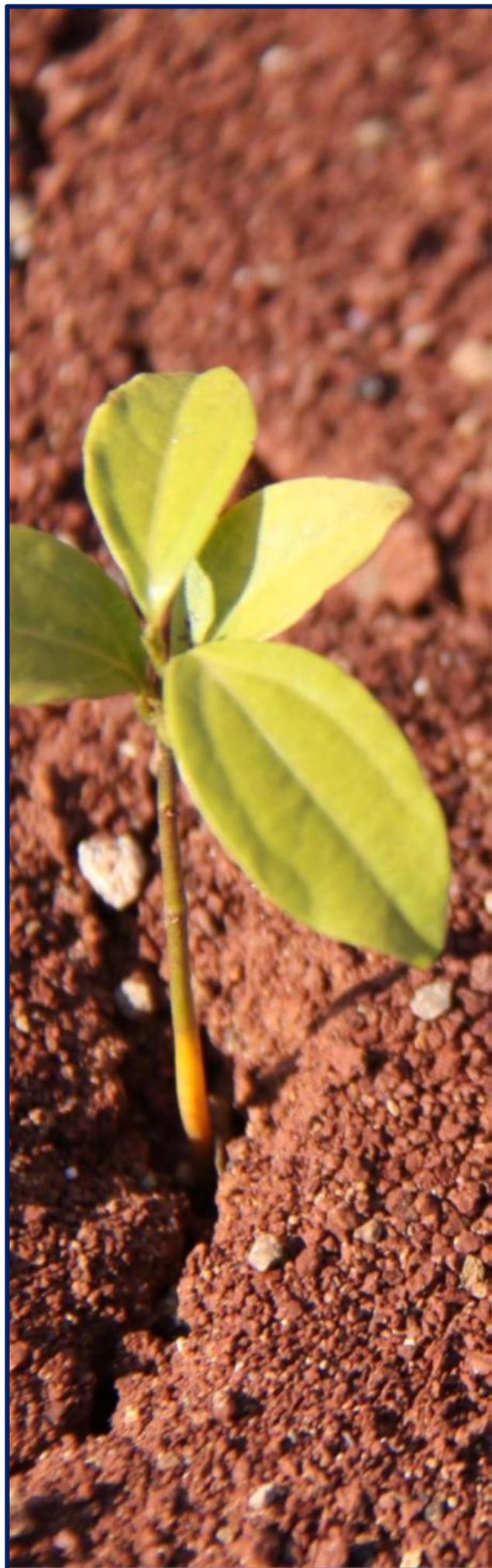


Figura 8.30: Representação esquemática de algumas das técnicas recomendadas de estabilização do leito de linhas de água, com recurso a Engenharia Natural. (Adaptado de Fernandes, *et al.*, 2011).

9 Conclusão



9. Conclusão

A contaminação ambiental em metais pesados é um problema actual, porém não consiste numa problemática nova. Desde que o Homem tem a capacidade de trabalhar metais, que são identificados impactos negativos nos solos, nos materiais sedimentares e nas águas (superficiais e subterrâneas) conduzindo, conseqüentemente, à poluição e contaminação do meio natural. Actualmente, a constante evolução e procura de recursos naturais face à crescente população mundial, torna urgente a utilização sustentável destes meios assim como o seu reaproveitamento. Torna-se portanto cada vez mais importante a procura e aplicação de técnicas ambientais para uma mais sustentável gestão de recursos e resíduos, que encontre soluções para erros do passado através de monitorização de antigos depósitos de resíduos, evitando que se tornem fontes de poluição ou até permitirem a sua reexploração.

É neste âmbito que surge o trabalho apresentado. A área em estudo foi, durante mais de quarenta anos, utilizada como depósito de resíduos sólidos, ricos em metais pesados, e alvo de múltiplas descargas de efluentes líquidos industriais. Contaminação que se associa à presença e funcionamento de uma unidade industrial metalúrgica de ligas metálicas (ricas em zinco), que durante muitos anos dispôs os resíduos da sua actividade nos solos e margens dos cursos de água da sua envolvente. Tendo em conta o historial de depósitos de substâncias contaminantes, ocorreram, ao longo dos anos, vários episódios de contaminação, principalmente no rio São Francisco (maior rio a correr apenas em território brasileiro), tornando-se agora necessária a identificação dos principais problemas ambientais associados a esta prática e a determinação das mais adequadas estratégias de remediação/recuperação da área. Para a resolução deste problema, foram reunidos diversificados estudos geoquímicos, mineralógicos, físicos, cartográficos e geofísicos num projecto de consultadoria pedido à Universidade de Évora.

A presente tese insere-se nesse projecto, focando-se principalmente na zona aluvionar da área em estudo e numa linha de água (o córrego Consciência), cujas margens foram alvo de despejos volumosos de resíduos de naturezas diversas. Assim, os principais objectivos deste estudo foram a identificação dos principais contaminantes da área em estudo e a avaliação da sua perigosidade ambiental, mediante a identificação e quantificação das principais formas químicas em que os elementos potencialmente tóxicos ocorrem. Este conhecimento contribuirá para a identificação da(s) melhor(es) técnicas de remediação de áreas degradadas/contaminadas a propor para uma remediação viável e sustentável da área em estudo.

A amostragem efectuada na área em estudo foi baseada nas conclusões obtidas a partir de um estudo de diagnóstico realizado pela empresa de consultadoria *Golder Associates* que dividiu a área aluvionar sobre a influência da Votorantim Metais S. A. em três zonas: (1) Área A1: leito e margens do córrego Consciência (0,98 ha); (2) Área A2: planície aluvionar do córrego Consciência (2,707 ha); e (3) Área A3: bacia de acumulação das aluviões, correspondente a parte da bacia de drenagem do córrego Grota Seca (0,51 ha). Foi ainda definida uma área A0, fora da influência causada pela indústria, na qual se realizou amostragem, correspondendo esta área ao *background* geoquímico.

O estudo iniciou-se pela recolha de amostras na zona aluvionar e no córrego Consciência, áreas localizadas na envolvente da unidade industrial, ao longo de perfis verticais até sensivelmente 100 cm de profundidade e em dois distintos períodos sazonais, após o período de seca (Setembro-Novembro) e após o período de chuva (Abril). De modo a avaliar a mobilidade da contaminação, foram extraídas *in situ* águas intersticiais em todas as amostras sedimentares que apresentavam humidade e águas superficiais pertencentes à coluna de água do córrego.

O teor em elementos químicos (especialmente alcalinos, alcalino-terrosos e metálicos) destas águas (intersticiais e coluna de água) foi posteriormente determinado na sua fracção dissolvida. Foram analisados todos os elementos metálicos identificados em estudos anteriores como potenciais contaminantes (Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Co, Cr, As) e o Fe e Mn, que não sendo elementos poluentes, existem em elevadas concentrações nestes materiais na sua maioria derivados de solos lateríticos e que têm elevada influência no comportamento dos restantes metais. Os resultados desta análise identificaram uma notória diminuição dos teores identificados aquando do período de chuva, relação que se verificou quer para as águas intersticiais, quer para as amostras de água superficial, comportamento que se poderá relacionar com o efeito de diluição provocado pelo aumento pluviométrico e afluência de água. Foram identificados como elementos com maior perigosidade ambiental nesta fracção mais solúvel, o cádmio, o chumbo, o manganês e o zinco.

A identificação dos principais contaminantes presentes nas amostras sólidas (Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Co, Cr, As) e o Fe e Mn, foi realizada por digestão parcial das mesmas, ou seja extracção por adição bi-ácida (HCl e HNO₃) de todas as fracções ligadas a todas as fases orgânicas e minerais excepto as existentes na estrutura dos silicatos. Desta análise, verificou-se que os elementos com maior expressividade e, conseqüentemente, perigosidade ambiental são o cádmio, o chumbo e o zinco, identificando-se teores muito superiores ao valor crítico, de acordo com as normas ambientais vigentes no Estado de Minas Gerais. Em todas as áreas (A1, A2 e A3) foram ainda determinados teores muito elevados, superiores ao Valor Crítico, para o arsénio, sendo nas áreas A1 e A3 identificados também para o cobre, teores igualmente elevados. Estas

concentrações poderão ser relacionadas com os episódios de descarga de efluentes e depósito de resíduos que ocorrem na bacia do córrego Consciência. Da comparação dos teores obtidos com os períodos sazonais considerados (pós-seca e pós-chuva), verificou-se uma ligeira diminuição dos teores na amostragem pós-chuva à superfície. Este comportamento poder-se-á dever ao aumento do caudal do córrego e da sua capacidade de lixiviação dos materiais, com consequente mobilização de elementos mais solúveis à superfície. Esta mobilização expressou-se por um aumento significativo dos teores de todos os elementos metálicos analisados em direcção à superfície durante a época pós-chuva e em profundidade durante a época seca e por elevadas concentrações na margem oposta do córrego, evidenciando circulação de fases móveis através dos materiais aluvionares que constituem a base desta linha de água.

Também para as diferentes fracções granulométricas, obtidas em algumas amostras, foi realizada a digestão parcial e determinado o teor em metais. Este estudo revela elevada importância, tendo em conta a natureza solúvel de alguns metais e sendo um dos principais objectivos do trabalho, a proposta das técnicas de remediação mais adequadas à zona em estudo e às características físicas e químicas dos materiais aluvionares. Verificou-se uma elevada concentração de metais contaminantes nas fracções mais finas (argilosa < 2 μ m e siltosa 63 μ m - 2 μ m) destacando-se em todas as áreas o arsénio, o cádmio, o níquel, o chumbo e o zinco, como havia já sido comprovado pela digestão parcial das amostras totais. Este comportamento dos metais é concordante com a textura predominantemente fina das amostras, facto que contribui para a elevada perigosidade ambiental destes elementos, que são potencialmente tóxicos acima de determinados valores, uma vez que para além dos teores acima dos valores legislados, e estão concentrados nas fracções mais finas das amostras e encontram-se em fases facilmente solubilizadas.

De forma a uma identificação mais fácil e clara dos principais contaminantes da área em estudo, foram ainda calculados três índices de enriquecimento, o Factor de Enriquecimento, o Índice de Geoacumulação e o Factor de Contaminação. Assim, do cálculo do Factor de Enriquecimento e do Índice de Geoacumulação verificaram-se para as áreas A1, A2 e A3, como anteriormente comprovado pela análise dos dados da digestão parcial (*Aqua Regia*), enriquecimentos elevados principalmente em cádmio, chumbo e zinco, mas também, em menor escala, em arsénio e cobre. Por sua vez, o Factor de Contaminação, que permite a identificação por área do grau de contaminação em cada elemento, foi utilizado apenas como complemento na análise realizada pelos restantes índices, tendo classificado as amostras, de todas as áreas, com enriquecimentos elevados a extremamente elevados.

Com o Índice de Geoacumulação foram ainda comparados os valores de pH das amostras de acordo com os dois períodos sazonais estudados, sendo considerados para isso apenas os elementos identificados com maior perigosidade (cádmio, chumbo e zinco). Esta comparação permitiu estabelecer uma relação entre o nível de contaminação e o pH das amostras, sendo que quanto mais elevado o pH menor o nível de contaminação (IGL) nas amostras, e vice-versa, facto que está de acordo com a variação da solubilidade destes elementos em função do grau de acidez do meio. Verificou-se, em relação a este índice a ocorrência de índices de geoacumulação altamente a extremamente contaminados em todas as áreas.

A determinação do grau de contaminação, realizado para cada amostra, por solubilização das fracções não silicatadas (digestão parcial) fornece dados importantes para o conhecimento e controlo dos elementos contaminantes. No entanto, para uma análise e aplicação de técnicas de remediação mais eficaz, importa conhecer também a proporção em que cada elemento ocorre, ligado às diferentes fases minerais, através de ensaios de extracção sequencial. A análise dos resultados obtidos permitiu identificar como elementos mais estáveis, ligados a fracções correspondentes a óxidos de ferro cristalinos, o crómio, o ferro e níquel, enquanto elementos como o cádmio, o cobalto, o manganês e o zinco se encontram ligados a fases mais móveis e facilmente solubilizáveis (em fases solúveis na água intersticial, com o catiões de troca e ligados a óxidos de Mn). Estes elementos, a par da sua elevada concentração, apresentam igualmente elevada mobilidade, correspondendo assim aos elementos que representam maior perigosidade ambiental. Tendo em conta a natureza variável das amostras verifica-se ainda um comportamento misto para o chumbo e o cobre, apresentando-se em algumas amostras em fracções estáveis e noutras em fases solúveis, explicando assim a contaminação pontual nestes metais na área em estudo.

Tendo em conta a elevada concentração de metais contaminantes em fracções solúveis e facilmente solubilizáveis, verificou-se a necessidade da realização de ensaios de lixiviação de forma a se identificarem quais os metais mais facilmente extraíveis por acção da água com pH ajustado ao das chuvas locais. Estes ensaios permitiram a avaliação e a quantificação dos elementos que são solubilizados e entram no sistema hidrológico, em consequência da precipitação. A análise dos resultados permitiu identificar em todas as áreas (A1, A2 e A3) teores em metais lixiviados, superiores ao Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas, identificando-se assim o elevado grau de perigosidade destes elementos. A comparação dos valores obtidos nos ensaios de lixiviação com os identificados na primeira fase de extracção sequencial, evidenciou uma estabilidade relativa para o crómio, o cobre, o ferro e o chumbo, sendo os teores em cádmio, cobalto, manganês e zinco aproximados aos valores quantificados na primeira fase de extracção sequencial. Tendo em conta os resultados, destacam-se como elementos mais perigosos estes quatro metais, sendo que são facilmente extraíveis em concentrações tóxicas apenas por agitação com água, podendo-se concluir assim que quando

chove, ocorre elevada solubilização e arraste destes elementos para a coluna de água do córrego Consciência e, conseqüentemente, para o rio São Francisco.

Atendendo ao historial de fontes adicionais de contaminação oriundos de efluentes domésticos (esgotos) provenientes da cidade de Três Marias (Oliveira, 2007; Almeida, 2010) e também, a potencial associação dos elementos metálicos aos compostos orgânicos, foi realizada a análise elementar, com determinação dos teores em carbono total (orgânico e inorgânico), azoto e enxofre (nas aluviões), a determinação da concentração em sulfatos (aluviões, águas intersticiais e extractos resultantes do ensaio de lixiviação) e fósforo total nas aluviões e nas águas intersticiais da área em estudo.

A análise elementar não revelou concentrações em carbono e azoto que ultrapassassem os valores legislados, não fornecendo assim dados conclusivos para a consideração de fontes contínuas de descarga de efluentes domésticos no córrego Consciência. Estes baixos valores, que sugerem reduzida ocorrência de compostos orgânicos na área, apontam para outro significado da eventual formação de complexos organo-metálicos através de processos de quelação com os metais contaminantes. Já no caso do enxofre, foram identificadas em todas as áreas concentrações baixas quando comparadas com os teores das amostras *background*, sendo apenas encontradas concentrações mais significativas nas camadas superiores das aluviões recolhidas na área A2, cuja presença deverá estar associada à oxidação de resíduos ricos em sulfuretos com formação de crostas sulfatadas visíveis na época seca.

Por análise das concentrações em sulfatos verifica-se a ocorrência nas aluviões de concentrações abaixo do limite máximo nas áreas A1 e A3, o que não se verifica na área A2 onde todas as amostras apresentam teores superiores aos legislados, sendo este facto concordante com a igualmente elevada ocorrência de concentrações em enxofre. Já nas águas intersticiais foram analisadas concentrações muito reduzidas sob a forma solúvel, encontrando-se sempre abaixo do limite máximo considerado. Foram ainda determinados os teores em sulfatos nos extractos resultantes do ensaio de lixiviação por agitação de algumas amostras aluvionares. Desta análise verificou-se que a lixiviação de sulfatos ocorre principalmente logo após a primeira hora de agitação, ultrapassando em larga escala o limite máximo considerado, sendo que as concentrações mais elevadas correspondem a amostras da planície aluvionar da área A2.

Os teores em fósforo identificados nas aluviões apresentam-se em concentrações reduzidas, abaixo do valor de alerta (limite máximo) para o fósforo total em material dragado. A área A2 corresponde à área com concentrações mais elevadas neste elemento. Já nas águas intersticiais foram identificadas concentrações superiores ao limite máximo de fósforo total em ambientes lênticos. Identificaram-se concentrações mais elevadas nas águas intersticiais recolhidas nas

camadas mais superficiais (destacando-se as áreas A1 e A2), verificando-se a ocorrência preferencial de fósforo principalmente sob a forma solúvel.

O conhecimento da granulometria da fracção grosseira (fracção compreendida entre 2mm e 63 μm) e fina (fracção < 63 μm) das amostras, são factores importantes na caracterização física das mesmas, permitindo inferir dados acerca da coesão das partículas, do potencial de ressuspensão, da velocidade de sedimentação, da proveniência (tipos de partículas e as rochas parentais), do tipo de transporte sofrido (conceito de maturidade textural e resistência das partículas - composição, abrasão e alteração química), e sobre potenciais ambientes deposicionais (Dias, J. A., 2004). Estes dados são de conhecimento imprescindível aquando da técnica ou conjunto de técnicas de remediação mais adequadas a aplicar.

A análise dos sistemas de transporte granulométrico da fracção arenosa na área em estudo, verificou a ocorrência de três sistemas de transporte nas amostras consideradas (rolamento, saltação e suspensão); as características reveladas pelas curvas cumulativas da fracção arenosa sugerem que na extensão total dos três sistemas de transporte identificados, o material arenoso terá origem nos mesmos litótipos tendo o seu transporte para as diferentes áreas provavelmente ocorrido em períodos distintos, através de agentes de transporte hidrológicos e eólicos com intensidade variável. A correlação entre o desvio padrão e o diâmetro médio das partículas arenosas verificou uma distribuição mais uniforme nas áreas contaminadas A1, A2 e A3, com valores correspondentes à transição areia média/ areia fina, relativamente à área *background* A0. As amostras, na generalidade unimodais (à excepção da área A0), situam-se preferencialmente nas classes de areia fina, sugerindo duas possíveis fontes da componente arenosa: (1) transporte de zonas a montante por agentes eólicos e acarreo de material nas épocas chuvosas (2) forte influência antrópica, através do despejo e deposição de materiais oriundos da actividade industrial da Votorantim Metais Três-Marias. A assimetria dos grãos revelou-se maioritariamente negativa em toda a zona em estudo com valores de R^2 muito deficientes apresentando, tal como o desvio padrão, uma distribuição muito heterogénea, sugerindo assim introdução de elementos mais finos e mais grosseiros em relação às populações da moda principal, justificada mais uma vez pela elevada ação antrópica na área em estudo (Folk, *et al.*, 1957).

A análise granulométrica da fracção < 63 μm identificou padrões minoritários nas percentagens de areia, silte e argila comparativamente com a fracção siltosa e argilosa, sendo estas as fracções predominantes. Esta grande variabilidade nas percentagens de areia, silte e argila poder-se-á dever ao clima da região, demarcado por um regime pluviométrico muito variável ao longo do ano do qual se poderá esperar um maior arraste de fracções mais arenosas (ou até cascalhentas) nas épocas mais chuvosas e deposição de fracções mais siltosas ou silto-argilosas,

em épocas mais secas. Estas deposições e arrastes dependerão directamente do caudal do córrego e do potencial de transporte de materiais.

A determinação da porosidade e da permeabilidade das amostras sugere também dados igualmente importantes e indispensáveis para a escolha mais assertiva da técnica(s) a utilizar para a remediação de áreas contaminadas. A porosidade consiste na medição dos espaços vazios existentes entre as partículas sólidas, sendo a permeabilidade (ou condutividade hidráulica) o parâmetro correspondente à quantificação da capacidade da percolação de água pelos materiais sedimentares, através dos poros existentes (em condições de saturação), estando sempre dependente da forma e dimensão dos poros e da sua interconexão.

Da análise dos resultados obtidos para a porosidade das amostras e da sua comparação com o teor em argila, verificou-se uma tendência para o aumento da porosidade com o aumento da percentagem de argila nas amostras, devendo-se provavelmente à existência de micro-porosidade. Este comportamento é extensivo a toda a área em estudo. Por sua vez, da comparação entre os resultados obtidos para a porosidade e a permeabilidade, verificou-se uma notória concordância entre os dois parâmetros, sendo a evolução de um parâmetro realizado em função do outro. Ou seja, amostras com permeabilidades reduzidas apresentaram também menor porosidade (área A1). Por outro lado ocorreram ainda casos de amostras com permeabilidades mais elevadas e porosidades reduzidas podendo dever-se à presença de elementos granulométricos mais grosseiros nessas amostras (área A0, A2 e A3).

A descrição petrográfica e mineralógica da fracção arenosa ($> 63 \mu\text{m}$) de algumas amostras teve como principal objectivo a identificação de possíveis fases minerais portadoras de metais contaminantes (principalmente Zn, Cd, Pb e As). A análise dos resultados obtidos permitiu identificar como principais minerais potencialmente contaminantes a Esfalerite (sulfureto de Zn enriquecido em cádmio), óxidos de zinco, sulfatos de cobre e chumbo e Willemite (silicato de zinco), sendo este último o principal mineral presente no minério beneficiado na Votorantim Metais em Três Marias.

A análise por difracção de Raios-X da fracção argilosa ($< 2 \mu\text{m}$) e da fracção siltosa e argilosa ($< 63 \mu\text{m}$) permitiu verificar a ocorrência de hematite, jarosite, Willemite e esfalerite, preferencialmente em partículas de maior dimensão ($< 63 \mu\text{m}$), sendo a Willemite e a esfalerite as principais fases minerais contaminantes e os minerais utilizados como matéria-prima na unidade industrial. Foi ainda identificado como mineral secundário, em algumas amostras, o gesso. Na fracção argilosa ($< 2\mu\text{m}$), fracção preferencial para a ocorrência de metais

contaminantes, verificou-se a ocorrência de goethite (mineral essencialmente férrico), para além dos minerais argilosos, representados principalmente pela caulinite.

Foi ainda realizado um ensaio geofísico exploratório com dopagem em As de algumas amostras. A utilização deste método, neste contexto de problemática ambiental, teve como principal objectivo a identificação de possíveis relações entre as propriedades eléctricas das aluviões determinadas por métodos geofísicos e as características químicas dos materiais contaminadas em metais pesados, poderiam funcionar como métodos auxiliares para a detecção de anomalias de metais poluentes nos meios sedimentares, possibilitando fazer um estudo mais rápido e eficiente na escolha dos pontos mais representativos para os estudos geoquímicos.

Neste ensaio verificou-se um comportamento contrário entre os ensaios geofísicos realizados em campo (valores de resistividade mais elevados e condutividade mais reduzida nas amostras mais ricas em As) e as amostras utilizadas no ensaio laboratorial (valores de condutividade mais elevados e resistividade mais reduzida nas amostras com maior dopagem em As). A principal razão apontada para essa diferença relacionou-se com as diferentes formas químicas do arsénio (As) presente em campo (ligado aos óxidos de ferro (Fe) amorfos e cristalinos) e o adicionado às amostras a partir de um padrão sintético de 1000 ppm (forma solúvel). Os resultados, apesar de não muito conclusivos, abriram espaço para a possibilidade de utilização de métodos geofísicos para auxílio de prospecção geoquímica e posterior determinação de alguns parâmetros geoquímicos, tais como a especiação de metais, tendo no entanto estes ensaios de ser realizados com amostras da mesma época e amostras que acompanhem o traçado do perfil geofísico e não com amostras recolhidas em épocas distintas e na proximidade do perfil geofísico, como foi o caso em estudo devido principalmente à impossibilidade de recolha de novas amostras. Contudo este representou um ensaio exploratório, constituindo uma primeira aproximação ao tema.

O ensaio laboratorial de injeção de nanopartículas de ferro zero valente teve como principal objectivo testar o comportamento *in situ* desta técnica de remediação.

Relativamente a este, concluiu-se, de acordo com todo o procedimento e características necessárias à sua utilização anteriormente descritas, que a injeção de nZVI não corresponderá à técnica mais viável para a descontaminação da área em estudo, podendo ser ainda colocada a hipótese da utilização de ZVI como material de enchimento de barreiras reactivas permeáveis mas em escala granular. A elevada reactividade e, por sua vez rápida perda da mesma das partículas à escala nano assim como a ocorrência na área de elevados teores em metais com comportamentos geoquímicos distintos e interferentes entre si e a baixa permeabilidade dos materiais sedimentares influenciaram directamente os resultados obtidos neste ensaio.

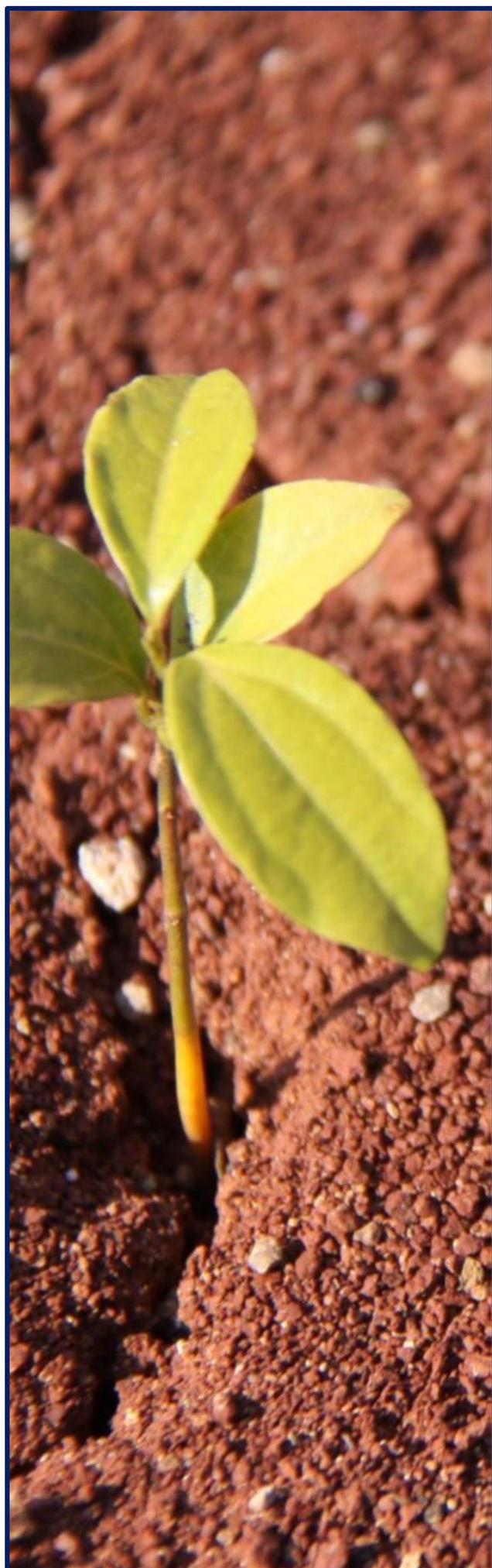
Tendo em conta todos os resultados obtidos (teores elevados em diversos elementos químicos contaminantes, profundidade a que ocorrem, principais contaminantes em cada área, fases minerais a que se encontram ligados e o ensaios de lixiviação realizado para compreender o potencial de ressuspensão e a contaminação a que esta ressuspensão se associa, assim como a capacidade do sistema de se autodepurar) e as dilações retiradas da sua discussão, a remediação/recuperação da área em estudo não será simplificada apenas com a aplicação de uma técnica de remediação isolada.

Assim, de forma ideal, para que o processo de recuperação ambiental da área consista num solução eficaz e não meramente temporária, o impedimento da migração de elementos tóxicos para o rio São Francisco passa obrigatoriamente pela cessação de qualquer fonte de poluição da área, sejam estas directas ou indirectas, por erosão de áreas contaminadas.

Após a cessação de qualquer fonte de poluição, o processo de recuperação/remediação da área, segundo a proposta apresentada, passaria pela prevenção da contaminação no córrego Consciência mediante retenção do material sedimentar transportado e a regularização das vertentes na área evitando que na época das chuvas episódios de enxurrada e acarreo de elevados volumes de materiais sedimentares, contaminados ou não, se deslocassem em direcção ao córrego. Esta solução só poderá ser conseguida através da aplicação de degraus no interior do canal. Após a prevenção da contaminação no córrego Consciência, a remediação do mesmo seria o próximo passo propondo-se a regularização do canal por remoção de sedimentos, impermeabilização do leito do córrego com geotêxtil ou uma camada argilosa impermeável e estabilização das margens, podendo recorrer-se a métodos de Engenharia Natural. A remediação da área não ficaria completa sem que se realizasse remediação a nível das águas que circulam nas planícies aluvionares, onde se verificaram os níveis mais elevados de metais potencialmente tóxicos. Para tal, propõem-se técnicas de remediação *in situ*, que não exijam trabalhos de escavação, manuseamento, transporte e disposição de elevadas quantidades de material contaminado. Sugere-se portanto a instalação de uma barreira reactiva permeável próxima à zona de descarga para o rio São Francisco, tendo como objectivo a remoção dos contaminantes da água à medida que esta a atravessa e impedindo a sua chegada ao rio São Francisco. Para as aluviões sugere-se a decapagem de uma pequena camada superficial, instalação de uma camada permeável e posterior cobertura com solo vegetal e revegetação. Na zona aluvionar sugere-se ainda a aplicação de *flushing* com água durante a época seca, solubilizando a fracção solúvel e canalizando-a para a barreira reactiva permeável.

10 Referências

Bibliográficas



Referências

- Adamo, P., Zampella, M., Gianfreda, L., Renella, G., Rutigliano, F. A., Terribile, F. (2006) - *“Impact of river overflowing on trace element contamination of volcanic soils in south Italy: Part I. Trace element speciation in relation to soil properties.”* Environmental Pollution, 144, 1, pp. 308-316.
- Alloway, B. J. (1993) - *“Heavy Metals in soils.”* Blackie, Glasgow and London, 339 p.
- Andrade, M. L. A., Cunha, L.M.S., Vierira, J. R. M. & Oliveira, E.F. (1998) – *“Zinco Área de Operações Industriais”* – Mineração e Metalurgia. 33 p.
- Azevedo, F. A., Chasin, A.A. M. (2003) - *“Metais: gerenciamento da toxicidade.”* São Paulo, Editora Atheneu, 554 p.
- Baird, C. (2002) - *“Química Ambiental.”* 2ªed, Porto Alegre, Bookman, pp. 403-441.
- Batista, A. A. M., Ribeiro, M. Q. C., Macedo, A. T. M., Tonidandel, D. (2008) – *“Parecer Técnico GEDIN N° 00107 /2008: Barragem Murici.”* FEAM.
Em:http://www.semad.mg.gov.br/images/stories/urcparaopeba/3reunia/42_votorantim_pt_pdf
(consultado a 28.04.2016).
- Behrens, S. H., Christl, D. I., Emmerzael, R., Schurtenberger, P., Borkovec, M. (2000) – *“Charging and aggregation properties of carboxyl latex particles: Experiments versus DLVO theory.”* Langmuir, 16, 6, pp. 2566-2575.
- Benilde M., Santos Oliveira J. F. (2004) – *“Qualidade da Água para Consumo Humano.”* Editora: LIDEL 178 pp. – 626 p.
- Birke V., Burmeier H., Rosenau D. (2003) - *“Design, controction and operation of tailored permeable reactive barreiars”* Practice Perodical of Hazardous, Toxic and Radioactive Management., 4ed: Vol 7, pp. 264-20.
- Birke V. et al (2005) - *“The German Permable Reactive Barrier (PRB) Network 'RUBIN': temporary overall results and lessons leraned after yeares of work”* ConSoil, Burdeaux, pp. 2865-2887.
- Birke V., Wegner M., (2006) - *“An introduction to permeable reactive barriers (PBR).”* - power point presentation.
- Blowes, D. W., Ptacek, C. J., Benner, S. G., McRae, C. W., Bennett, T. A., & Puls, R. W. (2000) – *“Treatment of inorganic contaminants using permeable reactive barriers.”* Journal of Contaminant Hydrology, 45, 1, pp. 123-137.

Branco, S. M. (1992) - “*Aspetos Institucionais e Legais do Controle da Poluição*”, in: Porto, R.L.L. *et al.*, (Org.) Hidrologia Ambiental, São Paulo, Brasil: ABRH/EDUSP, pp. 349-373.

Bronstein, K. (2005) – “*Permeable reactive barriers for inorganic and radionuclide contamination.*” U.S. Environmental Protection Agency, 63p.

Brown, G., Brindley, G. W. (1980) – “*X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*”, 5, pp.305-359.

BRATTLI, B. (1997) – “*A rectorite-pyrophyllite-chlorite-illite assemblage in pelitic rocks from Colombia.*” Clay Minerals, Journal of the European Clay Groups, Mineralogical Society, 32 (3), pp. 425 - 434.

Bolle, J. N., Martin, H., Sondag, F., Cardoso Fonseca, E. (1988) – “*Selective chemical extraction of uranium from mineral, soil and stream sediment samples at Horta da Vilariça.*” Northeastern Portugal. Uranium, 4, 4, pp. 327-340.

Burt, R., Wilson, M. A., Keck, T. J., Dougherty, B. D., Strom, D. E. e Lindahl, J. A. (2003) - “*Trace element speciation in selected smelter-contaminated soils.*” in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA. Advances in Environmental Research. 8 (1): pp. 51-67.

Cantrell, K. J., Kaplan, D. I., & Wietsma, T. W. (1995) – “*Zero-valent iron for the in situ remediation of selected metals in groundwater.*” Journal of Hazardous Materials, 42, 2, pp. 201-212.

Cappuyns, V., Swennen, R. e Nicolaes, M. (2007) - “*Application of the BCR sequential extraction scheme to dredged pond sediments contaminated by Pb-Zn mining: A combined geochemical and mineralogical approach.*” Journal of Geochemical Exploration. 93: pp. 78-90.

Cardozo, D., Galdi, R., Seminara, W. J. (2002) – “*Zinco e a sua aplicação na indústria da Borracha.*” Dissertação em Engenharia Química, Universidade Bandeirante de São Paulo, São Bernardo do Campo.

Carvalho, G. (2008) - “*Determinação preliminar de parâmetros construtivos de barreiras reactivas permeáveis com recurso a colunas para remediação de crómio com ferro zerovalente.*” Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), (Porto, Portugal), 189 p.

Cavacundo O. (2015) - “*Tomografia de Refração Sísmica e de Resistividade Elétrica aplicadas à estimativa e caracterização de volumes de sedimentos contaminados por metais pesados. O caso do Córrego Consciência.*” Dissertação de Mestrado, Ciências e Tecnologias da Terra e da Atmosfera e do Espaço, Universidade de Évora, Portugal, 152p.

CHAMLEY, H. (1971) – “*Recherches sur la Sédimentation Argileuse en Mediterranée*”. Univ. Louis Pasteur en Strasbourg, Institut de Géologie, Mémoire n° 35.

Chao, T.T. (1972) – “*Selective dissolution of manganese oxides from soils and sediments with acidified hydroxylamine hydrochloride.*” Soil Science Society of America Journal 36, pp. 764 - 768.

Chen, M., Ma, L.Q. (2001) - “*Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils.*” Soil Science Society of America Journal 65, pp. 491–499.

Cheng-Xiu, L., Jie-Min, C. (2011) - “*Speciation of heavy metals in the sediments from different eutrophic lakes of China.*” Procedia Engineering, 18, pp. 318-323.

Chiavegatto, J. R. S. (1992) - “*Análise Estratigráfica das Sequências Tempestíticas da Formação Três-Marias (Proterozóico Superior) na porção meridional da Bacia do São Francisco.*” Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geociências da UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais 216 p.

Chunming S., Puls R. W. (2001) - “*Arsenate and Arsenite by Zerovalent Iron: Kinetics, redox Transformation, and Implications for in situ Groundwater Remediation*” Environmental Science & Technology, American Society, Vol. 35, pp. 1487-1492.

CityChlor (2013) – “*In Situ Chemical Reduction using Zero Valent Iron injection - A technique for the remediation of source zones.*”, Veerle Labeeuw, 104 p.

Conca, J. L., and Wright J. (2006) - “*An Apatite II Permeable Reactive Barrier to Remediate Groundwater Containing Zn, Pb, and Cd.*” Applied Geochemistry 21(8): pp. 1288–300.

Conca, J., E. Strietelmeier, N. Lu, S. D. Ware, T. P. Taylor, J. Kaszuba, and J. V. Wright. (2002) - “*Treatability Study of Reactive Materials to Remediate Groundwater Contaminated with Radionuclides, Metals, and Nitrates in a Four-Component Permeable Reactive Barrier,*” pp. 221– 52 in “*Handbook of Groundwater Remediation of Metals, Radionuclides, and Nutrients, with Permeable Reactive Barriers.*”, D. L. Naftz, S. J. Morrison, J. A. Davis, and C. C. Fuller, eds. San Diego: Academic Press/Elsevier Science.

Conca, J. L. (1997) – “*Phosphate-Induced Metal Stabilization (PIMS).*” Final Report #68D60023 to the U.S. Environmental Protection Agency.

CONAMA (2012) – Resoluções do CONAMA: Resoluções vigentes publicadas entre Setembro de 1984 e Janeiro de 2012. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 1125 p.

Conflitos Ambientais Minas Gerais. – “*Luta contra a poluição provocada por barragens de rejeitos operadas pela Votorantim Metais.*”

Em: <http://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/conflito/?id=194> (consultado a 20.04.2016).

Conflitos Ambientais Minas Gerais. – “*Luta contra a poluição e mortandade de peixes no rio São Francisco em Três-Marias.*”

Em: <http://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/conflito/?id=197> (consultado a 20.04.2016).

Constituição da República Federativa do Brasil (1988) - Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 05 Outubro de 1988.

Costa, M. (1998) - “*Carcinogenic metals.*” Science Progress, 91, n.4, pp. 329-339.

Costa, R. D., Knauer, L. G., Prezotti, F. P. S., Paula, F. L., Duarte, F. T., Teixeira, L. F. (2011) – “*Mapa Geológico folha Três-Marias*” - SE.23-Y-B-III Escala 1:100.000. Ministério de Minas e Energia, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.

COPAM (2011) – Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de Junho de 2011. Conselho Estadual de Política Ambiental, 5 p.

C. Pinho, R. Fonseca, L. Martins, N. Dias, (2014) - “*Avaliação geoquímica de ambientes contaminados pela extração mineira em duas distintas regiões geológicas e climáticas.*” Comunicações Geológicas (2014) 101, Especial II, 1043-1046, ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X, LNEG. <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/>

C. Pinho, R. Fonseca, (2014) - “*Avaliação e caracterização da contaminação de sedimentos, solos e aluviões em clima tropical, na envolvente de uma unidade de processamento de metais pesados: resultados preliminares de um projecto de remediação do córrego Consciência, bacia do rio São Francisco, MG, Brasil.*” livro de actas do Workshop em Ciências da Terra e do Espaço 2015, Ed. Ed. Bento Caldeira e Maria João Costa. Fev. 2014, 65-74, ISBN: 978-989-98836-1-1.

Crane, R.A., Scott, T.B. (2012) - “*Nanoscale zero-valent iron: Future prospects for an emerging water treatment technology*”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 211– 212, pp. 112– 125.

Cullen, L. G., Tilston, E. L., Mitchell, G. R., Collins, C. D., Shaw, L. J. (2011) – “*Assessing the impact of nano-and micro-scale zerovalent iron particles on soil microbial activities: particle reactivity interferes with assay conditions and interpretation of genuine microbial effects.*” Chemosphere, 82, 11, pp. 1675-1682.

Cyrus, J. S., G. B. Reddy, and D. Forbes, (2008) - “*Removal of Nitrogen in Swine Wastewater Using Zeolites.*”, Paper 59-7, presented at the Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM.

Danny R., Tomas L. (2006) – “*Assessment and Remediation of Contaminated Sediments.*” Publicado pela Springer Series IV: Earth and Environmental Sciences – Vol. 73 pp. 27-34

Davidson, C. M., Hursthouse, A.S., Tognarelli, D. M., Ure, A. M. e Urquhart, G. J. (2004) - “*Should acid ammonium oxalate replace hydroxylammonium chloride in step 2 of the revised BCR sequential extraction protocol for soil and sediment.*” *Analytica Chimica Acta.* 508 (2): pp. 193–199.

Day S. R., O'Hannesin S. F., Marsden L., (1999) - "*Geotechnical techniques for the construction of reactive barriers*" *Journal of Hazardous Materials.* – Elsevier 3^aed: Vol 67.

Decreto-lei N° 6.938, de 31 de Agosto de 1981 - “*Política Nacional do Meio Ambiente*”. Diário Oficial da República Federal do Brasil, Brasília, 31 de Agosto de 1981.

DeLaune, R. D., Reddy, K. R. (2005) – “*Redox Potential. In Encyclopedia of Soils in the Environment.*” D. Hillel (ed.), Elsevier pp. 366-371.

Dias, A. J. (2004) – “*A análise sedimentar e os conhecimentos dos sistemas marinhos*” (versão preliminar).

Dias, N. (2014) – *Estudo Biogeoquímico e Estratégias de Recuperação de Solos com Teores Críticos de Metais Pesados, sob a Influência de uma Unidade de Tratamento Metalúrgico, nas Bacias de Drenagem de Dois Afluentes do Rio São Francisco (Minas Gerais, Brasil).*” Tese de Mestrado em Ciências e Tecnologias da Terra, da Atmosfera e do Espaço, Universidade de Évora, Évora.

DIAS, N., FONSECA, R., MARTINS, L., ARAÚJO, A., PINHO, C. (2014) – “*Preliminary evaluation and characterization of soils contamination in the vicinity of a metallurgical plant in a tropical climate, Minas Gerais, Brazil. Comunicações Geológicas*” (2014) 101, Especial II, 981-985. ISSN: 0873-948X; E-ISSN: 1647-581X.

Dickinson, M., & Scott, T. B. (2010) – “*The application of zero-valent iron nanoparticles for the remediation of a uranium-contaminated waste effluent.*” *Journal of Hazardous Materials,* 178, 1, pp. 171-179.

Evangelou, M. W. H., Ebel, M. and Schaeffer, A. (2007) - “*Review: Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil. Effect mechanism, toxicity and fate of chelating agents.*” *Chemosphere.* Vol. 68: pp. 989–1003.

Evanko, C. R., Dzombak, D. A. (1997) - “*Remediation of metals-contaminated soils and groundwater.*” Ground-water remediation technologies analysis center, 53 p.

Federal Remediation Technologies Roundtable (2016) –

Em: <http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4-4.html> (consultado a 02.04.2016).

Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR) – Em: <https://frtr.gov/> (consultado a 23.01.2017).

Fernandes, J. P. A., Freitas, A. R. M. (2011) – “*Introdução à Engenharia Natural. Volume II.*”

EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. Em: https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/3756/1/Livro_Engenharia_Natural_A5.pdf

(consultado a 26.01.2017)

Fernández, E., Jiménez, R., Lallena, A. M., Aguilar, J. (2004) - “*Evaluation of the BCR sequential extraction procedure applied for two unpolluted Spanish soils.*” *Environmental pollution*, 131, 3, pp. 355-364.

Fia, R., Frizzarim, S. S., Fia, F. L. R. (2013) – “*Análise Qualitativa de Poluentes na Água das Chuvas em Lavras – MG (Minas Gerais).*” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.18, n.2, pp. 269-278.

Fiedor, J. N., Bostick, W. D., Jarabek, R. J., & Farrell, J. (1998) – “*Understanding the mechanism of uranium removal from groundwater by zero-valent iron using X-ray photoelectron spectroscopy.*” *Environmental science & technology*, 32, 10, pp. 1466-1473.

Fiore, S., and M. C. Zanetti. (2009) - “*Preliminary Tests Concerning Zero-Valent Iron Efficiency in Inorganic Pollutants Remediation*”, *American Journal of Environmental Sciences* 5(4): pp. 555–60.

Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957) – “*Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters.*” *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 27, nº 1, pp. 3-26.

FONSECA, R.; ARAÚJO, A. MARTINS, L., DIAS, N.; GOMES, C., MATOS, J. (2015) – “*Environmental impact assessment of a metal alloy production plant on the water quality of a tributary of the largest Brazilian river (São Francisco River).*” DGT Conference 2015. From DGT Research to Environmental Assessment. 28th September – 1st October, San Sebastián, Spain.

Fonseca, R., Araújo, A., Martins, L., Dias, N., Pinho, C., Carneiro, J., Cavacundo, O., Borges, J., Caldeira, B., Matos, J., Costa, I., Ferreira, A. (2015) - “*Estratégia de remediação dos córregos*

Consciência e Barreiro Grande – 2ª Fase”, Projecto de consultadoria celebrado entre a Universidade de Évora e a empresa brasileira Votorantim Metais S.A.

Fonseca, R., Barriga, F. and Tazaki, K. (2007) – “*Land erosion and associated evolution of clay minerals assemblages from soils to artificial lakes in two distinct climate regimes in Portugal and Brazil. Clay Minerals*”, Journal of the European Clay Groups, Mineralogical Society, 42(2), pp. 153-171.

FONSECA, R., HERNANDÉZ, R., PINTO, A.P., ARAÚJO, A., PINHO, C. (2014) - “*Geochemical study of the rehabilitation of a shallow anoxic reservoir, in volcanic terrains, under semi-arid climate, in Cape Verde Archipelago.*” Comunicações Geológicas (2014) 101, Especial II, 997-1000, ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X. <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185>

Fonseca, R., Janeiro, A.I., Pinho, C., Araújo, A. (2016) - “*Application of nanotechnology in environmental remediation: use of nanoparticles of zero valent iron (nZVI) in contaminated materials*”. Resumo aceite para apresentação em congresso - 3º CoGePlip - Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa (29 de Novembro a 4 de Dezembro - Cabo Verde).

Förstner, U. (1989) - “*Contaminated Sediments.*” Springer-Verlag, Berlim. Lecture notes in Earth Sciences, v. 21. 157 p.

França, A. C. M. (2011) – “*Levantamento florístico e características anatómicas de espécies nativas do Cerrado em solos contaminados por metais pesados.*” Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, Lavras (Minas Gerais, Brasil), 112 p.

Fuente, A. (2011) - “*Fenomenologia e Modelação da Acção de Barreiras Reactivas Permeáveis de Ferro Elementar Microgranulado sobre a Água Contaminada com Crómio (VI)*” Dissertação de doutoramento em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Portugal, 249 p.

Fuller, C. C., Bargar, J. R., Davis, J. A., and Piana, M. J. (2002) - “*Mechanisms of Uranium Interactions with Hydroxyapatite: Implications for Groundwater Remediation,*” Environmental Science and Technology 36(2): pp. 158–65.

Galvão, A. S., Nobre, M. M., & Nobre, R. C. (2004) - “*A permeable reactive barrier to control mercury contamination in groundwater.*” Fourth Internacional Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, Monterey - CA USA.

Gaudino, S., Galas, C., Belli, M., Barbizzi, S., Zorzi, P., Jadimovid, R., Jeran, Z., Pati, A., Sansone, U. (2007) – “*The role of different soil sample digestion methods on trace elements*

analysis: a comparison of ICP-MS and INAA measurement results.” Accreditation and Quality Assurance 12, pp. 84–93.

Gavaskar A. *et al* (2000) - "*Design Guidance for application of permeable reactive barriers for groundwater remediation.*" BATTELLE.

Geiger, C. L. *et al.*, (2002) - "*Ultrasound pretreatment of elemental iron: kinetic studies of dehalogenation reaction enhancement and surface effects*" Water Research, Pergamon - Vol. 36 pp. 1342-1350.

Gillham, R. W. (2003) – "*Discussion of Papers/Discussion of Nano-Scale Iron for Dehalogenation.*" Groundwater Monitoring & Remediation, 23, 1, pp. 6-8.

Golab A.N., Peterson M.A., Indraratna B. (2006) - "*Selection of potential reactive materials for a permeable reactive barrier for remediating acidic groundwater in acid sulphate soil terrains*" Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Geological Society of London, Vol. 29, pp. 209-223.

Golder Associates (2007a) – "*Diagnóstico Geoquímico da Área Industrial da Votorantim Metais - Unidade Três-Marias.*" Golder Associates Brasil Consultoria e Projectos Ltda.

GOMES, C.F. (1988) – "*Argilas. O que são e para que servem.*" Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 457 pp.

Gonçalves, A. D. M. D. A., Libardi, P. L. (2013) – "*Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo.*" Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37, 5, pp. 1174-1184.

Greenhouse, J.P. (1996) - "*Aplicações de Metodologias Geofísicas em Estudos Ambientais e Geotécnicos*". CEA/UNESP Rio Claro, 111pp.

Guan X., Sun, Y., Qin, H., Li, J., Lo, I. M. C., He, D., Dong, H. (2015) – "*The limitations of applying zero-valent iron technology in contaminants sequestration and the corresponding countermeasures: The development in zero-valent iron technology in the last two decades (1994-2014).*" Review, Water Research, 75, pp. 224-248.

Gu, B., Liang, L., Dickey, M. J., Yin, X., & Dai, S. (1998) – "*Reductive precipitation of uranium (VI) by zero-valent iron.*" Environmental Science & Technology, 32, 21, pp. 3366-3373.

Harada, M., Nakanishi, J., Konuma, S., Ohno, K., Kimura, T., Yamaguchi, H., *et al.* (1999) - "*The present mercury contents of scalp hair and clinical symptoms in inhabitants of the Minamata area.*" Environ. Resp., 77, n°2, pp. 160-164.

Hiemenz PC. Rafagopalan R. (1997) - "*Principles of Colloid and Surface Chemistry*" CRC Press. Boca Raton, FL, USA.

HILLIER, S. (1995) – "*Erosion, sedimentation and sedimentary origin of clays In: Velde, B. (Ed.) - Origin and Mineralogy of Clays.*" Clays and the Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 162-219.

HILLIER, S.; FALLICK, A.E. & MATTER, A. (1996a) – "*Origin of pore-lining chlorite in the aeolian Rotliegend of Northern Germany.*" Clay Minerals, Journal of the European Clay Groups, Mineralogical Society, 31 (2), pp. 153 - 171.

HILLIER, S.; SON, B.K. & VELDE, B. (1996b) – "*Effects of hydrothermal activity on clay mineral diagenesis in Miocene shales and sandstones from the Ulleung (Tsushima) Back-Ark basin, East Sea (Sea of Japan), Korea.*" Clay Minerals, Journal of the European Clay Groups, Mineralogical Society, 31 (1), pp. 113-126.

Hooda, P. S. (2010) – "*Trace elements in soils.*" Chichester: Wiley, 596 p.

Hong, S., Candelone, J.P., Patterson, C.C., Boutron, C.F. (1996) - "*History of ancient copper smelting pollution during roman and medieval times recorded in Greenland ice.*" Science, 272(5259), pp. 246-249.

Hosseini, S. M., Ataie-Ashtiani, B., Kholghi, M. (2011) – "*Nitrate reduction by nano-Fe/Cu particles in packed column.*" Desalination, 276, 1, pp. 214-221.

Hursthouse, A.S. (2001) - "*The relevance of speciation in the remediation of soils and sediments contaminated by metallic elements – an overview and examples from central Scotland*", UK. Journal of Environmental Monitoring, 3(1), pp. 49-60.

Iglesias, M., Uhlein, A. (2009) – "*Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais.*" Revista Brasileira de Geociências, 3, 2, pp. 256-266.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia.

Em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> (consultado a 29.04.2016).

Iregren, A. (1999) - "*Manganese neurotoxicity in industrial exposure. Proof of effects, critical exposure level and sensitive test.*" Neurotoxicity, 20, nº2-3, pp. 315-323.

ITRC. (2011a) – "*Green and Sustainable Remediation: State of the Science and Practice.*" GSR-1. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Green and Sustainable Remediation Team. www.itrcweb.org.

ITRC. (2011b) – “*Project Risk Management for Site Remediation.*” RRM-1. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Remediation Risk Management Team. www.itrcweb.org.

ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council) (2011) – “*Permeable Reactive Barrier: Technology Update.*” PRB-5. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, PRB: Technology Update Team.

Jennifer G., Savoie, Douglas B., Kent, Richard L., Smith, Denis R., LeBlanc, U.S. Geological Survey, and David W. Hubble (2004) - “*Changes in Ground-water quality near two granular-iron permeable reactive barriers in a sand and gravel aquifer, cape cod, Massachusetts, 1997-2000.*”, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.

Johnson, R. L. et al., (2008) - “*Field Evidence for Flow Reduction through a Zero-Valent Iron Permeable Reactive Barrier*” Ground Water Monitoring & Remediation, Wiley-Blackwell - 3: Vol. 28. pp. 47-55.

Kabata-Pendias, A. (2001) - “*Trace elements in soils and plants.*” CRC press, 3^aed.

Kelley, C. (1999) - “*Cadmium therapeutic agents.*” Curr. Pharm. Des, 5, n^o 4, pp. 229-240.

Khan, F. I., Husain, T., Hejazi, R. (2004) - “*An overview and analysis of site remediation technologies.*” Journal of Environmental Management, 71, pp. 95-122.

Krajangpan, S., Jarabek, L., Jepperson, J., Chisholm, B., Bezbaruah, A., April (2008) - “*Modification of iron nanoparticles by amphiphilic polysiloxane graft copolymer for arsenic, TCE, and RDX remediation*” Report as of USGS FY 2008 from 2008 ND164B.

Kwon, Y. T., Lee, C. W. (1998) – “*Application of multiple ecological risk indices for the evaluation of heavy metal contamination in a coastal dredging area.*” The Science of the Total Environment, 214, pp. 203-210.

Lanna, A. E. (2004) - “*A Inserção da Gestão das Águas na Gestão Ambiental*”, in: “*Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: Desafios da Lei de Águas de 1997; Parte 2 - Gestão dos Recursos Hídricos no Contexto das Políticas Ambientais*”.

LANL (Los Alamos National Laboratory), (2004) – “*Demonstration of a Multi-Layered Permeable Reactive Barrier in Mortandad Canyon at Los Alamos National Laboratory.*” LA-UR-03- 7320.

Lasat, M. M. (2000) – “*Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues.*” Journal of Hazardous Substance Research, v.2, 5, pp. 1-25.

- Lewis, M. A., Cheney, C. S., and Dochartaigh, B. E. (2006) – “*Guide to permeability indices.*” British Geological Survey, 20 p.
- Liang, W., Dai, C., Zhou, X., Zhang, Y. (2014) – “*Application of Zero-Valent Iron Nanoparticles for the Removal of Aqueous Zinc Ions under Various Experimental Conditions.*” PLOS ONE, Vol. 9, Issue 1.
- Li, F., Fan, Z., Xiao, P., Oh, K., Ma, X., Hou, W. (2009) - “*Contamination, chemical speciation and vertical distribution of heavy metals in soils of an old and large industrial zone in Northeast China.*” *Environmental geology*, 57, 8, pp. 1815-1823.
- Li, X. Q. and Zhang, W. X. (2007) - “*Sequestration of Metal Cations with Zerovalent Iron Nanoparticles: A Study with High Resolution X-Ray Photoelectron Spectroscopy (HRXPS)*”, *Journal of Physical Chemistry* 111(19): pp. 6939–46.
- Li, X., Elliott, D. W., Zhang, W. (2006) – “*Zero-Valent Iron Nanoparticles for Abatement of Environmental Pollutants: Materials and Engineering Aspects.*” *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 31, pp. 111–122.
- Liu Z., Edwards D. A., and Luthy R. G. (1992) - “*Water Res*”, 26(10):1337 p.
- Longstaffe, F. J. (1981) – “*Clays and the resource geologist: a short course.*”
- LOPEZ GALINDO, A.; TORRES RUIZ, J. & GONZALEZ LOPEZ, J.M. (1996) – “*Mineral quantification in sepiolite-palygorskite deposits using X-ray diffraction and chemical data.*” *Clay Minerals, Journal of the European Clay Groups, Mineralogical Society*, 31 (2), pp. 217 - 224.
- Loke, M.H., (2001) - Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. *Geoelectrical*.
- Lourenço, E. S. (2006) - “*Avaliação físico-química da remediação de solos contaminados por BTEX.*” Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- Lu, A., Zhang, S., Shan, X., Wang, S., Wang Z. (2003) - “*Application of microwave extraction for the evaluation of bioavailability of rare earth elements in soils.*” *Chemosphere*. 53: pp. 1067-1075.
- Ludwig, R. D., D. J. A. Smyth, D. W. Blowes, L. E. Spink, R. T. Wilkin, D. G. Jewett, and C. J. Weisener. (2009) - “*Treatment of Arsenic, Heavy Metals, and Acidity Using a Mixed ZVI Compost PRB,*” *Environmental Science and Technology* 43: pp. 1970–1976.
- Ludwig, R. D., R. G. McGregor, D. W. Blowes, S. G. Benner, and K. Mountjoy. (2002) - “*A Permeable Reactive Barrier for Treatment of Heavy Metals,*” *Ground Water* 40(1): pp. 59–66.

- Ma, Y. B., Uren N. C. (1998) - “*Transformations of heavy metals added to soil — application of a new sequential extraction procedure.*” *Geoderma*. 84 (1-3): pp. 157-168.
- Macêdo, J. A. B. (2002) - “*Introdução à Química Ambiental*”- Juiz de Fora – MG (Minas Gerais) 1ed. 487p.
- Macklin, M.G. (1992) - “*Metal contaminated soils and sediment: a geographical perspective.*” in Newson M.D. (Ed), “*Managing the human impact on the natural environment: patterns and processes.*” London:Belhaven press. Cap.9. pp. 172-195.
- Manahan, S. E. (1993) - “*Environmental Chemistry*” 7ed. Lewis Publishers. Londres. pp. 374-475.
- Manap, N., Voulvoulis, N. (2014) - “*Risk-based decision-making framework for the selection of sediment dredging option.*” *Science of the Total Environment*, 496, pp. 607 – 623.
- Marinho, A. O. T., Abreu, A. V., Pol, A., da Costa, A. L., Costa, D. A. A., Ramos, D. B. S. A., do Nascimento, F. S., Eccard, G. H. A., Meyer, G., Christofidis, H. V., Rezende, J. A., André, M. A. S., Neves, M- J. M., Neto, P. B. S., Coimbra, R. M., Mattioli, R. L., Souza, R. S., Vendruscolo, S., Vieira, V. M., Alves, V. P. (2006) - “*Caderno da região hidrográfica do São Francisco. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos.*” – Brasília: MMA, 148 p.
- Markham, A. (1995) - “*A brief history of pollution.*” London: Earthscan Publications, 162 p.
- Marques, A. P. G. C., Rangel, A. O. S. S., Castro, P. M. L. (2009) - “*Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Phytoremediation as a Potentially Promising Clean-Up Technology.*” *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v.39, pp. 622 – 654.
- MARTIN-GARCIA, J.M.; DELGADO, G.; SANCHEZ-MARANON, M.; PARRAGA, J.F. & DELGADO, R. (1997) – “*Nature of dioctahedral micas in Spanish red soils.*” *Clay Minerals, Journal of the European Clay Groups, Mineralogical Society*, 32 (1), pp. 107 - 121.
- Martins, L. (2014) - “*Avaliação geoquímica do impacto da dragagem de sedimentos de uma linha de água com elevadas concentrações de metais pesados, em clima tropical seco.*” Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologia da Terra, da Atmosfera e do Espaço. Especialização: Reabilitação de Ambientes Degradados, Universidade de Évora, (Évora, Portugal), pp. 434.
- MARTINS, L., FONSECA, R., DIAS, N., ARAÚJO, A., PINHO, C. (2014) - “*Evaluation of sediments contamination under tropical climate: Preliminary characterization of the contamination in the vicinity of a processing plant of heavy metals, Minas Gerais, Brazil.*” *Comunicações Geológicas* (2014) 101, Especial II, 1023-1026, ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X. <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185>.

- McBride, M. B. (1994) – “*Environmental chemistry of soils.*” Oxford University Press, New York, 416 p.
- McCloskey, A. L. (2007) – “*Permeable Treatment Wall Effectiveness Monitoring, Nevada Stewart Mine Site, Mine Waste Technology Program, Activity III, Project 39 Final Report.*” EPA/600/R-06/153. U.S. Environmental Protection Agency.
- McGinley S. (2003) – “*Remediating Soil and Groundwater Contamination.*” Agricultural Experiment Station Research Report. The University of Arizona College of Agriculture and Life Sciences, 5p.
- McMANUS, J. (1988) – “*Grain size determination and interpretation*” in: Tucker, M (Ed.) – “*Techniques in Sedimentology*”, Blackwell Scientific Publications, pp. 63-85.
- Milson, John., (2003) – “*Field Geophysics third edition.*” John Wiley and Sons Ltd. Chichester.
- Mohan, D., C. U. Pittman. (2007) - “*Arsenic Removal from Water/Wastewater Using Adsorbents – A Critical Review.*” Journal of Hazardous Materials 142(1–2): pp. 1–53.
- Moore, D. M., Reynolds, R. C. (1989) – “*X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*”, (Vol. 378). Oxford: Oxford university press.
- Moschini-Carlos, V., Nishimura, P. Y., Pompêo, M. (2011) – “*A Importância e Problemática das Cianobactérias nos Reservatórios Eutrofizados.*” Saneas, 40, pp. 14-18.
- Mozeto, A. A., Nascimento, M. D., Silva, E. F. A., Fioravanti, M. I. A. (2007) – “*Avaliação da contaminação por metais e metalóides (água, sedimento e peixe) no Rio São Francisco em Três-Marias (MG-Brasil): projecto de pesquisa participativa com a comunidade local.*” Relatório Final Técnico-Científico. Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos. Em:<http://worldfish.org/PPA/PDFs/SemiAnnual%20VII/E6b%20UFSCar%20Metals%20Project%20Technical%20Report-%20port.pdf> (29.04.2016).
- Müeller, N. C., Nowack, B. (2010) – “*Nano zero valent iron – The solution for water and soil remediation?*” Report of the ObservatoryNANO, 32 p.
- Mulligan, C. N., Yong, R. N., Gibbs, B. F. (2001) - “*An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments.*” Journal of Hazardous Materials, 85, pp. 145-163.
- Murphy, J., Riley, J. P. (1962) – “*A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters.*” Analytica Chimica Acta, n.27, pp. 31-36.
- MOORE, D.M. & REYNOLDS, R.C. (1997) – “*X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals.*” Oxford University Press, Oxford, New York.

Naftz, D. L., Fuller, C. C., Davis, J. A., Morrison, S. J., Felcorn, E. M., Freethey, G. W., Rowland, R. C., Wilkowske, C., Piana, M. J. (2002) - “*Field Demonstration of Three Permeable Reactive Barriers to Control Uranium Contamination in Groundwater, Fry Canyon, Utah,*” pp. 402–35 in “*Handbook of Groundwater Remediation Using Permeable Reactive Barriers: Applications to Radionuclides, Trace Metals, and Nutrients.*”, D. L. Naftz, S. J. Morrison, J. A. Davis, and C. C. Fuller, eds. San Diego: Academic Press/Elsevier Science.

Nanoiron Future Technology, (2016) - <http://www.nanoiron.cz/en/nanofer-25s> (consultado a 30.06.2016).

Nanoiron Future Technology, (2016) - <http://www.nanoiron.cz/en/ground-water-remediation> (consultado a 30.06.2016).

Neculita, C. M., Zagury, G. J., Bussière, B. (2007) - “*Passive Treatment of Acid Mine Drainage in Bioreactors Using Sulphate-Reducing Bacteria: Critical Review and Research Needs,*” *Journal of Environmental Quality* 36: pp. 1–16.

Newson, M. (Ed.) (1992) - “*Managing the human impact on the natural environment: Patterns and Processes.*” London, Belhaven Press. Cap.2, pp. 14-36.

Nriagu, J.O. (1996) - “*A History of Global Metal Pollution*”. *Science*, 272(5259), pp. 223-224.

Noubactep, C., Caré, S., Crane, R. (2012) – “*Nanoscale Metallic Iron for Environmental Remediation: Prospects and Limitations.*” *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, pp. 1363–1382.

Nurmi, J. T., Tratnyek, P. G., Sarathy, V., Baer, D. R., Amonette, J. E., Pecher, K., Wang, C., Linehan, J., C., Matson, D., W., Penn, R., L., Driessen, M., D. Driessen, M. D. (2005) – “*Characterization and properties of metallic iron nanoparticles: spectroscopy, electrochemistry, and kinetics.*” *Environmental Science & Technology*, 39, 5, pp. 1221-1230.

Nude, P. M., Foli, G., Yidana, S. M. (2011) – “*Geochemical Assessment of Impact of Mine Spoils on the Quality of Stream Sediments within the Obuasi Mines Environment, Ghana.*” *International Journal of Geosciences*, n.2, pp. 259-266.

O’CARROLL, D., SLEEP, B., KROL, M., BOPARAI, H., KOCUR, C. (2012) - “*Nanoscale zero valent iron and bimetallic particles for contaminated site remediation.*” *Advances in Water Resources*, In Press, Corrected Proof.

Oliveira, M. A., Horn, A. H. (2006) – “*Comparação da Concentração de Metais Pesados nas Águas do rio São Francisco em Três Marias, desde 1991 até hoje, relacionando a atuação da CMM-Três Marias.*” *Geonomos*, v.14, 1,2, pp. 55-63.

Doi: <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v14i2.110>.

Oliveira, M. R. (2007) – “*Investigação da Contaminação por Metais Pesados da Água e do Sedimento de Corrente nas margens do Rio São Francisco e tributários, a jusante da Represa da Cemig, no município de Três-Marias, Minas Gerais.*” Tese Final de Doutorado em Geologia Económica e Aplicada. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil), 150 p.

OMAFRA (2006) – “*Soil Fertility Handbook*” p. 611. “*Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs*”, 198 p.

OSPAR Commission (2009) – “*OSPAR Guidelines for the Management of Dredged Material.*”
Em:http://www.ospar.org/documents/dbase/decrecs/agreements/0904e_guidelines%20on%20dredged%20material.doc (consultado a 01.11.2016).

OSPAR Commission (2004) – “*Environmental impacts to marine species and habitats of dredging for navigational purposes.*”

Em:http://www.ospar.org/v_publications/download.asp?v1=p00208

(consultado a 05.11.2016).

Pereira, M. G., Espindula, A., Valladares, G. S., Anjos, L. H., Benites, V. M., Schultz, N. (2006) – “*Comparison of Total Nitrogen Methods Applied for Histosols and Soil Horizons with High Organic Matter Content.*” *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, n.37, pp. 939–943.

Pettijohn, E. J. (1975) – “*Sedimentary Rocks.*” Harper & Row Publishers, Harper International Edition, 3ª ed., 628 p.

Pinho, C. (2013) - “*Avaliação geoquímica de ambientes contaminados pela extração mineira, em duas distintas regiões geológicas e climáticas.*” Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica, Universidade de Évora, (Évora, Portugal), 230 p.

Pivetz, B. E. (2001) – “*Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites.*” United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Superfund Technology Support Center for Ground Water, 36 p.

Pereira, W.S., Freire, R.S. (2005) – “*Ferro Zero: Uma Nova Abordagem para o Tratamento de Águas Contaminadas com Compostos Orgânicos Poluentes*”, *Revista Química Nova*, Vol. 28, N. 1, pp. 130-136.

Powell R. M. *et al* (1998) - “*Permeable Reactive Barrier Technologies for Contaminant Remediation.*” - Washington DC: EPA US.

Pueyo, M., Lopez-Sanchez, J. F., Rauret, G. (2004) - "Assessment of CaCl_2 , NaNO_3 and NH_4NO_3 extraction procedures for the study of Cd, Cu, Pb and Zn extractability in contaminated soils." *Analytica chimica acta*, 504, 2, pp. 217-226.

Rangsvivek, R., and M. R. Jekel. (2005) - "Removal of Dissolved Metals by Zero-Valent Iron (ZVI): Kinetics, Equilibria, Processes and Implications for Stormwater Runoff Treatment", *Water Research* 39: pp. 4153–4163.

Rauret, G. (1998) - "Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment." *Talanta*, 46: pp. 449–455.

Reynolds, J. M. (1997) – "An Introduction to Applied and Environmental Geophysics." John Wiley and Sons Ltd. Chichester.

Raymond A. Wuana and Felix E. Okieimen, (2011) - "Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation", International Scholarly Research Network, ISRN Ecology Article ID 402647, 20 pages. Doi:10.5402/2011/402647

Reardon, E. J. (1995) – "Anaerobic corrosion of granular iron: Measurement and interpretation of hydrogen evolution rates." *Environmental Science & Technology*, 29, 12, pp. 2936-2945.

Reis, E., Lodolo, A., Miertus, S. (2007) - "Survey of sediment remediation technologies." International Centre for Science and High Technology. Em: <http://www.clu-in.org/download/contaminantfocus/sediments/Survey-of-sedimentremediation-tech.pdf> (consultado a 01.04.2016).

Reis, E., Lodolo, A., Miertus, S. (2007) – "Survey of sediment remediation technologies." International Centre for Science and High Technology. Em: <http://www.clu-in.org/download/contaminantfocus/sediments/Survey-of-sediment-remediation-tech.pdf> (consultado a 10.01.2017).

RES2DINV (2017) – Em: <http://www.landviser.net/content/res2dinv-2d-geophysical-inversion-software-resistivity-induced-polarization> (16.03.2017)

Resende, A. V. (2002) – "Agricultura e Qualidade da Água: Contaminação da Água por Nitrato." Planaltina: Embrapa Cerrados, 1ªed, 29 p.

R. Fonseca, C. Pinho, J. Carneiro, A. Araújo, L. Martins, N. Dias (2016 2017) - "Remediation Strategy of a Tropical Alluvial Plain Having High Levels of Potentially Toxic Metals". Resumo aceite para apresentação em conferência - 2017 Sediments Conference - January 9-12, 2017 New Orleans, Louisiana.

R. Fonseca, C. Pinho, A. Araújo, L. Martins, N. Dias (2016 2017) - "*Environmental Assessment of the Impact of Dredging Sediments from Small Stream Contaminated by Mining, in Minas Gerais Stat, Brazil*". Resumo aceite para apresentação em conferência - XIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa - Fortaleza, Brasil 2016 e 2017 Sediments Conference - January 9-12, 2017 New Orleans, Louisiana.

R. Fonseca, C. Pinho, A. Araújo, L. Martins, N. Dias (2016) - "*Mobilidade de Metais Potencialmente Tóxicos numa Área de Tratamento de Minério*". Resumo aceite para apresentação em conferência - XIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa - Fortaleza, Brasil 2016.

Ribeiro, E. V. (2010) – "*Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora-MG: Metais pesados e actividades antropogênicas*." Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil), 196 p.

Ribeiro da Costa, I., Fonseca, R., Pinho, C., Araújo, A., Martins, L., Dias, N., Janeiro, A., Freitas, G. (2016) - "*Mineralogy of contaminated soils, sediments and alluvial plains associated with Zn ore exploration near the São Francisco River, Brazil*". Em fase de publicação.

Robertson, W. D., Vogán, J. L., Lombardo, P. S. (2008) - "*Nitrate Removal Rates in a 15-Year-Old Permeable Reactive Barrier Treating Septic System Nitrate*," Ground Water Monitoring and Remediation 28(3): pp. 65–72.

Robertson, W. D., Blowes, D. W., Ptacek, C. J., Cherry, J. A. (2000) - "*Long-Term Performance of In Situ Reactive Barriers for Nitrate Remediation*." Ground Water 38(5): pp. 689–95.

Roehl K. E. *et al* (2000) - "*Long-term performance of permable reactive barriers used for the remediation of contaminated groundwater*" ETC Workshop on the protection of European Water Resources: Contaminated Sites-Landfills-Sedimentes / ed. Büsing J., Cortesi, P., Krejsa, P. & Magiorotti, P. - Venécia: PEREBAR, pp. 179-185.

Roehl K.E. *et al* (2005) - "*Long-Term Performance of Permeable Reactive Barriers*", cap.7, ELSEVIER.

Rosen MJ. (1989) - "*Surfactants and Interfacial Phenomena*", 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY, USA.

Roote, D. S. (1997) – "*In situ Flushing*." Tecnology Overview Report, Ground-water Remediation Technologies Analysis Center, 24p.

Roy, R. N., Finck, A., Blair, G. J., Tandon, H. L. S. (2006) – "*Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management*." FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, n.16.

RTDF *Permeable Reactive Barriers Action Team*, (1998) - “*Permeable reactive barrier installation profile*”. Em: URL <http://www.rtdf.org/barrdocs.htm> (consultado a 02.04.2016).

Sainz, A, Grande, J. A. e de la Torre, M. L. (2004) - “*Characterization of heavy metal discharge into the Ria of Huelva*.” *Environment International*. 30: pp. 557–566.

Sahuquillo, A., Rigol, A. e Rauret, G. (2003) - “*Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments*.” *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 22: pp. 152-159.

Salomons, W. (1995) – “*Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention*.” *Journal of Geochemical Exploration*, 52, 1, pp .5-23.

Salomons, W., Förstner, U. (1980) - “*Trace metal analysis on polluted sediments. Part II: Evaluation of environmental impact*.” *Environmental Technology Letters*, v.I, pp. 506-517.

Sander, H. (2002) – “*The porosity of tropical soils and implications for geomorphological and pedogenetic processes and the movement of solutions within the weathering cover*.” *Catena*, 49, pp. 129-137.

Santos, J. F. (2010) – “*Relatório Técnico 25: Perfil do Minério de Zinco*. Ministério de Minas e Geologia.”

Em:http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P16_RT25_Perfil_do_Minxrio_de_Zinco.pdf (consultado a 19.04.2016).

Sasaki, K., S. Nukina, W. Wilopo, and T. Hirajima. (2008) - “*Treatment of Arsenate in Acid Mine Drainage by a Permeable Reactive Barrier Bearing Granulated Blast Furnace Slag: Column Study*,” *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72: 12 p., Suppl. 1.

Shokes, T. E., & Möller, G. (1999) – “*Removal of dissolved heavy metals from acid rock drainage using iron metal*.” *Environmental Science & Technology*, 33, 2, pp. 282-287.

Shotyk, W., Weiss, D., Appleby, P.G., Cheburkin, A.K., Frei, R., Gloor, M., Kramers, J.D., Reese, S., Knaap, V.D. (1998) - “*History of atmospheric lead deposition since 12,370 14C yr BP from a peat bog, Jura Mountains, Switzerland*.” *Science*, 281(5383), pp. 1635-1640.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2004) – “*Physics for Scientists and Engineers sixth edition*.” Thomson Brooks/Cole.

Siegel, F. (2002) – “*Environmental geochemistry of potentially toxic metals*.” Springer Verlag, 218 p.

Smith, E., H. (1996) – “*Uptake of Heavy metals in Batch Systems by a Recycled Iron-Bearing Material*.” *Water Resources*, Vol. 30, no. 10, pp. 2424-2434.

Somasundaran, P., Wang. Y. H. C. (1984) - “*Surface Chemical Characteristics and Adsorption Properties of Apatite*,” in “*Adsorption in and Surface Chemistry of Hydroxyapatite*,” D. N. Misra, ed. New York: Plenum Press.

Starr R. C., Cherry J. A. (1994) - “*In situ remediation of contaminated ground water: The Funner-and-Gate System*” Ground water, Wiley-Blackwell, 3ed: Vol 32, pp. 465-476.

Tack, F. M. (2010) – “*Trace elements: General soil chemistry, principles and processes*, Blackwell Publishing Ltd.” Chippenham, UK, pp. 9-37.

Tessier, A., Campbell, P. G. C., Bisson, M. (1979) – “*Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals*.” Analytical Chemistry, 51, n.7, pp. 844-851.

THOREZ, J. (1976) – “*Practical Identification of Clay Minerals*.” A Handbook for Teachers and Students in Clay Mineralogy. Eds. G. Lelotte, 70 pp.

Tratnyek, P.G., Johnson, R.L. (2006) - “*Nanotechnologies for environmental cleanup*”, Journal of Nanotoday, Vol. 1, N. 2, pp. 44-48.

Trindade, W. M. (2010) – “*Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três-Marias e Pirapora/MG: Fatores naturais e antrópicos*.” Dissertação de Mestrado em Geologia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil), 111 p.

Trindade, W. M., Horn, A. H., Ribeiro, E. V. (2012) – “*Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três-Marias e Pirapora - MG: Geoquímica e Classificação de Risco Ambiental*.” Geonomos, 20, 1, pp. 64-75.

Tosco, T., Sethi, R., (2011) - “*Transport in porous media of iron-based bioslurries for groundwater remediation*”, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13.

Tundisi, J.G. (2005) – “*Avaliação das condições físicas, químicas, biológicas e toxicológicas da Represa de Três Marias e do Rio São Francisco (Trecho Represa Três Marias–Rio Abaeté)*.” Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental.

Em:<http://www.worldfish.org/PPA/PDFs/Semi-Annual%20VI/E-11b.pdf> (consultado a 19.04.2016).

U.S. EPA: <https://www.epa.gov/superfund> (consultado a 30.01.2016).

U.S.EPA (2008) – “*Nanotechnology for Site Remediation Fact Sheet*.” United States Environmental Protection Agency, Solid Waste and Emergency Response, 17 p.

U.S.EPA (2007) – Method 3051A: *Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils*. Em: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf> (consultado a 15/11/2013).

U.S. EPA, (2005) – “*Field applications of in-situ remediation technologies: permeable reactive barriers.*” EPA68-W-00-084.

U.S. EPA (2002) - “*Field Applications of in situ Remediation Technologies: Permeable Reactive Barriers.*” United States Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information.

U.S.EPA (1997) - “*Technology Alternatives for the Remediation of Soils Contaminated with As, Cd, Cr, Hg, and Pb.*” United States Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, 20 p.

Van Bekkum, H., E. M. Flannigen, and J. C. Janmsen. (1991) – “*Ion Exchange in Zeolites: Introduction to Zeolite Science and Practice.*” Amsterdam: Elsevier.

VAN KEER, I.; MUCHEZ, PH. & VIAENE, W. (1998) – “*Clay mineralogical variations and evolutions in sandstone sequences near a coal seam and shales in the Westphalian of the Campine Basin (NE Belgium).*” Clay Minerals, Journal of the European Clay Groups, Mineralogical Society, 33 (1), pp. 159 - 169.

Velde, B. (1995) – “*Composition and mineralogy of clay minerals.*” in “*Origin and mineralogy of clays.*” Springer Berlin Heidelberg, pp. 8-42.

Venezuela, T. C. (2001) - “*Determinação de Contaminantes Metálicos (Metal Tóxico) num solo adubado com composto de lixo em área olerícola no município de Nova Friburgo*”- R.J. 2001. Dissertação de Mestrado da Escola de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz. 96 p.

VERRECCHIA, E.P. & LE COUSTOMER, M-N. (1996) – “*Occurrence and genesis of palygorskite and associated clay minerals in a Pleistocene calcrete complex, Sde Boqer, Negev desert, Israel.*” Clay Minerals, Journal of the European Clay Groups, Mineralogical Society, 31 (2), pp. 183 - 202.

Vieira, G. (2014) - “*Uso de nanopartículas de ferro zerovalente na remediação de solos contaminados: degradação redutiva do azul de metileno*”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Visher, G.S. (1969) – “*Grain size distributions and depositional processes.*” Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 39, nº 3, pp. 1074-1106.

Votorantim Metais. Em: <http://www.vmetais.com.br/pt-BR/Paginas/default.aspx> (consultado a 02.05.2016).

Waller, Roger M., (1982) - “*Ground Water and the Rural Homeowner.*” Pamphlet, U.S. Geological Survey, in U.S. Geological Survey 2016.

Em: <https://water.usgs.gov/edu/earthgwquality.html> (consultado a 30.01.2016).

Wantanaphong J., Mooney S. J., Bailey E. (2005) - “*Helen Natural and waste materials as metal sorbents in permeable reactive barriers (PRBs)*” Environ Chem Lett, Springer-Verlag, Vol. 3, pp. 19-23.

Wardlab. Ward Guide. Em: <http://www.wardlab.com/WardInfo/WardGuide.pdf> (consultado a 12.10.2016).

Wedepohl, K.H. (1991) - “*The composition of the upper earth's crust and the natural cycles of selected metals.*” in Merian, E., & Weinheim, V.C.H (Eds). “*Metals and their compounds in the environment.*” Weinheim: VCH. pp. 3-17.

Wilkin, R. T. and M. S. McNeil. (2003) - “*Laboratory Evaluation of Zero-Valent Iron to Treat Water Impacted by Acid Mine Drainage*”, Chemosphere 53: pp. 715–25.

Wilkin R. T., Acree S. D., Beak D. G., Ross R. R., Lee T. R., Paul C. J., (2008) - “*Field application of a permeable reactive barrier for treatment of arsenic in ground water*”, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, Ada, Oklahoma 74820, EPA.

Wilkin R. T., Acree S. D., Ross R. R., Beak D. G., Lee T. R., (2009) - “*Performance of a zerovalent iron reactive barrier for the treatment of arsenic in groundwater: Part 1 - Hydrogeochemical studies*”, Journal of Contaminant Hydrology 106, 1–14.

Wilmoth, R.C., Hubbard, S.J., Burckle, J.O., Martin, J.F. (1991) - “*Production and processing of metals: their disposal and future risks.*” in Merian, E., & Weinheim, V.C.H. (Eds), “*Metals and their compounds in the environment.*” Weinheim: VCH. pp. 19-65.

Wilson D. J. and Clarke A. N., (1994a) - “*Soil surfactant flushing/washing.*” In: “*Hazardous Waste Site Soil Remediation: Theory and Application of Innovative Technologies.*” Wilson D. J. and Clarke A. N. (eds). New York, NY: Marcel Dekker

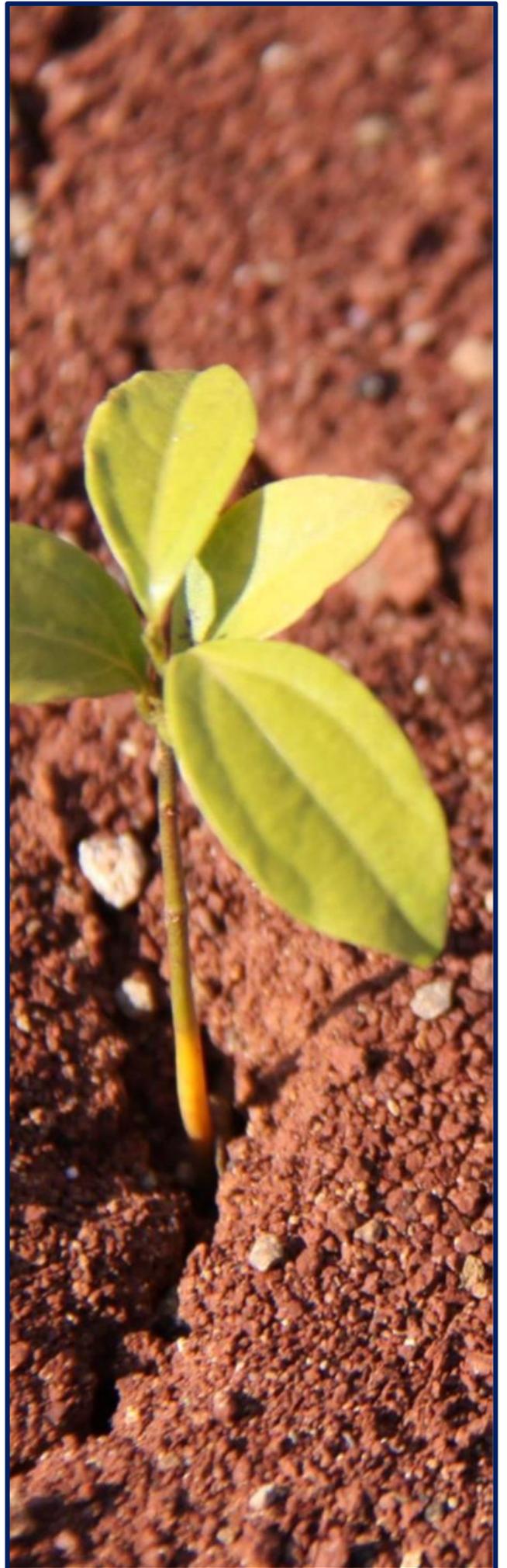
Wuana, R. A., Okieimen, F. E. (2011) - “*Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation.*” International Scholarly Research Network, v.2011, 20 p.

Yang L., Donahoe R.J., Redwine J.C., (2007) - “*In situ chemical fixation of arsenic-contaminated soils: an experimental study*”, Science of the Total Environment 387, 28–41.

Yan, W., Vasic, R., Frenkel, A. I., Koel, B. E. (2012) – “*Intraparticle reduction of arsenite (As(III)) by nanoscale zerovalent iron (nZVI) investigated with in situ X-ray absorption spectroscopy.*” Environmental Science & Technology., 46, pp. 7018–7026.

Zhang, W. (2003) – “*Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview.*” Journal of Nanoparticle Research, 5, pp. 323–332.

Anexos



Anexo A		Página
Anexo AI – Tabelas Resultados Gerais.		418
Anexo AII - Tabelas Resultantes do Tratamento de Dados.		596

Anexo AI – Tabelas Resultados Gerais

	Página
Tabela AI.1: Listagem das amostras de aluvião recolhidas em todas as campanhas de amostragem.	421
Tabela AI.2: Parâmetros físico-químicos para as águas recolhidas na campanha de Novembro de 2013.	432
Tabela AI.3: Parâmetros físico-químicos para as águas recolhidas na campanha de Março de 2014.	432
Tabela AI.4: Parâmetros físico-químicos para as águas intersticiais das aluviões.	433
Tabela AI.5: Parâmetros físico-químicos para determinados nas aluviões.	436
Tabela AI.6: Química da fracção dissolvida das águas recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março de 2014.	443
Tabela AI.7: Química da fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março de 2014.	445
Tabela AI.8: Valores totais obtidos através da extracção por <i>Aqua Regia</i> para as aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março de 2014.	452
Tabela AI.9: Valores totais obtidos através da extracção por <i>Aqua Regia</i> para a fracção granulométrica > 63 µm.	462
Tabela AI.10: Valores totais obtidos através da extracção por <i>Aqua Regia</i> para a fracção granulométrica 63-2µm.	465
Tabela AI.11: Valores totais obtidos através da extracção por <i>Aqua Regia</i> para a fracção granulométrica < 2 µm.	467
Tabela AI.12: Fracções extraídas em arsénio, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	470

Tabela AI.13: Fracções extraídas em cádmio, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	475
Tabela AI.14: Fracções extraídas em cobalto, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	481
Tabela AI.15: Fracções extraídas em crómio, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	486
Tabela AI.16: Fracções extraídas em cobre, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	492
Tabela AI.17: Fracções extraídas em ferro, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	497
Tabela AI.18: Fracções extraídas em manganês, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	503
Tabela AI.19: Fracções extraídas em níquel, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	508
Tabela AI.20: Fracções extraídas em chumbo, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	514
Tabela AI.21: Fracções extraídas em zinco, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	519
Tabela AI.22: Teores totais extraídos em arsénio, cádmio, cobre, crómio, cobalto, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco, nas aluviões, correspondentes à fracção mais solúvel.	525
Tabela AI.23: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após uma hora de agitação.	531
Tabela AI.24: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após três horas de agitação.	534
Tabela AI.25: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões dezoito horas de agitação.	537
Tabela AI.26: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões vinte e quatro horas de agitação.	540

Tabela AI.27: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões quarente e oito horas de agitação.	543
Tabela AI.28: Percentagens de carbono, hidrogénio, azoto e enxofre obtidas por análise elementar para as aluviões da área em estudo.	546
Tabela AI.29: Teores em fósforo (P) obtidos para as aluviões da área em estudo.	552
Tabela AI.30: Teores em fósforo (P) obtidos para as águas intersticiais recolhidas nas aluviões da área em estudo.	558
Tabela AI.31: Teores em sulfatos obtidos nas aluviões da área em estudo.	561
Tabela AI.32: Teores em sulfatos obtidos para as águas intersticiais recolhidas nas aluviões da área em estudo.	567
Tabela AI.33: Teores em sulfatos obtidos para os estratos resultantes do ensaio de lixiviação realizado em algumas das aluviões da área em estudo.	570
Tabela AI.34: Percentagens por fracção > 63µm consideradas, obtidas para as aluviões da área em estudo.	572
Tabela AI.35: Percentagens de areia, silte e argila obtidos para as aluviões e respetiva classificação segundo o diagrama triangular de <i>Shepard</i> .	580
Tabela AI.36: Percentagens obtidas na separação por fracção (> 63µm; >63 e >2 µm e < 2µm) das amostras aluvionares consideradas.	586
Tabela AI.37: Densidade aparente, densidade das partículas e porosidade das aluviões.	587
Tabela AI.38: Condutividade Hidráulica (Permeabilidade) das aluviões.	593

Tabela AI.1: Listagem das amostras de aluvião recolhidas em todas as campanhas de amostragem. Caracterização, localização e época de recolha.

Período de Amostragem (m)	Amostras	Profundidade (cm)	Coordenadas		W. Point	Tipo de Amostra	Observações
			Latitude	Longitude			
Pós-seca	Área - A0						
	CA0-1A	0-10 10-20	S 18° 11,142'	W 45° 13,039'	WP 84	Aluvião fluvial	Amostragem no leito do córrego Consciência; Manchas de areia quártzica sobre lajes de ardósia com baixo grau metamorfismo; Depósitos de cascalho em sectores mais deprimidos.
	CA0-2A	0-5 5-10 10-15	S 18° 10,882'	W 45° 13,753'	WP 86	Aluvião fluvial	Trecho do leito do córrego Consciência com lajes de siltitos; Água em pegos; Circulação de água subterrânea com fluxo ligeiro.
	CA0-2B	0-20 20-40 40-60	S 18° 10,882'	W 45° 13,753'	WP 86	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Amostragem num barranco na margem direita.
	CA0-3A	0-5 5-10 10-15	S 18° 10,847'	W 45° 13,967'	WP 87	Aluvião	Amostragem em zona emersa na margem côncava; Rio com água em pegos intermitentes.
	Área - A1						
	CA1-13	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	S 18° 10,901'	W 45° 14,295'	WP 104	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Solo aluvionar na margem direita do córrego Consciência; Na margem esquerda existem camadas de sedimentos emersos (quase secos); Amostragem profunda, material mais seco (60-80 cm); Amostragem mais profunda, material mais húmido (80-100 cm).
Pós-chuva		2,50 m					
Pós-seca	CA1-14	0-5 5-10	S 18° 10,895'	W 45° 14,331'	WP 105	Aluvião	

		10-15 15-20 20-40 40-60 60-80 80-100					Amostragem em zona emersa; Material muito plástico e adesivo; Nível muito argiloso e esverdeado; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm.
	CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	S 18° 10,895'	W 45° 14,331'	WP 105	Aluvião	Amostragem em zona emersa.
Pós-chuva	CA1-14 [III]	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100 100-120 1,30 m 1,40 m	S 18° 10,895'	W 45° 14,331'	WP 105	Aluvião	Amostragem em zona emersa.
Pós-seca	CA1-20	0-20 20-40 40-60	S 18° 10,936'	W 45° 14,040'	WP 120	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Margem esquerda do córrego Consciência; Nas margens verticais presença de vegetação; Associação do aluvião com solo Litólico.
	CA1-21	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	S 18° 10,961'	W 45° 14,141'	WP 113	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Margem direita do córrego Consciência; Cobertura de gramíneas e braquiária; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm.
	CA1-21 (lixí)	0-20 20-40 40-60	S 18° 10,961'	W 45° 14,141'	WP 113	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Margem direita do córrego Consciência; Repetição de amostragem para ensaio de lixiviação.
	CA1-22	0-5	S 18° 10,961'	W 45° 14,141'	WP 113	Aluvião	

		5-10 10-15 15-20 20-40 40-60 60-80 80-100					Amostragem no leito, em zona emersa e húmida; Sedimento amostrado ao lado do ponto CA1-21; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm.
Pós-chuva	CA1-22 [III]	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	S 18° 10,961'	W 45° 14,141'	WP 113	Aluvião	Amostragem no leito, em zona emersa e húmida.
Pós-seca	CA1-23	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	S 18° 10,853'	W 45° 14,279'	WP116	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Margem esquerda mesmo junto ao córrego Consciência; Planície aluvionar típica; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm.
Pós-chuva	CA1-23 [III]	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-33	S 18° 10,853'	W 45° 14,279'	WP 116	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Zona do leito do córrego Consciência mesmo por baixo do ponto anterior; Zona com água; Recolha de um core de sedimentos.
	CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	S 18° 10,854'	W 45° 14,312'	WP 121	Aluvião superficial: Cascalhento	Amostragem junto à margem de acumulação.
	CA1-26 [III]	0-5 5-10	S 18° 10,825'	W 45° 14,284'	WP 123	Core aluvionar	Amostragem de um core de sedimentos.

		10-15 15-20 20-25 25-30 30-35					
	CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	S 18° 10,825'	W 45° 14,284'	WP 123	Aluvião	Nível muito vermelho a mais ou menos 20 cm da superfície da água.
Pós-seca	CA1-26 Sed.	0-20	S 18° 10,825'	W 45° 14,284'	WP 123	Aluvião superficial	Amostragem de sedimentos com core apenas superficial.
Pós-chuva	CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	S 18° 10,790'	W 45° 14,259'	WP 124	Aluvião superficial	O core apenas apanhou 5 a 10 cm de sedimento superficial; Não se recolheu core.
Pós-seca	CA1-27	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35 35-40 40-43	S 18° 10,790'	W 45° 14,259'	WP 124	Core aluvionar	Amostragem com core perto da margem direita.
Pós-chuva	CA1-27A Draga [III]	0-10	S 18° 10,790'	W 45° 14,259'	WP 159	Aluvião superficial	Amostragem a meio do canal onde apenas se apanhou areão e cascalho com argila.
	CA1-28 Draga [III]	0-5	S 18° 10,768'	W 45° 14,285'	WP 125	Aluvião superficial	Dragagem em várias tentativas, só se conseguiu amostrar na margem esquerda (de erosão).
Pós-seca	CA1-28	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30	S 18° 10,768'	W 45° 14,285'	WP 125	Core aluvionar	Amostragem de um core de sedimentos perto da foz junto ao São Francisco, próximo da margem esquerda.

		30-35 35-37 37-40					
	CA1-29	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35 35-40 40-43 43-46	S 18° 10,746'	W 45° 14,286'	WP 126	Core aluvionar	Amostragem de um core de sedimentos no Leque de sedimentação junto à foz do Consciência a 2 m de profundidade, junto à margem esquerda.
Pós-chuva	CA1-29 Sup [III]	0-10	S 18° 10,746'	W 45° 14,286'	WP 126	Aluvião superficial	Dragagem superficial.
	CA1-29 [III]	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35 35-41 41-46 2,50 m	S 18° 10,746'	W 45° 14,286'	WP 126	Core aluvionar	Amostragem de um core de sedimentos a 2,10 m de profundidade.
Pós-seca	CA1-30	0-20 20-40	S 18° 10,771'	W 45° 14,290'	WP 127	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Zona aluvionar na margem esquerda do córrego Consciência, junto à foz; Margem elevada relativamente ao córrego; Muitas árvores (mangas) e raízes.

	CA1-31	0-20 20-40 40-60	S 18° 10,810'	W 45° 14,275'	WP 128	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Zona aluvionar na margem esquerda do córrego Consciência; Zona de árvores, floresta de braquiária.
Pós-chuva	CA1-32 Sed [III]	0-20	S 18° 10,871'	W 45° 14,253'	WP 129	Aluvião superficial	Fundo revestido de lages de siltitos; Existem pequenas acumulações de material arenoso em saliências das lages inclinadas.
Pós-seca	CA1-32	0-10	S 18° 10,871'	W 45° 14,253'	WP 129	Aluvião	Amostragem na margem esquerda de um meandro de acumulação escavado pelas correntes em períodos de maior precipitação, em zona emersa; Amostragem com trado; Muitas raízes nas camadas superficiais; As ervas, abundantes, fazem uma teia que protege o material que se depositou por cima, mantendo-o mais seco.
		10-20					
		20-30					
		30-40					
CA1-33	40-50	S 18° 10,867'	W 45° 14,277'	WP 130	Aluvião: Latossolo Vermelho (LV)	Solo na plataforma topo da superfície aluvionar (estações 23 e 32); Solo vermelho com zonas argilosas cinzentas (resultantes da deposição do rio durante as cheias).	
	50-60						
	60-70+						
	0-20						
CA1-34	20-40	S 18° 10,831'	W 45° 14,306'	WP 131	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Planície aluvionar na margem direita; Película arenosa de 3 cm; Restante perfil com humidade; Nível mais argiloso a cerca de 40 cm; Entre os 80 e os 100 cm encontra-se perto do nível freático (nível do córrego).	
	40-60						
	60-80						
	80-100						
CA1-35	0-10	S 18° 10,959'	W 45° 14,169'	WP 132	Aluvião	Amostragem na zona de maior acumulação, na margem direita do córrego Consciência junto à ponte; Grande acumulação de sedimentos na margem; Amostragem com trado; Córrego muito estreito; Muito material em Suspensão; Determinação da espessura do sedimento (Penetrómetro até 3m); Amostragem de gramíneas.	
	10-20						
	20-30						
	30-40						
		40-50					
		50-60					
		60-80					

		80-100					
Pós-chuva	CA1-35 [III]	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	S 18° 10,959'	W 45° 14,169'	WP 132	Aluvião	Ao longo do curso de água grande acumulação de sedimento semelhante ao que amostrámos na margem; Amostragem de sedimento com core na mesma margem direita junto à ponte onde estava o DGT; Níveis de sedimento com muita água abaixo dos 20 cm.
Pós-seca	CA1-47	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35 35-40 40-42 42-45	S 18° 10,697'	W 45° 14,284'	WP 144	Core aluvionar	Amostragem com core a 2,5 m de profundidade na foz do córrego Consciência, junto à margem direita mas já no rio São Francisco.
Pós-chuva	CA1-48 [III]	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	S 18° 10,930'	W 45° 14,254'	WP 157	Aluvião	Amostragem na margem direita; Amostragem com trado; Abaixo dos 60 cm, pouca amostra mas muita saturada em água.
	CA1-51 Sed [III]	0-20	S 18° 10,853'	W 45° 14,270'	WP 161	Aluvião	Amostragem a 25 m a montante de CA1-23, zona de acumulação de material argiloso muito vermelho apenas em alguns sectores; Amostragem com core mas apenas se apanhou pouca amostra; Amostragem compósita.

	CA1-52 Core Sup [III]	0-20	S 18° 10,735'	W 45° 14,284'	WP 162	Core aluvionar	Amostragem de um core de sedimentos na margem direita da foz no leque de sedimentação; Sedimento muito fino e avermelhado; Camada de material grosseiro sobre leito de argila vermelha fina.
	CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	S 18° 10,749'	W 45° 14,284'	WP 188	Aluvião superficial	Amostragem de sedimento superficial.
	CA1-53 [III]	0-5	S 18° 10,749'	W 45° 14,284'	WP 188	Core aluvionar	2ª Tentativa de amostragem com core no local; Ótima amostragem sem esfinger com 55 cm de espessura de sedimentos.
		5-10					
		10-15					
		15-20					
		20-25					
25-30							
30-35							
35-40							
40-45							
45-50							
50-55							
CA1-53 Core [III]	0-10	S 18° 10,749'	W 45° 14,284'	WP 188	Core aluvionar	1ª Amostragem com core no local; Só amostrou 10 cm, o resto do core vem vazio.	
Vala CA1-56 [IV]		S18° 10,945	W 45° 14,147	WP 383	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Material argiloso com dois níveis, o primeiro mais avermelhado (por baixo de um nível cascalhento) e um segundo mais profundo de cor escura com níveis de carvão.	
CA1-57 [IV]	0-20	S 18° 10,964	W 45° 14,123	WP 395	Aluvião: Leito do Corrego	Amostragem no leque aluvionar do Córrego Grota Seca na intercepção com o Córrego Consciência.	
	20-40						
	40-60						
	60-80						
80-100							
Área - A2							

Pós-seca	CA2-10 Sulfatos	0-5	S 18° 10,975'	W 45° 14,323'	WP 100	Fragmentos: Sulfatos Hidratados	Amostragem de fragmentos de Sulfatos que cobrem a superfície da planície aluvionar.
	CA2-10	0-20	S 18° 10,975'	W 45° 14,323'	WP 100	Aluvião: Neossolo Flúvivo (Ry) + Aterro	Planície aluvionar alagada na época das cheias, com material de aterro muito argiloso; Cobertura de sulfatos; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm; Determinação da espessura do aluvião (Penetrómetro até 2,20 m); Amostragem de Gramíneas; Posterior amostragem e determinação de espessura (Penetrómetro até 2,40 m) pós época das chuvas; Zona muito alagada, sedimento muito coeso e argiloso.
20-40							
40-60							
Pós-chuva		2,40 m					
Pós-seca	CA2-10 (lixí)	0-20	S 18° 10,975'	W 45° 14,323'	WP 100	Aluvião: Neossolo Flúvivo (Ry) + Aterro	Repetição de amostragem para ensaio de lixiviação no local anterior.
		20-40					
		40-60					
		60-80					
		80-100					
Pós-chuva	CA2-10A [III]	0-20	S 18° 10,600'	W 45° 14,870'	WP 197	Aluvião: Neossolo Flúvivo (Ry) + Aterro	Plataforma, levemente inclinada para NE, de material de escorrência atapetado com material argiloso vermelho; Neste local o canal de retenção está quebrado e a escorrência vai directa para o aluvião, para a estação CA2-10 e para o córrego Consciência; Ponto a SE de CA2-10.
Pós-seca	CA2-11	0-20	S 18° 10,995'	W 45° 14,283'	WP 101	Aluvião: Neossolo Flúvico + Gleissolo Háplico (Ry + Gx) + Aterro	Continuação da superfície aluvionar; Mistura com Gleissolo e aterro; Solo húmido coberto por camada de sulfatos sobre vegetação morta (capim); Pode corresponder a deposição recente devido às últimas chuvas; Perto do tanque de deposição.
		20-40					
		40-60					
Pós-seca	CA2-12	0-20	S 18° 10,958'	W 45° 14,244'	WP 103	Aluvião: Neossolo Flúvico + Gleissolo Háplico (Ry + Gx) + Aterro	Superfície aluvionar; Solo húmido acinzentado, coberto por capim alto (Gramíneas); Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm; Posterior amostragem e determinação de espessura do aluvião (Penetrómetro até 2,70 m) pós época das chuvas.
		20-40					
		40-60					
		60-80					
Pós-chuva		2,70 m					

	Vala CA2-55 [IV]	1,6 -2 m 2 - 2,5 m	S 18° 10,988	W 45° 14,267	WP 378	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Superfície aluvionar; Nível mais superficial argiloso de cor amarelo seguido de um nível mais profundo com material avermelhado de textura mais grosseira.
Área - A3							
Pós-seca	CA3-16 Sed	0-5	S 18° 11,036'	W 45° 14,060'	WP 107	Aluvião: Arenoso	Sedimento no leito do córrego Grota Seca, com cerca de 5 cm de espessura e gradação.
	CA3-17	0-20 20-40 40-50+	S 18° 11,036'	W 45° 14,060'	WP 107	Aluvião: Latossolo Vermelho Amarelo + Solo Litólico (LVA + RL)	Perfil com 50 cm; Solo da margem do córrego Grota Seca.
	CA3-18	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100 1,20-1,50 m	S 18° 10,980'	W 45° 14,119'	WP108	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Amostragem num aluvião coberto de gramíneas e com camada superficial de sulfatos, na foz do córrego Grota Seca muito perto do ponto da experiência 1 com amostradores DGT; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm; Amostragem de Gramíneas.
Pós-chuva							
Pós-seca	CA3-36 Sup	0-5	S 18° 11,064'	W45° 14,101'	WP 134	Aluvião Superficial	Fluxo de escorrência da unidade de postulação após intensa chuvada (40 min); Escorrência para o córrego Grota Seca; Amostragem em local de escorrência preferencial; Amostragem de sedimento na margem.
	CA3-37	0-10 10-20 20-40 40-50	S 18° 11,076'	W 45° 14,103'	WP 135	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Zona aluvionar da linha de água afluente do córrego Grota Seca; Material mais fino e alaranjado (0-10 cm).
	CA3-38	0-10 10-20 20-30 30-40 40-50	S 18° 10,960'	W 45° 14,120'	WP 136	Aluvião	Amostragem de sedimento depositado na foz do córrego Grota Seca no encontro com o córrego Consciência; Zona com pegos; Pouca amostra porque o perfil estava oco abaixo dos 60 cm.

		50-60 60-80 80-100					
Pós-chuva	CA3-38 [III]	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100 1,20 m	S 18° 10,960'	W 45° 14,120'	WP 136	Aluvião	Repetição de amostragem na foz do córrego Grota Seca pós época das chuvas, na margem esquerda do córrego; Amostragem de Gramíneas.
Pós-seca	CA3-39 Esc. Grota Seca	0-5	S 18° 10,972'	W 45° 14,136'	WP 137	Aluvião superficial	Película superficial da escorrência do córrego Grota Seca.

Tabela AI.2: Parâmetros físico-químicos para as águas recolhidas na campanha de Novembro de 2013.

Amostra	Data	Hora de Recolha	T °C	Prof. (m)	pH	Eh	Condutividade Elétrica (mS.cm ⁻¹)
CA1-14 Sup	11-11-2013	12:20	33,3	1	5,81	118	1,72
CA1-14 Sup	18-11-2013	08:20	22,6	1	5,04	230	12,50
CA1-24 Sup	11-11-2013	15:45	28,2	1	5	209	0,97
CA1-24 Fundo	11-11-2013	15:45	28,7	1	7,04	220	0,73
CA1-24	14-11-2013	13:40	25,1	1	5,86	276	10,50
CA1-26	11-11-2013	-	30,7	1-1,2	6,55	197	1,02
CA1-28 Sup	11-11-2013	17:05	28,8	1,5	6,92	151	1,42
CA1-28 Fundo	11-11-2013	17:05	28,7	1,5	7	147	1,31
CA1-28 Sup	14-11-2013	14:05	24,8	1,5	6,67	303	11,90
CA1-29 Sup	11-11-2013	17:40	27	2	7,21	86	1,11
CA1-29 Fundo	11-11-2013	17:40	28,8	2	7,13	91	0,86
CA1-29 Sup	14-11-2013	13:20	24,9	2	6,84	238	10,90
CA1-35	12-11-2013	16:00	32,6	0,8	6,3	210	2,33
CA1-35	18-11-2013	08:50	23,9	0,8	6,56	199	20,50
CA1-47 Sup	14-11-2013	-	2,5	2,5	9,96	220	13,80

Tabela AI.3: Parâmetros físico-químicos para as águas recolhidas na campanha de Março de 2014.

Amostra	Data	Hora de Recolha	T °C	Prof. (m)	pH	Eh	Condutividade Elétrica (mS.cm ⁻¹)
CA1-14	11-03-2014	-	29,2	1	6,3	90	0,506
CA1-26 Sup	12-03-2014	10:55	26,8	1	6,61	125	0,178
CA1-26 Fundo	12-03-2014	10:55	26,1	1	6,17	135	0,0249
CA1-27 Sup	12-03-2014	10:05	26,4	2,4	6,82	159	0,143
CA1-27 Sup	12-03-2014	10:05	25,4	2,4	6,35	173	0,239
CA1-27A	17-03-2017	08:38	24,9	2,4	7,24	118	0,255
CA1-29 Sup	12-03-2014	09:20	26,6	2,1	6,94	105	0,153
CA1-29 Fundo	12-03-2014	10:05	26,2	2,1	6,61	136	0,237
CA1-35 Sup	10-03-2014	15:20	28,9	1	6,67	149	0,115
CA1-35	14-03-2014	09:30	25,1	1	6,41	143	0,08
CA1-48	11-03-2014	10:30	25,1	1,2	6,49	138	0,08
CA1-48	17-03-2014	09:00	24,7	-	7,2	141	0,088
CA1-49	11-03-2014	15:20	26,5	-	6,42	132	0,105
CA1-49	17-03-2014	09:20	26,7	-	7,16	175	0,321
CA1-50 Sup	12-03-2014	11:30	27,7	1,4	6,38	44	0,322
CA1-50 Sup	12-03-2014	11:30	27,7	1,4	6,38	44	0,322
CA1-50 Fundo	12-03-2014	11:30	28	1,4	6,56	44	0,311

Tabela AI.4: Parâmetros físico-químicos para as águas intersticiais das aluviões. As amostras recolhidas em Março de 2014 estão referenciadas com [III].

Amostra	Profundidade (cm)	pH	Condutividade Eléctrica (mS.cm ⁻¹)
Área CA1			
CA1-13	60-80	5,02	-
	80-100	5,23	-
CA1-14	60-80	4,43	-
	80-100	4,17	-
CA1-14 Sed. córrego draga	0-20	3,80	-
CA1-14 [III]	0-20	5,15	6,71
	20-40	5,79	6,57
	40-60	5,73	6,78
	60-80	5,06	6,45
	80-100	4,95	6,22
	100-120	4,79	5,42
CA1-21	60-80	6,43	-
	80-100	7,09	-
CA1-22	60-80	6,43	-
CA1-22 [III]	0-20	6,63	0,52
	20-40	7,03	0,47
	40-60	7,18	0,42
	60-80	7,03	0,38
	80-100	6,9	0,42
CA1-23	60-80	1,99	-
	80-100	1,53	-
CA1-23 [III]	0-5	5,88	0,58
	5-10	6,94	0,69
	10-15	7,17	0,64
	15-20	6,76	0,63
	20-25	6,99	0,66
	25-30	6,91	0,84
	30-33	7,48	0,72
CA1-24 Sed. sup [III]	0-10	6,13	0,42
CA1-26 [III]	0-5	6,26	0,74
	5-10	6,36	0,76
	10-15	6,33	0,74
	15-20	6,49	0,77
	20-25	6,33	0,72
	25-30	6,35	0,60
	30-35	6,26	0,60
CA1-27	0-5	6,04	-
	5-10	5,63	-
	10-15	5,92	-

	15-20	6,47	-
	20-25	5,93	-
	25-30	6,24	-
	30-35	6,27	-
	35-40	6,36	-
	40-43	4,72	-
CA1-27 Sed. Sup. [III]	0-5	6,23	0,29
CA1-27A Draga [III]	0-10	6,89	0,37
CA1-28	0-5	6,38	-
	5-10	6,54	-
	10-15	6,51	-
	15-20	6,96	-
	20-25	6,82	-
	25-30	6,88	-
	30-35	6,38	-
	35-37	6,80	-
	37-40	7,35	-
CA1-28 Draga [III]	0-5	5,73	0,28
CA1-29	0-5	6,10	-
	5-10	7,11	-
	10-15	7,49	-
	15-20	-	-
	20-25	7,74	-
	25-30	7,53	-
	30-35	7,42	-
	35-40	7,24	-
	40-43	7,43	-
CA1-29 Sup. [III]	0-10	6,66	0,42
CA1-29 [III]	0-5	6,85	0,31
	5-10	7,11	0,44
	10-15	7,21	0,46
	15-20	7,10	0,47
	20-25	7,03	0,41
	25-30	7,20	0,44
	30-35	7,00	0,43
	35-41	6,71	0,36
	Rolhão	6,63	2,12
CA1-32	10-20	1,66	-
	20-30	1,93	-
	30-40	1,71	-
	40-50	1,93	-
	50-60	1,91	-
	60-70	1,59	-
CA1-32 Sed. [III]	0-20	6,24	2,74
CA1-34	80-100	1,41	-

CA1-35	20-30	1,61	-
	40-50	1,54	-
	50-60	1,40	-
	60-80	1,36	-
	80-100	1,77	-
CA1-35 [III]	0-20	4,27	0,48
	20-40	3,94	0,31
	40-60	3,74	0,56
	60-80	4,43	0,30
	80-100	4,78	0,28
CA1-47	0-5	6,85	-
	5-10	6,72	-
	10-15	6,71	-
	15-20	3,64	-
	20-25	6,46	-
	25-30	6,46	-
	30-35	6,43	-
	35-40	6,55	-
	40-42	6,58	-
42-45	6,57	-	
CA1-48 [III]	20-40	6,47	0,40
	40-60	6,24	0,50
	60-80	6,49	0,17
	80-100	6,35	0,16
CA1-51 Sed. [III]	0-20	6,44	0,84
CA1-52 Core sup. [III]	0-20	6,80	0,22
CA1-53 Sed. sup. [III]	0-20	6,60	0,37
CA1-53 [III]	0-5	6,74	0,33
	5-10	6,65	0,31
	10-15	6,68	0,41
	15-20	6,73	0,29
	20-25	6,71	0,33
	25-30	6,65	0,35
	30-35	6,71	0,29
	35-40	6,69	0,26
	40-45	6,70	0,26
	45-50	6,74	0,26
	Core	6,76	0,31
Rolhão	6,99	0,22	
Área CA2			
CA2-10	80-100	5,64	-
CA2-12	60-80	5,99	-
	80-100	6,07	-
CA2-12 [III]	2,70 m	4,98	2,75
Área CA3			

CA3-36 Sup.	0-5	6,28	-
CA3-38	20-30	6,45	-
	30-40	6,57	-
	40-50	6,52	-
	50-60	6,41	-
	60-80	6,36	-
CA3-38 [III]	0-20	6,55	0,30
	20-40	7,33	0,70
	40-60	6,70	0,26
	60-80	6,92	0,80
	80-100	7,74	1,28
	100-120	7,01	0,80

Tabela AI.5: Parâmetros físico-químicos para determinados nas aluviões.

(As amostras recolhidas em Março de 2014 estão referenciadas com [III] e em Setembro de 2014 [IV])

Amostra	Profundidade (cm)	pH	Eh (mV)
Área CA0			
CA0-1A	0-10	6,25	309
	10-20	6,32	290
CA0-2A	0-5	6,26	124
	5-10	6,20	71
	10-15	5,88	85
CA0-2B	0-20	5,53	191
	20-40	5,17	160
	40-60	4,99	198
CA0-3A	0-5	5,43	138
	5-10	5,19	104
	10-15	5,13	128
Área CA1			
CA1-13	0-20	5,65	305
	20-40	5,77	281
	40-60	5,87	310
	60-80	6,07	219
	80-100	6,16	170
CA1-13 [III]	2,5 m	6,04	163
CA1-14 Sed. córrego draga	0-20	5,14	315
CA1-14	0-5	5,80	257
	5-10	5,80	238
	10-15	6,01	289
	15-20	6,27	206
	20-40	5,96	310

	40-60	5,17	132
	60-80	6,10	202
	80-100	5,89	226
CA1-14 [III]	0-20	5,66	178
	20-40	5,66	120
	40-60	5,5	216
	60-80	5,05	269
	80-100	4,72	329
	100-120	5,13	192
	1,30 m	-	-
CA1-20	0-20	5,77	318
	20-40	6,16	313
	40-60	5,56	318
CA1-21	0-20	5,89	127
	20-40	5,08	72
	40-60	5,42	245
	60-80	5,75	160
	80-100	6,48	4
CA1-21 [III]	2,50 m	6,29	-89
CA1-21 lixi	0-20	5,10	-
	20-40	5,24	-
	40-60	5,46	-
CA1-22	0-5	5,58	43
	5-10	6,55	14
	10-15	6,18	-105
	15-20	6,35	-43
	20-40	6,83	-14
	40-60	6,62	-35
	60-80	6,47	58
	80-100	6,22	-
CA1-22 [III]	0-20	4,81	-170
	20-40	5,2	-70
	40-60	5,38	-45
	60-80	5,47	-75
	80-100	6,32	-130
CA1-23	0-20	5,27	325
	20-40	5,20	320
	40-60	5,69	243
	60-80	5,78	387
	80-100	6,16	330

CA1-23 [III]	0-5	6,56	-7
	5-10	6,47	30
	10-15	6,73	-39
	15-20	6,43	-43
	20-25	6,94	-41
	25-30	6,91	-41
	30-33	6,68	-130
CA1-24 Sed. Sup. [III]	0-10	6,33	19
CA1-26 [III]	0-5	6,93	-106
	5-10	8,67	-50
	10-15	7,48	-45
	15-20	7,76	-50
	20-25	7,19	-98
	25-30	6,72	-70
	30-35	6,88	-62
	Nível Verm.	6,04	29
CA1-26 Sed. Sup. [III]	0-10	6,62	-
CA1-27	0-5	5,73	6
	5-10	5,61	6
	10-15	5,82	247
	15-20	5,71	136
	20-25	5,40	71
	25-30	6,47	57
	30-35	5,54	13
	35-40	5,46	112
	40-43	5,46	156
CA1-27 Sed. Sup [III]	0-5	6,16	4
CA1-27A Draga [III]	0-10	6,73	40
CA1-28	0-5	5,90	47
	5-10	5,98	-12
	10-15	6,03	66
	15-20	6,21	-41
	20-25	6,35	-39
	25-30	6,02	77
	30-35	5,98	6
	35-37	6,05	1
	37-40	6,01	26
CA1-28 Draga [III]	0-5	6,37	15
CA1-29	0-5	7,24	-75
	5-10	6,55	-85
	10-15	6,77	-142
	15-20	6,85	-142

	20-25	7,16	-66
	25-30	6,97	-70
	30-35	6,94	-29
	35-40	6,81	-18
	40-43	6,92	-48
	43-46	6,89	-6
CA1-29 Sup. [III]	0-10	6,66	-72
CA1-29 [III]	0-5	7,17	-68
	5-10	6,98	-79
	10-15	7,07	-30
	15-20	7,24	-43
	20-25	6,65	-47
	25-30	6,9	-17
	30-35	6,43	16
	35-41	6,14	-17
	Rolhão	6,04	-62
CA1-30	0-20	7,48	265
	20-40	7,39	322
CA1-31	0-20	5,20	303
	20-40	5,12	330
	40-60	4,84	294
CA1-32	0-10	5,33	111
	10-20	5,50	197
	20-30	5,81	7
	30-40	5,98	-26
	40-50	5,85	241
	50-60	6,21	48
	60-70	6,14	84
CA1-32 Sed. [III]	0-20	6,20	93
CA1-33	0-20	6,15	260
	20-40	6,37	248
	40-60	6,19	229
CA1-34	0-20	6,41	282
	20-40	5,74	286
	40-60	5,30	270
	60-80	5,55	397
	80-100	5,27	402
CA1-35	0-10	5,66	236
	10-20	5,74	453
	20-30	5,49	375
	30-40	5,29	445
	40-50	5,47	503

	50-60	5,42	414
	60-80	5,64	554
	80-100	5,36	192
CA1-35 [III]	0-20	3,94	216
	20-40	3,08	247
	40-60	4,13	213
	60-80	4,95	233
	80-100	3,61	155
CA1-47	0-5	5,87	-10
	5-10	6,07	40
	10-15	5,50	115
	15-20	5,75	50
	20-25	5,86	75
	25-30	5,84	117
	30-35	5,91	78
	35-40	6,01	228
	40-42	6,03	42
	42-45	5,87	36
CA1-48 [III]	0-20	6,32	48
	20-40	6,36	12
	40-60	6,36	-19
	60-80	6,49	-26
	80-100	6,61	0
CA1-51 Sed. [III]	0-20	6,38	87
CA1-52 Core sup. [III]	0-20	6,61	-98
CA1-53 Sed. Sup. [III]	0-20	6,53	-105
CA1-53 [III]	0-5	6,86	-53
	5-10	6,66	-31
	10-15	6,9	-96
	15-20	7,03	-53
	20-25	6,9	-55
	25-30	6,57	-65
	30-35	6,82	-62
	35-40	5,96	-125
	40-45	6,36	-91
	45-50	6,27	-48
	Core	6,61	-89
	Rolhão	6,65	-53
CA1-56 [IV]	1,0 - 3,0 m	5,46	113,6
	1,0 a 1,6 m	6,04	184,6
CA1-57 [IV]	0-20	6,08	222
	20-40	5,42	216,1

	40-60	4,99	301,4
	60-80	5,98	178,1
	80-100	6,63	171,6
Área CA2			
CA2-10	Sulfatos	6,12	-
CA2-10	0-20	6,39	173
	20-40	5,87	204
	40-60	5,95	240
	60-80	6,17	188
	80-100	6,00	132
CA2-10 lixi	0-20	6,23	-
	20-40	6,28	-
	40-60	6,23	-
	60-80	6,12	-
	80-100	6,04	-
CA2-10 [III]	2,40 m	5,87	166
CA2-10A [III]	0-20	6,22	252
	20-40	6,20	255
	40-60	6,56	226
CA2-10A [IV]	0,20 - 1,50 m	4,28	184,4
	1,8 a 2,5 m	4,48	248,8
CA2-12 [III]	2,70 m	5,62	102
CA2-11	0-20	6,60	288
	20-40	6,06	320
	40-60	6,12	308
CA2-12	0-20	5,48	262
	20-40	6,00	178
	40-60	6,44	296
	60-80	6,35	192
	80-100	6,25	226
CA2-55 [IV]	1,6 - 2,0 m	6,18	166
	2,0 -2,60 m	4,52	362,5
Área CA3			
CA3-16 Sed.	0-5	6,76	-
CA3-17	0-20	5,89	-
	20-40	4,66	-
	40-50	4,76	-
CA3-18	0-20	6,82	-
	20-40	7,05	-
	40-60	6,83	-
	60-80	7,45	326
	80-100	6,45	183

Anexo A

CA3-18 [III]	1,20 - 1,50 m	6,32	146
CA3-36 Sup	0-5	5,87	340
CA3-37	0-10	6,02	162
	10-20	6,38	282
	20-40	5,25	268
	40-50	4,88	212
CA3-38	0-10	5,96	212
	10-20	6,19	359
	20-30	6,49	345
	30-40	6,39	328
	40-50	6,24	188
	50-60	6,26	347
	60-80	6,00	97
80-100	6,24	3	
CA3-38 [III]	0-20	6,28	228
	20-40	6,69	-24
	40-60	5,87	7
	60-80	6,2	72
	80-100	6,82	-98
	100-120	6,61	-86
CA3-39 Esc. Grotta Seca	0-5	6,74	142

Tabela AI.6: Química da fracção dissolvida das águas recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março de 2014 ([III]).
(A vermelho estão identificados os valores que ultrapassam os valores de intervenção para as águas doces: CONAMA, 2012)

Amostra	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
CA1-14 Sup	0,398	< 0,01	47,815	0,075	0,029	< 0,001	< 0,001	1,262	6,692	76,049	4,763	11,264	0,016	< 0,001	46,838
CA1-14 Sup	< 0,001	< 0,01	191,211	0,409	0,191	< 0,001	< 0,001	< 0,001	13,523	394,606	31,274	41,284	0,152	< 0,001	321,228
CA1-14 [III]	< 0,001	< 0,01	20,712	0,032	0,010	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,848	31,227	2,042	5,909	0,003	< 0,001	22,469
CA1-24 Fundo	0,125	< 0,01	28,402	0,044	0,004	< 0,001	< 0,001	0,136	3,351	23,572	1,876	4,535	< 0,001	< 0,001	18,571
CA1-24 Sup	0,209	< 0,01	28,989	0,052	0,005	< 0,001	< 0,001	0,281	3,971	26,168	2,119	5,187	< 0,001	< 0,001	20,858
CA1-24	< 0,001	< 0,01	71,227	0,674	0,089	< 0,001	< 0,001	< 0,001	7,086	53,419	8,213	7,363	0,032	< 0,001	62,992
CA1-26	0,295	< 0,01	15,565	0,038	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,264	5,610	17,181	1,414	4,872	< 0,001	< 0,001	11,107
CA1-26 Sup [III]	< 0,001	< 0,01	8,243	0,005	< 0,001	< 0,001	0,047	< 0,001	2,784	5,842	0,304	2,989	< 0,001	< 0,001	2,232
CA1-26 Fundo [III]	< 0,001	< 0,01	11,593	0,009	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,894	13,331	0,772	4,681	< 0,001	< 0,001	7,086
CA1-27 Sup [III]	0,079	< 0,01	8,110	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,024	0,067	3,484	8,055	0,092	4,673	< 0,001	< 0,001	0,356
CA1-27 Sup [III]	< 0,001	< 0,01	7,079	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,010	< 0,001	2,522	4,821	0,062	3,095	< 0,001	< 0,001	0,189
CA1-27A [III]	0,010	< 0,01	9,212	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,009	0,027	3,639	10,379	0,182	5,117	< 0,001	< 0,001	1,878
CA1-28 Sup	0,091	< 0,01	11,666	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,135	12,236	0,263	5,410	< 0,001	< 0,001	2,049
CA1-28 Fundo	0,132	< 0,01	10,249	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,511	9,513	0,196	4,689	< 0,001	0,022	1,603
CA1-28 Sup	< 0,001	< 0,01	12,582	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,340	14,322	0,472	5,326	< 0,001	< 0,001	0,406
CA1-29 Sup	0,118	< 0,01	6,297	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,462	6,126	0,057	3,219	< 0,001	< 0,001	0,410
CA1-29 Fundo	0,091	< 0,01	5,874	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,370	5,804	0,059	2,846	< 0,001	< 0,001	0,455
CA1-29 Sup	< 0,001	< 0,01	10,781	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,717	13,134	0,142	5,148	< 0,001	< 0,001	0,175
CA1-29 Sup [III]	0,010	< 0,01	9,212	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,009	0,027	3,639	10,379	0,182	5,117	< 0,001	< 0,001	1,878
CA1-29 Fundo [III]	< 0,001	< 0,01	12,048	0,012	0,004	< 0,001	0,009	0,013	3,841	14,875	0,890	5,292	< 0,001	< 0,001	7,453
CA1-35	0,250	< 0,01	6,810	0,010	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,778	2,185	0,938	4,670	< 0,001	< 0,001	1,040
CA1-35	< 0,001	< 0,01	14,295	0,058	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	7,497	4,129	2,338	4,275	< 0,001	< 0,001	2,565
CA1-35 Sup [III]	< 0,001	< 0,01	1,698	0,005	< 0,001	< 0,001	0,081	0,001	3,929	0,811	< 0,001	3,597	< 0,001	< 0,001	0,038

Anexo A

CA1-35 [III]	< 0,001	< 0,01	1,657	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,648	0,672	0,065	2,080	< 0,001	< 0,001	0,048
CA3-38	0,403	< 0,01	31,478	0,432	0,017	< 0,001	0,004	< 0,001	8,091	6,100	3,194	5,331	< 0,001	< 0,001	16,277
CA1-47 Sup	< 0,001	< 0,01	6,865	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,437	11,618	0,037	3,647	< 0,001	< 0,001	< 0,001
CA1-48 [III]	< 0,001	< 0,01	2,238	0,003	< 0,001	< 0,001	0,066	0,001	3,084	0,904	0,021	2,822	< 0,001	< 0,001	0,089
CA1-48 [III]	0,080	< 0,01	4,673	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,005	0,148	5,114	2,061	< 0,001	3,696	< 0,001	< 0,001	0,067
CA1-49 [III]	< 0,001	< 0,01	0,715	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	5,295	0,353	< 0,001	2,068	< 0,001	< 0,001	0,056
CA1-49 [III]	0,092	< 0,01	3,198	0,009	< 0,001	< 0,001	0,101	0,196	40,502	1,209	< 0,001	3,958	< 0,001	0,002	0,051
CA1-50 Sup [III]	< 0,001	< 0,01	12,048	0,012	0,004	< 0,001	0,009	0,013	3,841	14,875	0,890	5,292	< 0,001	< 0,001	7,453
CA1-50 Sup [III]	< 0,001	< 0,01	14,408	0,016	0,006	< 0,001	0,014	0,010	4,014	20,777	1,298	5,473	< 0,001	< 0,001	13,027
CA1-50 Fundo [III]	< 0,001	< 0,01	10,558	0,005	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,036	10,382	0,691	3,161	< 0,001	< 0,001	8,817

Valores de Intervenção para Águas Doces Classe 2 (CONAMA)														
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	
0,100	0,010	-	0,001	0,050	0,050	0,009	0,300	-	-	0,100	0,025	0,010	0,180	

Tabela AI.7: Química da fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões correspondentes às campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março de 2014 ([III]).

(A vermelho estão identificados os valores que ultrapassam os valores de intervenção para as águas doces: COPAM, 2011)

Amostras	Profundidade (cm)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
Área CA0																
CA0-2A	0-5	0,133	<0,01	<0,001	<0,001	-	<0,001	0,020	0,209	1,452	1,722	0,459	5,670	<0,001	<0,001	1,454
	5-10	0,122	<0,01	0,378	<0,001	-	<0,001	0,015	0,681	1,503	0,791	0,621	4,666	<0,001	<0,001	0,595
	10-15	0,156	<0,01	<0,001	<0,001	-	<0,001	0,010	0,295	1,618	0,628	0,637	4,572	<0,001	<0,001	0,466
CA0-3A	0-5	0,280	<0,01	11,089	<0,001	-	<0,001	0,009	1,454	2,852	4,708	0,503	7,197	<0,001	0,002	1,512
	5-10	0,161	<0,01	2,353	<0,001	-	<0,001	0,006	3,682	1,122	1,584	0,182	3,817	<0,001	0,003	0,245
	10-15	0,135	<0,01	2,043	<0,001	-	<0,001	0,021	9,680	0,613	1,359	0,191	3,195	<0,001	0,007	1,816
Área CA1																
CA1-13	40-60	0,178	<0,01	46,457	0,465	-	<0,001	0,034	0,017	3,341	16,464	0,083	7,303	0,042	<0,001	81,180
	60-80	0,042	<0,01	191,193	3,211	<0,001	0,056	0,061	0,111	8,932	102,110	12,602	13,235	0,250	0,206	313,593
	80-100	0,033	<0,01	378,625	3,238	<0,001	0,277	0,023	<0,001	12,770	220,872	52,003	24,957	0,405	0,115	584,262
CA1-14	0-5	0,323	<0,01	374,728	2,962	-	0,059	1,005	0,057	27,490	1589,032	128,378	113,063	0,631	0,090	677,499
	5-10	0,223	<0,01	403,423	0,997	-	0,022	0,751	0,036	12,380	848,153	68,439	48,548	0,274	0,085	480,435
	10-15	0,464	<0,01	402,889	0,720	-	0,024	0,864	0,050	11,320	831,271	74,918	45,812	0,272	0,157	459,848
	15-20	0,247	<0,01	372,563	0,546	-	0,021	1,179	0,019	11,010	733,961	68,873	56,262	0,238	0,173	406,792
	20-40	0,399	<0,01	399,873	0,988	-	0,033	3,325	0,109	10,270	1036,325	89,490	57,569	0,384	1,280	512,660
	40-60	0,362	<0,01	307,378	0,283	-	0,002	0,040	90,511	6,762	691,006	68,721	77,818	0,247	0,276	304,739
	60-80	0,217	<0,01	528,533	0,699	<0,001	0,919	0,094	160,903	7,320	1118,928	119,598	89,156	0,286	0,158	653,238
	80-100	0,156	<0,01	523,118	1,536	<0,001	1,323	0,241	295,655	7,156	1489,699	140,351	145,478	0,506	0,232	733,820

CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	0,224	< 0,01	146,263	0,380	< 0,001	0,223	0,010	12,101	11,418	272,077	45,040	21,174	0,137	0,014	470,784
CA1-14 [III]	0-20	< 0,001	< 0,01	453,615	1,223	0,006	< 0,001	0,124	< 0,001	16,634	1021,280	23,624	52,038	0,286	0,030	892,207
	20-40	< 0,001	< 0,01	488,212	1,026	0,004	< 0,001	0,053	0,007	12,486	946,306	29,064	39,428	0,244	0,011	756,059
	40-60	0,029	< 0,01	490,093	1,089	0,005	< 0,001	0,088	0,009	12,390	982,583	25,925	40,935	0,285	0,024	812,090
	60-80	0,231	< 0,01	468,800	1,607	0,252	< 0,001	0,221	0,109	10,027	898,004	55,991	48,094	0,238	0,604	735,074
	80-100	1,935	< 0,01	477,900	2,990	0,205	< 0,001	0,399	< 0,001	9,694	925,645	61,803	49,812	0,234	0,658	781,497
	100-120	0,215	< 0,01	312,326	0,295	0,926	< 0,001	0,026	14,129	3,230	696,353	55,118	244,030	0,293	0,086	309,909
CA1-21	60-80	< 0,001	< 0,01	111,259	0,076	< 0,001	0,155	0,011	< 0,001	18,904	29,772	20,482	7,429	0,014	< 0,001	19,853
	80-100	0,018	< 0,01	13,821	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,013	0,732	10,080	5,497	0,235	7,836	< 0,001	< 0,001	0,952
CA1-22	0-5	0,127	< 0,01	24,440	< 0,001	-	< 0,001	0,002	29,043	13,260	9,586	5,895	20,539	0,001	0,010	1,003
	5-10	0,269	< 0,01	21,472	0,013	-	< 0,001	0,006	4,419	12,990	10,266	6,917	13,456	0,004	< 0,001	3,222
	10-15	0,140	< 0,01	25,330	< 0,001	-	< 0,001	< 0,001	20,571	10,900	10,263	1,768	10,377	< 0,001	0,002	1,033
	15-20	0,140	< 0,01	23,206	< 0,001	-	< 0,001	< 0,001	25,523	11,970	11,069	1,400	9,797	0,002	0,008	0,468
	20-40	0,161	< 0,01	42,375	0,015	-	< 0,001	0,081	2,913	12,690	50,499	1,224	21,325	0,007	< 0,001	9,106
	40-60	0,201	< 0,01	31,693	< 0,001	-	< 0,001	0,028	6,110	9,320	29,705	0,135	21,900	< 0,001	< 0,001	5,582
	60-80	< 0,001	< 0,01	116,688	0,278	< 0,001	0,268	0,008	< 0,001	15,195	49,947	59,755	16,353	0,041	< 0,001	27,333
CA1-22 [III]	0-20	< 0,001	< 0,01	32,340	< 0,001	0,041	< 0,001	< 0,001	0,174	15,111	14,877	4,943	8,423	< 0,001	< 0,001	0,489
	20-40	< 0,001	< 0,01	44,933	< 0,001	0,070	< 0,001	< 0,001	0,002	9,692	21,109	10,038	9,743	< 0,001	< 0,001	0,358
	40-60	< 0,001	< 0,01	31,728	< 0,001	0,019	< 0,001	0,003	0,011	10,222	17,449	2,692	11,153	< 0,001	< 0,001	1,029
	60-80	< 0,001	< 0,01	26,757	< 0,001	0,005	< 0,001	< 0,001	0,021	10,338	13,154	0,385	10,980	< 0,001	< 0,001	0,328
	80-100	< 0,001	0,017	39,377	< 0,001	0,023	< 0,001	< 0,001	0,039	9,661	12,735	7,516	11,853	< 0,001	< 0,001	0,546
CA1-23	60-80	0,157	< 0,01	83,214	0,960	< 0,001	< 0,001	0,013	< 0,001	8,876	29,448	1,562	5,674	0,082	0,003	121,222
	80-100	0,015	< 0,01	59,324	0,353	< 0,001	0,030	0,013	< 0,001	6,120	24,914	7,774	5,228	0,036	< 0,001	60,539
CA1-23 [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	31,008	< 0,001	0,018	< 0,001	< 0,001	0,591	5,927	42,028	3,415	13,368	< 0,001	< 0,001	4,818
	5-10	0,114	< 0,01	36,768	0,044	0,009	< 0,001	0,009	0,513	18,448	100,319	2,254	431,817	< 0,001	< 0,001	0,160

	10-15	0,097	< 0,01	30,044	0,045	0,013	< 0,001	0,006	0,404	20,190	108,808	1,157	571,339	< 0,001	< 0,001	0,132
	15-20	0,011	< 0,01	27,088	0,041	0,020	< 0,001	0,024	4,605	22,692	116,863	1,335	545,960	< 0,001	< 0,001	0,263
	20-25	0,004	< 0,01	26,370	0,005	0,013	< 0,001	0,002	0,898	11,296	75,477	0,483	225,709	< 0,001	< 0,001	0,304
	25-30	< 0,001	< 0,01	40,029	< 0,001	0,004	< 0,001	< 0,001	0,107	4,683	78,100	0,877	24,282	< 0,001	< 0,001	0,018
	30-33	< 0,001	< 0,01	41,098	0,020	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,039	5,443	69,298	0,980	26,717	< 0,001	0,061	0,165
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	< 0,001	< 0,01	22,857	< 0,001	0,037	< 0,001	< 0,001	0,011	3,710	20,920	6,229	6,726	< 0,001	< 0,001	3,060
CA1-26 [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	59,995	< 0,001	0,026	< 0,001	< 0,001	0,030	6,752	35,682	10,881	13,561	< 0,001	< 0,001	4,760
	5-10	< 0,001	< 0,01	64,093	< 0,001	0,028	< 0,001	< 0,001	0,041	7,502	36,399	11,845	14,192	< 0,001	< 0,001	4,806
	10-15	< 0,001	< 0,01	66,494	< 0,001	0,021	< 0,001	< 0,001	0,324	6,908	34,495	11,925	14,147	< 0,001	< 0,001	3,239
	15-20	< 0,001	< 0,01	72,726	< 0,001	0,020	< 0,001	< 0,001	0,001	7,331	37,299	13,664	15,634	< 0,001	< 0,001	2,307
	20-25	< 0,001	< 0,01	61,640	< 0,001	0,017	< 0,001	0,089	0,501	6,788	29,281	12,905	15,651	< 0,001	< 0,001	1,996
	25-30	< 0,001	< 0,01	53,378	< 0,001	0,015	< 0,001	0,036	0,639	6,254	25,003	11,299	14,398	< 0,001	< 0,001	1,284
30-35	< 0,001	< 0,01	49,606	< 0,001	0,020	< 0,001	0,002	0,827	6,678	25,001	11,414	15,238	< 0,001	< 0,001	2,625	
CA1-27	0-5	0,071	< 0,01	12,502	< 0,001	< 0,001	0,030	0,008	1,382	8,807	15,531	2,645	10,750	< 0,001	< 0,001	2,913
	5-10	0,007	< 0,01	9,318	< 0,001	< 0,001	0,025	< 0,001	< 0,001	2,148	10,749	1,789	6,476	< 0,001	< 0,001	3,620
	15-20	< 0,001	< 0,01	4,429	< 0,001	< 0,001	0,004	< 0,001	0,060	2,057	7,280	2,078	6,641	< 0,001	< 0,001	0,416
	20-25	< 0,001	< 0,01	6,187	< 0,001	< 0,001	0,009	0,027	0,162	1,847	10,006	1,774	8,089	< 0,001	< 0,001	2,082
	25-30	0,039	< 0,01	2,124	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,123	1,600	3,468	0,522	7,250	< 0,001	< 0,001	2,283
	30-35	< 0,001	< 0,01	3,394	< 0,001	< 0,001	0,005	< 0,001	1,508	1,694	6,433	1,081	7,813	< 0,001	< 0,001	1,637
	35-40	0,072	< 0,01	3,388	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,227	2,794	0,288	6,692	< 0,001	< 0,001	1,024
	40-43	0,023	< 0,01	0,891	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,070	0,957	0,134	5,214	< 0,001	< 0,001	0,401
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	9,335	< 0,001	0,007	< 0,001	< 0,001	0,018	2,724	16,890	2,071	8,730	< 0,001	< 0,001	0,786
CA1-27A Draga [III]	0-10	< 0,001	< 0,01	41,039	< 0,001	0,005	< 0,001	< 0,001	0,003	3,041	18,510	1,755	5,722	< 0,001	< 0,001	0,745
CA1-28	0-5	0,042	< 0,01	4,921	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,361	2,714	3,064	1,020	4,770	< 0,001	< 0,001	0,763
	5-10	0,009	< 0,01	4,920	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,577	2,483	3,270	1,591	4,381	< 0,001	< 0,001	0,297
	10-15	< 0,001	< 0,01	14,818	< 0,001	< 0,001	0,009	< 0,001	0,026	3,382	12,877	4,363	5,326	< 0,001	< 0,001	1,652
	15-20	0,036	< 0,01	6,321	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,640	2,667	6,030	0,989	4,068	< 0,001	< 0,001	0,081

	20-25	0,061	< 0,01	4,805	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,343	2,739	4,883	0,616	4,241	< 0,001	< 0,001	1,519
	25-30	0,014	< 0,01	3,050	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,549	3,002	0,308	4,170	< 0,001	< 0,001	0,469
	30-35	0,022	< 0,01	3,554	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,587	3,032	0,158	5,068	< 0,001	< 0,001	1,252
	35-37	0,028	< 0,01	6,313	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,156	2,701	6,123	0,299	6,073	< 0,001	< 0,001	0,637
CA1-29	0-5	0,016	< 0,01	19,753	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,221	9,896	40,025	0,098	7,951	< 0,001	< 0,001	0,205
	5-10	0,019	0,011	11,555	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	9,402	15,177	0,515	7,331	< 0,001	< 0,001	4,088
	10-15	0,008	< 0,01	11,179	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,896	6,848	8,861	0,128	13,394	< 0,001	< 0,001	1,124
	15-20	0,003	< 0,01	13,827	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	0,549	7,695	19,008	0,210	6,944	< 0,001	< 0,001	1,174
	20-25	0,010	< 0,01	12,025	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	8,882	19,549	0,093	7,558	< 0,001	< 0,001	0,339
	25-30	0,015	< 0,01	9,582	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,563	7,584	15,242	0,034	6,522	< 0,001	< 0,001	0,276
	30-35	0,386	< 0,01	9,644	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	8,431	12,614	0,117	7,178	< 0,001	< 0,001	0,485
	35-40	0,009	< 0,01	11,121	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	8,715	15,074	0,097	7,626	< 0,001	< 0,001	1,704
40-43	0,001	< 0,01	11,330	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,394	< 0,001	8,287	16,513	0,264	7,341	< 0,001	< 0,001	0,896	
CA1-28 Draga [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	14,577	< 0,001	0,015	< 0,001	< 0,001	0,195	3,454	12,547	6,981	8,068	< 0,001	< 0,001	2,321
CA1-29 Sup [III]	0-10	< 0,001	< 0,01	24,946	< 0,001	0,004	< 0,001	0,012	0,920	4,543	25,477	3,465	11,100	< 0,001	< 0,001	0,337
CA1-29 [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	7,795	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,187	5,958	9,432	0,505	5,731	< 0,001	< 0,001	0,037
	5-10	< 0,001	< 0,01	9,322	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,925	7,873	13,255	0,017	6,575	< 0,001	< 0,001	0,126
	10-15	< 0,001	< 0,01	10,611	< 0,001	0,001	< 0,001	0,010	0,918	10,081	14,157	0,011	8,016	< 0,001	< 0,001	0,015
	15-20	< 0,001	< 0,01	6,234	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	0,487	9,509	9,293	0,009	7,789	< 0,001	< 0,001	0,054
	20-25	< 0,001	< 0,01	4,621	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	0,631	8,462	5,611	0,007	7,296	< 0,001	< 0,001	0,270
	25-30	0,002	< 0,01	4,909	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	0,745	9,387	5,800	0,008	7,772	< 0,001	< 0,001	0,102
	30-35	0,047	< 0,01	13,562	0,024	0,002	< 0,001	0,002	1,933	25,708	51,830	0,022	570,350	< 0,001	< 0,001	0,236
	35-41	< 0,001	< 0,01	1,818	< 0,001	0,002	< 0,001	0,003	0,335	6,646	1,729	0,003	7,000	< 0,001	< 0,001	0,042
	41-46	0,098	< 0,01	30,390	0,046	0,017	< 0,001	0,024	2,916	384,391	57,286	0,756	393,043	0,001	0,021	5,652
CA1-32	10-20	0,070	< 0,01	114,698	1,249	< 0,001	0,054	0,007	< 0,001	7,952	53,091	7,599	9,710	0,097	0,008	216,512
	20-30	0,024	< 0,01	78,778	0,270	< 0,001	0,008	0,003	< 0,001	7,054	50,774	2,270	9,279	0,021	< 0,001	69,357
	30-40	0,044	< 0,01	23,781	< 0,001	< 0,001	0,008	0,027	36,176	2,965	20,757	1,498	7,047	< 0,001	< 0,001	4,710

	40-50	0,022	< 0,01	124,920	0,621	< 0,001	0,092	0,001	0,707	14,179	62,131	11,857	10,231	0,102	< 0,001	183,404
	50-60	0,069	0,012	30,610	< 0,001	< 0,001	0,011	0,008	7,526	2,350	25,059	3,319	9,517	< 0,001	< 0,001	4,097
	60-70+	0,092	0,028	98,085	0,096	< 0,001	0,129	0,014	26,614	6,959	56,692	18,015	12,451	0,036	< 0,001	67,937
CA1-32 Sed [III]	0-20	< 0,001	< 0,01	321,021	0,402	0,053	< 0,001	0,014	0,575	6,090	281,323	14,323	54,852	0,085	0,011	113,534
CA1-34	80-100	0,521	< 0,01	17,892	0,128	< 0,001	< 0,001	0,006	< 0,001	4,369	8,564	0,650	12,111	0,019	0,008	52,207
CA1-35	20-30	0,492	< 0,01	68,250	0,080	< 0,001	0,033	0,007	< 0,001	1,176	15,831	3,246	44,327	0,021	< 0,001	18,921
	30-40	< 0,001	< 0,01	0,797	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,005	< 0,001	0,183	0,574	0,015	1,341	< 0,001	< 0,001	0,106
	40-50	0,627	< 0,01	60,340	0,224	< 0,001	0,057	0,008	< 0,001	2,253	15,009	1,907	42,172	0,050	< 0,001	38,665
	50-60	1,013	< 0,01	71,048	0,235	< 0,001	0,388	0,008	< 0,001	3,543	18,552	6,768	42,378	0,068	< 0,001	41,294
	60-80	0,418	< 0,01	56,132	0,163	< 0,001	0,348	0,008	< 0,001	15,494	16,944	9,795	30,149	0,067	0,006	36,450
	80-100	0,506	< 0,01	55,691	0,212	< 0,001	0,406	0,006	< 0,001	2,975	16,341	10,696	33,584	0,058	< 0,001	34,995
CA1-35 [III]	0-20	0,116	< 0,01	26,412	0,020	0,292	< 0,001	0,029	1,088	1,809	8,769	14,956	20,538	0,032	0,133	10,349
	20-40	0,039	< 0,01	10,407	< 0,001	0,126	< 0,001	0,016	6,881	0,959	3,409	4,139	9,724	0,002	< 0,001	1,238
	40-60	0,130	< 0,01	36,376	0,005	0,350	< 0,001	0,013	6,917	5,367	10,578	21,079	17,365	0,015	0,010	5,978
	60-80	< 0,001	< 0,01	10,755	< 0,001	0,098	< 0,001	0,004	6,216	1,728	3,837	5,108	11,115	< 0,001	< 0,001	1,483
	80-100	< 0,001	< 0,01	9,547	< 0,001	0,066	< 0,001	< 0,001	8,927	1,131	3,676	3,589	9,331	< 0,001	< 0,001	1,398
CA1-47	0-5	0,007	< 0,01	6,171	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,533	2,908	4,226	0,597	4,322	< 0,001	< 0,001	0,975
	5-10	0,011	< 0,01	5,747	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	7,763	2,547	3,913	0,608	3,688	< 0,001	< 0,001	0,255
	10-15	< 0,001	< 0,01	4,017	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,745	2,385	2,701	0,322	3,428	< 0,001	< 0,001	0,739
	15-20	1,498	< 0,01	3,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,344	3,087	1,413	0,205	4,189	< 0,001	< 0,001	10,894
	20-25	0,014	< 0,01	2,916	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,400	2,430	1,781	0,134	2,810	< 0,001	< 0,001	1,139
	25-30	0,001	< 0,01	4,975	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	4,446	2,591	2,715	0,203	2,859	< 0,001	< 0,001	0,789
	30-35	0,004	< 0,01	3,635	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	8,028	2,611	2,213	0,079	2,740	< 0,001	< 0,001	0,098
	35-40	< 0,001	< 0,01	2,743	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,302	2,494	1,679	0,407	2,669	< 0,001	< 0,001	0,179
	40-42	0,099	< 0,01	3,291	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,797	3,083	0,251	3,056	< 0,001	< 0,001	2,077

	42-45	0,046	< 0,01	3,310	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,683	2,266	1,428	0,176	2,826	< 0,001	< 0,001	0,712
CA1-48 [III]	20-40	< 0,001	< 0,01	40,972	< 0,001	0,028	< 0,001	< 0,001	0,839	2,844	15,822	1,033	10,736	< 0,001	< 0,001	0,137
	40-60	< 0,001	< 0,01	34,976	< 0,001	0,034	< 0,001	< 0,001	0,011	7,063	16,281	1,073	8,591	< 0,001	< 0,001	0,056
	60-80	< 0,001	0,052	10,633	< 0,001	0,011	< 0,001	< 0,001	5,163	2,405	4,424	0,807	6,790	< 0,001	< 0,001	1,088
	80-100	< 0,001	< 0,01	8,705	< 0,001	0,004	< 0,001	< 0,001	0,496	3,251	4,722	0,928	8,831	< 0,001	< 0,001	0,264
CA1-51 Sed [III]	0-20	< 0,001	< 0,01	81,377	0,025	0,017	< 0,001	< 0,001	0,014	3,252	63,178	1,855	14,534	0,011	0,016	16,343
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	< 0,001	0,645	14,370	0,015	0,006	< 0,001	< 0,001	0,398	3,706	5,205	12,418	5,211	< 0,001	< 0,001	0,589
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	< 0,001	0,439	11,020	0,010	0,005	< 0,001	0,005	2,930	3,596	5,216	11,137	8,128	< 0,001	< 0,001	0,548
CA1-53 [III]	0-5	< 0,001	0,241	16,377	0,003	0,005	< 0,001	< 0,001	2,101	4,629	10,439	11,342	9,353	< 0,001	< 0,001	0,546
	5-10	< 0,001	0,295	10,565	0,004	0,003	< 0,001	< 0,001	0,986	4,276	6,152	8,993	8,708	< 0,001	< 0,001	0,874
	10-15	< 0,001	0,325	17,045	0,009	0,009	< 0,001	0,005	0,753	5,127	9,309	16,748	9,913	< 0,001	< 0,001	0,810
	15-20	< 0,001	0,322	10,056	0,006	0,003	< 0,001	< 0,001	2,106	4,323	5,278	9,675	9,015	< 0,001	< 0,001	0,724
	20-25	0,178	0,443	11,846	0,010	0,004	< 0,001	< 0,001	8,457	4,358	6,173	11,756	9,490	< 0,001	0,037	0,558
	25-30	< 0,001	0,489	13,022	0,012	0,005	< 0,001	< 0,001	4,305	4,352	6,908	12,905	9,836	< 0,001	< 0,001	0,510
	30-35	0,064	0,685	8,845	0,017	0,004	< 0,001	< 0,001	9,579	3,496	5,061	8,464	9,103	< 0,001	< 0,001	0,598
	35-40	< 0,001	0,638	8,737	0,015	0,003	< 0,001	0,009	7,022	3,849	5,474	7,406	9,328	< 0,001	< 0,001	0,324
	40-45	0,008	0,436	6,529	0,010	0,003	< 0,001	0,003	4,463	3,517	4,800	4,858	8,904	< 0,001	< 0,001	0,478
	45-50	0,102	0,431	9,322	0,013	0,005	< 0,001	< 0,001	7,614	8,798	19,359	5,704	138,660	< 0,001	< 0,001	0,874
	50-55	< 0,001	1,310	5,442	0,036	0,006	< 0,001	< 0,001	4,078	2,947	3,889	2,242	8,188	< 0,001	< 0,001	0,312
CA1-53 Core [III]	0-10	< 0,001	0,408	17,594	0,008	0,007	< 0,001	< 0,001	0,805	4,442	9,005	17,500	9,599	< 0,001	< 0,001	0,565
Área CA2																
CA2-10	0-20	3,498	< 0,01	339,196	2,436	-	0,067	0,029	0,273	60,610	1753,112	67,972	217,900	0,721	0,508	508,216
	20-40	1,269	< 0,01	426,735	0,644	-	0,028	0,049	0,066	21,280	1115,024	39,304	61,440	0,455	0,689	373,273
	40-60	0,111	< 0,01	414,211	0,819	-	0,026	0,029	0,443	20,120	1069,401	38,087	60,630	0,432	0,617	356,004
	80-100	0,044	< 0,01	553,435	0,817	< 0,001	0,420	0,018	4,655	16,106	1537,866	54,928	71,467	0,669	0,184	743,418
CA2-12	0-20	0,923	< 0,01	330,292	0,064	-	< 0,001	0,009	29,301	19,120	465,700	28,273	109,339	0,238	0,182	245,608
	20-40	0,530	< 0,01	282,861	< 0,001	-	0,011	0,008	20,306	15,660	411,009	35,590	94,086	0,147	0,056	57,260

	40-60	0,166	<0,01	276,996	0,178	-	0,024	0,527	0,029	12,730	409,773	103,389	85,917	0,161	0,049	130,747
	60-80	0,011	0,053	485,512	0,203	<0,001	0,955	0,184	1,009	22,195	645,701	176,558	152,152	0,376	0,134	280,119
	80-100	0,190	0,037	445,015	1,346	<0,001	1,379	0,314	<0,001	15,974	564,096	165,439	121,580	0,307	0,287	256,575
CA2-12	2,70 m	<0,001	<0,01	201,669	0,017	0,269	<0,001	0,031	68,603	8,340	279,840	16,475	71,425	0,144	0,010	94,610
Área CA3																
CA3-18	80-100	<0,001	<0,01	505,029	6,311	<0,001	0,053	0,048	<0,001	23,745	223,846	45,066	60,577	0,181	<0,001	223,997
CA3-36 Sup	0-5	<0,001	<0,01	4,596	0,227	0,035	<0,001	0,043	<0,001	5,445	31,475	4,521	0,112	<0,001	104,347	48,471
CA3-38	0-20	0,005	<0,01	161,419	0,362	<0,001	0,061	0,013	<0,001	5,598	51,003	22,057	23,383	0,019	<0,001	29,083
	20-30	<0,001	<0,01	118,105	0,874	<0,001	0,022	0,060	<0,001	5,032	42,719	21,289	20,076	0,029	<0,001	38,003
	30-40	<0,001	<0,01	67,493	0,672	<0,001	0,020	0,054	<0,001	3,182	26,160	18,423	15,935	0,018	<0,001	24,444
	40-50	<0,001	<0,01	78,070	0,463	<0,001	0,080	0,004	<0,001	5,895	28,948	25,058	19,100	0,026	<0,001	30,832
	50-60	<0,001	<0,01	30,320	0,013	<0,001	0,139	0,009	5,053	5,534	13,859	14,407	16,904	0,007	<0,001	11,530
	60-80	<0,001	<0,01	49,822	0,343	<0,001	0,078	0,004	<0,001	4,639	18,410	16,118	17,787	0,009	<0,001	16,358
	80-100	<0,001	<0,01	30,342	0,043	<0,001	0,086	<0,001	2,018	9,025	15,048	11,408	16,287	<0,001	<0,001	6,790
CA3-38 [III]	0-20	<0,001	<0,01	6,435	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,215	3,013	2,689	0,380	3,597	<0,001	<0,001	1,110
	20-40	0,123	<0,01	90,595	0,002	0,017	<0,001	<0,001	0,090	24,104	54,473	1,664	283,092	<0,001	<0,001	0,579
	40-60	0,176	<0,01	27,562	<0,001	0,016	<0,001	<0,001	1,744	5,884	7,062	2,782	7,240	<0,001	<0,001	1,858
	60-80	<0,001	<0,01	93,607	<0,001	0,023	<0,001	0,014	0,420	8,754	40,242	6,798	13,266	<0,001	<0,001	0,234
	80-100	0,178	<0,01	158,748	0,031	0,009	<0,001	<0,001	0,155	27,515	171,910	1,968	718,105	<0,001	<0,001	0,590
	1,20 m	<0,001	<0,01	107,094	<0,001	0,025	<0,001	<0,001	0,031	9,664	36,649	8,134	19,480	<0,001	<0,001	0,171

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)															
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	
3,500	0,010	-	0,005	0,005	0,050	2,000	2,450	-	-	0,400	-	0,020	0,010	1,050	

Tabela AI.8: Valores torais obtidos através da extracção por *Aqua Regia* para as aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013 e Março de 2014 (III).

Amostras	Profundidade (cm)	Valores Totais (Extracção com <i>Aqua Regia</i>)										
		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Co (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Área CA0												
CA0-1A	0-10	1,95	2,00	10,93	26,74	178,16	22739,07	2,27	190,37	4,93	5,08	40,26
	10-20	4,29	0,82	8,13	152,76	129,41	48972,88	4,90	355,12	4,88	11,00	35,77
CA0-2A	0-5	1,67	0,18	6,88	96,24	109,37	65336,63	6,53	118,64	7,50	11,40	77,36
	5-10	6,62	< 0,025	9,19	70,38	57,14	46903,72	4,69	154,29	9,22	8,53	57,43
	10-15	< 0,25	0,08	6,34	105,88	63,29	65058,94	6,51	145,60	6,85	13,17	65,89
CA0-2B	0-20	10,35	0,06	3,28	17,07	13,05	20640,29	2,06	135,62	4,83	4,82	44,19
	20-40	1,51	< 0,025	4,00	17,85	14,25	29402,36	2,94	144,96	5,69	4,76	34,65
	40-60	6,53	< 0,025	4,33	21,23	14,84	25159,24	2,52	145,50	5,77	5,01	32,44
CA0-3A	0-5	8,93	0,62	4,48	41,14	26,47	29121,86	2,91	50,37	6,85	12,30	116,27
	5-10	7,40	0,03	9,18	92,38	33,02	55554,45	5,56	95,62	9,43	14,19	86,09
	10-15	9,53	< 0,025	8,55	97,86	31,68	70848,34	7,08	72,85	8,76	12,10	60,54
Área CA1												
CA1-13	0-20	5,57	14,99	5,44	22,30	87,21	34188,46	3,42	245,51	8,48	61,59	2475,34
	20-40	8,03	13,20	4,20	18,04	66,18	29910,09	2,99	251,62	6,51	95,00	2959,81
	40-60	12,69	13,17	4,40	19,73	67,81	34702,24	3,47	490,37	6,74	106,29	3260,84
	60-80	3,44	66,28	4,79	31,89	287,06	50138,30	5,01	343,32	10,38	338,47	9213,02
	80-100	33,22	37,78	5,07	26,97	325,58	110243,36	11,02	775,76	11,31	793,04	25069,06
	2,50 m	39,32	6,75	10,72	19,61	527,02	163074,72	16,31	948,99	15,18	965,39	38067,18
CA1-14	0-5	40,37	7,96	18,76	18,98	187,80	53618,42	5,36	2078,51	11,35	453,55	18361,24

	5-10	46,24	8,18	15,25	14,60	250,25	79789,24	7,98	3026,81	12,45	685,68	24298,26
	10-15	51,57	5,23	9,64	5,69	229,00	96314,74	9,63	1661,22	9,34	736,47	29521,91
	15-20	45,19	10,51	4,39	7,05	246,18	92979,15	9,30	1595,52	10,54	800,15	29225,42
	20-40	212,61	7,64	3,21	9,35	347,71	78554,41	7,86	1153,32	10,42	985,13	25982,92
	40-60	25,72	14,64	5,22	25,90	116,36	43624,83	4,36	288,96	12,62	246,13	11292,88
	60-80	< 0,25	8,27	6,64	43,08	162,73	55972,30	5,60	293,27	18,68	165,81	7302,24
	80-100	3,54	6,54	4,82	31,71	221,92	57755,60	5,78	319,47	12,97	310,22	10072,46
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	< 0,25	19,23	3,44	48,14	92,82	43201,88	4,32	99,67	17,39	18,59	1734,35
CA1-14 [III]	0-20	22,29	9,04	6,33	28,19	273,55	28442,14	2,84	897,63	10,45	231,13	5375,06
	20-40	28,52	7,56	8,26	29,16	294,16	34154,09	3,42	1173,11	12,33	310,04	8346,47
	40-60	27,61	5,19	5,76	26,65	250,35	32226,36	3,22	941,87	11,13	321,48	8121,34
	60-80	35,38	7,68	5,84	24,44	248,88	29520,29	2,95	564,48	11,28	686,59	15107,39
	80-100	7,02	9,17	5,15	26,39	246,42	35556,56	3,56	400,19	10,61	431,25	7614,37
	100-120	< 0,25	1,61	4,62	26,87	112,41	23332,08	2,33	244,16	10,38	73,42	2134,30
	1,30 m	32,35	20,91	15,47	35,96	445,63	49762,80	4,98	1110,80	17,22	887,29	19498,83
1,40 m	20,39	11,99	7,65	28,69	355,63	48463,43	4,85	959,31	12,84	647,82	14992,05	
CA1-20	0-20	< 0,25	3,30	9,84	19,93	17,09	36124,35	3,61	174,10	7,26	23,20	333,84
	20-40	< 0,25	0,54	8,01	20,15	14,74	26791,03	2,68	162,38	5,98	10,42	200,51
	40-60	< 0,25	0,58	5,50	21,64	15,18	30325,74	3,03	192,84	6,69	9,03	169,87
CA1-21	0-20	25,31	3,63	8,77	19,49	20,17	28084,51	2,81	207,81	6,11	20,42	568,60
	20-40	4,32	11,90	9,52	22,85	40,19	33395,71	3,34	169,95	7,62	52,39	1445,91
	40-60	1,31	17,25	5,90	27,68	84,86	39466,77	3,95	129,82	9,04	128,13	2533,98
	60-80	< 0,25	23,20	6,07	34,63	140,18	54359,46	5,44	413,53	11,64	121,36	3302,52
	80-100	24,82	25,62	6,23	43,54	168,16	35293,32	3,53	528,90	12,60	137,10	4290,40
CA1-21 (lixí)	0-20	5,54	149,93	5,78	33,22	305,55	24884,79	2,49	228,16	8,90	82,59	1328,26
	20-40	13,72	29,88	5,15	39,72	156,16	44047,72	4,40	189,43	12,68	121,70	3297,26

	40-60	5,77	15,87	5,08	37,84	109,03	38727,30	3,87	231,44	10,54	87,26	2381,86
CA1-22	0-5	6,06	21,32	3,99	26,73	130,43	42726,55	4,27	440,18	11,01	161,57	4646,99
	5-10	10,23	18,14	7,00	33,41	96,63	40762,58	4,08	434,72	9,05	99,80	3383,74
	10-15	9,17	14,57	5,45	25,16	70,91	33743,25	3,37	249,54	7,58	64,06	2537,66
	15-20	22,80	28,11	15,75	34,46	111,40	45944,60	4,59	399,99	13,43	214,09	3843,86
	20-40	21,96	36,31	28,55	30,73	154,88	52421,77	5,24	548,12	12,23	295,14	12945,98
	40-60	12,31	17,48	15,04	23,95	87,52	35547,11	3,55	285,27	8,65	126,57	3244,64
	60-80	< 0,25	21,68	8,43	42,75	151,34	45510,74	4,55	502,45	11,45	142,57	4004,62
	80-100	20,48	33,32	13,36	30,17	219,70	34687,73	3,47	520,02	9,94	182,73	4283,80
CA1-22 [III]	0-20	5,80	22,43	11,03	34,96	179,43	30598,86	3,06	483,00	11,37	99,13	3510,12
	20-40	11,26	24,61	9,30	36,23	185,41	33993,51	3,40	458,85	12,02	144,19	4110,50
	40-60	< 0,25	32,03	10,55	40,55	204,87	36356,16	3,64	497,23	13,29	192,25	5149,51
	60-80	< 0,25	28,73	6,92	40,17	231,65	38320,72	3,83	568,96	12,48	348,23	6816,31
	80-100	8,84	25,92	9,34	46,90	410,25	32971,20	3,30	370,94	10,93	644,20	10852,65
CA1-23	0-20	4,34	8,07	12,51	23,52	35,64	36916,63	3,69	172,79	7,29	60,17	2278,39
	20-40	12,43	13,15	9,08	29,81	45,45	45170,00	4,52	282,45	10,10	59,02	1590,89
	40-60	3,97	13,35	5,30	22,17	43,86	37667,53	3,77	248,75	8,44	67,79	1902,86
	60-80	< 0,25	14,12	5,80	36,97	109,30	45919,14	4,59	334,79	10,75	104,75	3160,83
	80-100	19,95	18,82	5,51	36,53	171,26	52467,20	5,25	409,44	12,16	237,75	7318,42
CA1-23 [III]	0-5	5,93	10,36	6,62	43,71	208,34	50220,80	5,02	207,06	15,25	281,23	5247,58
	5-10	< 0,25	8,56	7,09	41,55	143,38	39240,12	3,92	341,91	13,91	71,20	2188,32
	10-15	3,75	20,06	4,94	33,91	158,55	32057,03	3,21	280,03	9,89	102,67	2754,29
	15-20	< 0,25	11,54	3,93	29,78	133,00	32796,15	3,28	224,71	8,86	121,50	3286,94
	20-25	< 0,25	20,25	5,06	34,31	117,32	31219,85	3,12	210,35	11,62	75,42	2233,31
	25-30	< 0,25	9,88	4,74	29,62	128,78	32007,79	3,20	183,66	9,75	131,66	3335,92
	30-33	7,88	24,61	2,25	26,66	134,93	26314,43	2,63	92,48	7,51	185,24	3855,83
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	37,37	24,52	11,18	43,54	324,05	43683,11	4,37	1155,16	16,83	632,42	13445,31

CA1-26 [III]	0-5	72,97	0,53	18,22	20,50	550,68	138471,03	13,85	301,88	26,66	3985,97	32622,18
	5-10	47,20	2,33	17,17	21,84	497,07	108515,79	10,85	328,49	27,06	3689,63	25408,96
	10-15	110,28	1,29	22,31	20,56	672,30	142885,45	14,29	608,26	27,87	6103,96	43490,80
	15-20	82,37	0,75	21,26	20,88	473,27	150102,57	15,01	428,43	30,12	4165,33	30850,77
	20-25	21,52	7,70	7,23	34,92	221,70	56422,71	5,64	286,66	18,32	1526,99	12584,99
	25-30	4,14	2,84	6,17	30,04	206,98	41590,19	4,16	240,22	15,07	1077,74	10085,22
	30-35	6,77	2,88	8,29	36,64	222,40	55750,98	5,58	310,55	19,22	1750,19	13638,37
CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	10,98	5,73	8,67	24,29	577,65	135332,91	13,53	130,58	18,95	3403,40	29137,69
CA1-26 Sed.	0-20	6,60	12,56	10,44	59,69	244,31	107971,50	10,80	1162,35	18,08	500,75	18064,96
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	7,87	< 0,025	3,76	52,54	62,97	28433,99	2,84	73,62	16,50	2,49	185,36
CA1-27	0-5	8,99	10,04	6,13	52,71	159,71	38243,56	3,82	128,64	16,81	48,45	1818,87
	5-10	< 0,25	1,23	4,68	52,65	80,53	48948,98	4,89	91,63	17,01	16,56	771,46
	10-15	< 0,25	< 0,025	5,17	51,58	95,06	56471,23	5,65	123,43	16,95	7,22	354,94
	15-20	< 0,25	< 0,025	7,00	56,59	97,70	48594,62	4,86	212,96	19,73	8,56	273,86
	20-25	< 0,25	1,51	5,97	57,70	93,32	42638,11	4,26	137,79	20,71	24,95	627,47
	25-30	< 0,25	0,45	4,48	54,27	85,74	46660,64	4,67	85,08	17,70	7,82	339,03
	30-35	< 0,25	< 0,025	5,01	57,78	90,34	45598,21	4,56	172,31	19,34	9,59	370,15
	35-40	< 0,25	< 0,025	5,05	57,71	74,28	38467,32	3,85	104,33	18,44	4,47	219,60
40-43	< 0,25	1,24	4,54	58,88	72,10	33860,37	3,39	102,86	18,75	2,15	135,83	
CA1-27A Draga [III]	0-10	11,50	8,26	10,29	37,13	161,54	55331,41	5,53	967,52	10,93	499,16	17979,39
CA1-28 Draga [III]	0-5	29,90	25,14	13,50	34,55	181,60	65870,91	6,59	615,46	24,54	1204,62	11673,53
CA1-28	0-5	< 0,25	< 0,025	5,37	40,86	56,88	25462,27	2,55	155,87	13,66	3,74	317,92
	5-10	< 0,25	< 0,025	4,00	31,81	46,27	35959,40	3,60	140,62	12,22	4,82	313,54
	10-15	< 0,25	1,25	5,84	48,29	78,16	28489,62	2,85	166,61	17,45	11,95	730,84
	15-20	< 0,25	< 0,025	4,04	41,24	52,23	19555,17	1,96	126,18	15,33	4,34	242,16
	20-25	< 0,25	1,54	3,51	40,65	37,85	16858,90	1,69	94,35	13,87	1,67	71,58

	25-30	< 0,25	< 0,025	3,80	45,24	31,64	57563,89	5,76	79,12	15,48	< 0,025	58,92
	30-35	< 0,25	< 0,025	4,56	32,39	70,54	57632,58	5,76	142,81	10,85	6,09	70,90
	35-37	49,23	< 0,025	3,73	31,83	92,59	30876,40	3,09	149,52	10,74	6,49	55,90
	37-40	< 0,25	< 0,025	3,99	41,43	54,36	56847,22	5,68	94,27	14,66	3,50	121,36
CA1-29	0-5	4,67	14,88	7,77	39,11	173,31	28600,01	2,86	704,01	11,48	314,72	11184,82
	5-10	< 0,25	9,05	5,01	34,41	83,82	29186,07	2,92	271,20	8,56	76,46	3353,04
	10-15	< 0,25	11,60	15,77	35,15	84,86	42617,65	4,26	472,38	10,98	87,63	3073,64
	15-20	< 0,25	< 0,025	5,17	40,30	73,01	62646,59	6,26	573,68	14,21	4,63	1082,66
	20-25	< 0,25	< 0,025	5,04	36,77	55,90	32162,77	3,22	401,27	13,24	3,83	412,43
	25-30	< 0,25	< 0,025	4,48	39,97	58,55	35117,33	3,51	358,82	13,62	4,02	223,77
	30-35	< 0,25	< 0,025	4,68	40,29	58,25	35841,81	3,58	346,98	13,63	4,94	128,08
	35-40	< 0,25	< 0,025	4,79	38,54	57,01	36130,04	3,61	414,76	13,40	3,35	134,01
	40-43	< 0,25	207,22	7,33	56,65	172,25	46251,96	4,63	638,82	22,51	353,73	835,49
	43-46	< 0,25	< 0,025	6,69	41,69	99,30	44397,37	4,44	551,80	14,41	116,58	1679,08
CA1-29 Sup [III]	0-10	< 0,25	15,84	8,08	45,70	123,14	39552,46	3,96	535,96	14,86	204,86	7033,36
CA1-29 [III]	0-5	3,13	19,14	7,06	40,64	109,30	37024,30	3,70	525,47	14,37	73,40	1876,86
	5-10	< 0,25	< 0,025	5,76	41,35	71,25	35280,16	3,53	415,96	14,65	5,26	130,75
	10-15	< 0,25	< 0,025	5,48	38,59	72,91	33082,55	3,31	600,23	14,44	2,69	127,70
	15-20	< 0,25	< 0,025	5,86	48,11	79,43	39503,51	3,95	725,53	16,59	1,53	99,29
	20-25	3,10	10,54	5,94	44,88	73,57	36354,83	3,64	682,01	16,52	2,92	93,56
	25-30	< 0,25	< 0,025	6,05	42,90	75,34	36000,28	3,60	652,23	16,10	1,74	94,15
	30-35	< 0,25	< 0,025	6,07	45,73	79,98	43887,50	4,39	633,44	16,63	2,03	114,37
	35-41	< 0,25	< 0,025	6,47	46,84	77,86	37814,54	3,78	818,30	16,59	3,09	76,08
	41-46	1,94	< 0,025	4,13	36,93	54,19	24740,07	2,47	379,03	11,84	2,99	47,81
	2,50 m	48,06	23,31	15,34	41,16	414,03	60491,72	6,05	2307,55	15,03	1505,34	26052,68
CA1-30	0-20	5,93	1,36	6,23	60,90	88,02	51398,02	5,14	566,51	20,16	7,07	436,30
	20-40	< 0,25	< 0,025	5,68	54,40	73,09	51628,09	5,16	441,48	19,12	4,78	228,82

CA1-31	0-20	< 0,25	1,25	4,72	56,38	79,17	48998,42	4,90	238,63	19,01	38,90	661,37
	20-40	< 0,25	< 0,025	3,49	70,44	69,44	52065,93	5,21	115,60	21,62	2,63	188,57
	40-60	< 0,25	< 0,025	4,21	59,43	59,56	73544,28	7,35	140,90	18,92	2,80	159,06
CA1-32 Sed [III]	0-20	56,59	39,42	8,87	46,10	331,89	52491,70	5,25	885,41	16,70	584,94	19347,69
CA1-32	0-10	28,13	25,39	6,38	35,06	155,81	59020,93	5,90	541,99	10,28	384,98	10601,90
	10-20	< 0,25	23,20	5,29	36,56	130,43	55904,28	5,59	307,85	12,59	212,00	6951,57
	20-30	< 0,25	32,08	7,61	38,85	157,73	60851,92	6,09	609,96	12,35	263,71	8833,93
	30-40	< 0,25	19,64	6,37	39,70	126,19	52133,20	5,21	317,97	11,84	170,85	4803,36
	40-50	< 0,25	20,02	5,27	39,32	137,57	43484,21	4,35	344,87	12,43	211,69	4797,62
	50-60	46,83	38,43	8,26	34,86	283,22	72817,80	7,28	831,84	12,72	633,05	15096,75
	60-70+	14,98	34,50	7,90	39,67	284,68	71233,70	7,12	946,81	12,56	683,09	14891,90
CA1-33	0-20	43,15	10,65	11,22	35,08	362,05	131878,38	13,19	778,48	19,09	1894,90	36419,30
	20-40	96,10	9,31	15,01	39,55	515,83	183232,89	18,32	1096,28	20,50	2763,11	47947,24
	40-60	36,29	8,04	12,27	28,87	399,20	138128,50	13,81	992,73	17,61	1827,37	38244,59
CA1-34	0-20	72,86	14,55	5,94	33,42	258,30	48653,81	4,87	738,75	13,04	467,79	10758,77
	20-40	< 0,25	2,22	3,60	29,16	88,80	40491,03	4,05	225,32	10,23	276,80	3082,09
	40-60	< 0,25	2,68	3,84	26,41	89,39	40227,07	4,02	279,51	10,19	284,35	3514,83
	60-80	< 0,25	1,64	3,35	27,73	55,71	28843,55	2,88	157,01	8,56	87,88	1459,96
	80-100	< 0,25	1,18	2,92	26,30	60,37	31271,34	3,13	151,09	9,22	99,86	1648,83
CA1-35	0-10	< 0,25	3,64	3,51	24,40	49,50	27746,38	2,77	139,86	6,70	23,34	684,29
	10-20	< 0,25	2,54	3,18	22,46	39,25	21478,81	2,15	88,52	6,45	14,66	404,27
	20-30	< 0,25	0,40	3,00	19,38	35,52	13621,04	1,36	83,08	5,94	3,29	124,93
	30-40	< 0,25	0,37	3,25	23,76	41,92	15757,48	1,58	99,16	7,03	4,34	137,42
	40-50	< 0,25	0,85	3,24	21,47	35,44	21336,63	2,13	84,24	6,55	7,60	215,15
	50-60	< 0,25	0,56	2,72	20,16	32,26	21297,36	2,13	61,53	6,36	3,81	127,52
	60-80	< 0,25	0,68	2,17	20,37	32,77	18649,26	1,86	56,46	5,90	7,87	198,11
	80-100	< 0,25	0,32	2,62	23,03	37,19	22497,75	2,25	66,57	7,11	5,63	172,71

CA1-35 [III]	0-20	9,16	0,46	3,95	22,04	43,83	15863,91	1,59	108,21	6,87	5,80	264,16
	20-40	< 0,25	0,28	3,38	22,69	36,65	16000,57	1,60	79,22	7,28	6,19	219,01
	40-60	< 0,25	1,20	3,72	23,50	42,41	14943,85	1,49	102,05	6,48	11,38	416,89
	60-80	< 0,25	0,19	2,83	22,98	35,98	16445,46	1,64	66,38	7,11	3,60	132,04
	80-100	10,36	0,84	2,73	22,63	39,51	17029,00	1,70	65,85	7,05	3,58	121,60
CA1-47	0-5	< 0,25	16,18	7,44	61,09	99,36	48102,21	4,81	559,09	20,68	21,23	300,62
	5-10	< 0,25	15,02	8,20	60,83	109,17	54204,63	5,42	684,40	22,72	21,15	360,76
	10-15	< 0,25	6,55	5,10	46,96	75,46	37812,16	3,78	462,34	16,11	26,24	302,94
	15-20	31,98	7,45	4,74	51,40	73,06	37297,10	3,73	395,44	15,43	20,30	362,73
	20-25	< 0,25	3,31	6,02	48,78	84,78	47728,58	4,77	670,04	17,97	7,83	119,86
	25-30	< 0,25	2,89	5,91	53,62	78,95	46678,65	4,67	554,81	18,29	13,09	84,30
	30-35	< 0,25	5,81	4,25	37,90	58,96	33063,34	3,31	310,78	14,67	18,39	97,78
	35-40	< 0,25	2,05	6,80	45,82	85,21	51109,41	5,11	723,34	18,33	5,83	94,96
	40-42	< 0,25	2,22	6,04	48,75	84,22	49949,47	4,99	555,33	17,55	13,01	197,99
42-45	< 0,25	2,57	6,30	50,40	81,11	52079,41	5,21	590,94	18,72	3,77	83,16	
CA1-48 [III]	0-20	4,48	14,15	4,88	45,13	85,37	28502,27	2,85	262,37	9,05	88,28	2266,99
	20-40	< 0,25	26,44	7,06	33,64	137,88	26817,41	2,68	672,85	9,67	132,80	3459,38
	40-60	< 0,25	12,71	5,27	29,90	131,13	26240,79	2,62	330,44	8,73	141,56	3723,09
	60-80	22,18	10,83	5,43	26,75	205,98	29124,20	2,91	205,78	10,25	258,98	4891,78
	80-100	10,16	7,01	6,27	20,88	128,82	21866,74	2,19	295,19	7,25	238,91	3598,34
CA1-51 Sed [III]	0-20	56,16	52,33	13,85	75,79	473,89	96442,48	9,64	1812,06	17,57	1860,09	32918,22
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	52,03	15,19	8,97	19,42	451,91	122879,04	12,29	1544,96	16,79	2903,71	32195,65
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	105,96	4,68	16,20	20,34	414,47	115039,81	11,50	1035,03	21,95	4250,65	30750,58
CA1-53 [III]	0-5	100,30	6,36	18,41	16,58	402,80	139651,32	13,97	905,71	24,57	4895,21	33895,03
	5-10	102,35	1,98	23,58	16,44	343,65	136464,21	13,65	907,45	29,45	4569,49	38996,43
	10-15	134,40	2,70	19,55	17,29	468,32	138963,87	13,90	723,52	27,34	5098,60	32424,86
	15-20	119,77	2,05	17,48	15,88	431,27	181738,31	18,17	1040,36	28,16	5058,47	33816,00

	20-25	116,68	1,38	16,75	16,50	408,81	135248,39	13,52	1336,35	22,16	5178,09	23655,61
	25-30	46,57	6,15	11,19	33,31	364,34	72542,60	7,25	911,02	20,41	2783,60	16032,95
	30-35	28,72	2,80	10,85	32,69	346,42	57080,11	5,71	655,13	18,69	1918,23	11031,63
	35-40	75,42	3,74	16,22	26,72	540,82	92559,08	9,26	569,14	22,86	3211,27	16537,41
	40-45	24,20	3,48	12,31	32,94	346,07	58250,42	5,83	639,80	18,80	2130,97	12332,70
	45-50	19,45	2,62	13,25	31,40	232,29	57810,59	5,78	560,67	19,03	2243,62	12696,13
	50-55	124,87	7,14	22,40	30,49	234,10	112827,79	11,28	456,28	11,20	733,67	23291,72
CA1-53 Core [III]	0-10	40,47	5,60	10,66	25,29	354,93	123524,62	12,35	972,80	15,04	2078,59	32439,95
CA1-56 Vala [IV]	100-160	14,00	211,88	14,26	66,02	995,60	41596,66	4,16	305,81	35,05	259,34	3060,34
	160-300	< 0,25	48,02	8,36	36,24	316,15	19834,96	1,98	206,75	17,73	17,39	492,74
CA1-57 [IV]	0-20	4,99	90,25	16,56	52,58	380,15	29426,74	2,94	411,36	24,26	223,79	6064,20
	20-40	3,06	40,16	10,67	38,43	254,44	21462,80	2,15	155,02	13,47	98,83	1956,73
	40-60	2,63	27,96	7,93	35,04	182,77	37956,55	3,80	94,12	11,26	82,27	1373,09
	60-80	35,00	85,26	10,09	39,57	407,27	18968,05	1,90	600,52	17,29	236,52	5182,64
	80-100	52,32	97,57	14,82	37,45	636,53	43431,66	4,34	764,61	21,75	538,11	10152,86
Área CA2												
CA2-10 Sulfatos	0-5	< 0,25	44,25	25,38	< 0,025	21,59	1473,98	0,15	2086,52	42,19	66,06	31343,88
CA2-10	0-20	70,94	59,05	3,98	26,14	132,91	52408,44	5,24	138,03	14,96	427,32	28960,99
	20-40	61,45	3,12	5,69	17,76	105,75	153085,68	15,31	94,47	12,48	1664,54	58458,16
	40-60	95,26	3,66	7,15	20,60	103,06	162602,44	16,26	141,16	16,95	1785,94	65720,57
	60-80	24,72	11,65	6,68	38,55	418,27	211564,47	21,16	263,82	17,19	1502,54	46804,91
	80-100	34,01	14,47	8,74	28,48	348,05	207635,92	20,76	215,01	18,09	1803,57	51325,50
	2,40 m	38,63	39,11	2,97	22,62	257,73	124755,70	12,48	113,45	12,75	845,77	36257,51
CA2-10 (lixivi)	0-20	41,75	40,95	8,24	60,48	343,10	124435,36	12,44	252,33	17,45	1199,30	32856,79
	20-40	78,66	6,26	5,82	58,22	423,15	231499,91	23,15	211,52	18,44	1399,47	55838,19
	40-60	81,37	11,85	9,58	23,20	418,04	216302,48	21,63	193,16	17,13	1897,32	52724,88
	60-80	6,90	159,69	4,11	34,85	135,40	63162,90	6,32	121,13	18,72	1078,72	15260,13

	80-100	60,03	66,16	5,42	30,77	201,90	73659,30	7,37	157,46	17,94	1050,14	16916,62
CA2-10A [III]	0-20	9,58	35,81	7,95	62,87	275,04	55863,30	5,59	1278,89	11,96	652,98	11590,98
	20-40	20,91	38,37	19,74	35,53	227,04	42467,60	4,25	1229,88	12,09	678,33	12547,68
	40-60	24,74	31,01	9,71	51,96	241,27	58474,53	5,85	831,24	13,42	757,07	15943,99
CA2-10A Vala [IV]	60-150	< 0,25	11,15	7,97	54,49	116,21	43706,16	4,37	210,61	22,17	10,59	534,27
	180-260	< 0,25	8,10	6,47	64,64	120,74	54496,80	5,45	87,93	26,16	12,93	383,56
CA2-11	0-20	23,13	6,68	4,79	12,73	101,10	54373,88	5,44	199,77	8,80	586,83	17046,14
	20-40	3,22	5,27	2,80	20,33	15,59	36997,40	3,70	106,38	8,04	10,11	673,20
	40-60	< 0,25	3,90	2,69	20,14	14,90	35265,99	3,53	100,04	7,89	4,80	557,33
CA2-12	0-20	129,75	31,62	3,54	17,52	279,51	86614,80	8,66	135,44	12,39	993,96	20606,42
	20-40	62,77	46,23	6,44	24,49	496,41	89155,18	8,92	194,85	16,20	1081,80	22208,91
	40-60	1892,20	63,55	25,22	27,43	3134,50	72592,22	7,26	4944,89	24,51	3733,51	28175,47
	60-80	598,82	36,63	15,33	44,30	2620,93	74830,74	7,48	3060,18	29,64	3050,90	22042,91
	80-100	997,73	70,41	22,44	40,65	3246,94	75247,32	7,52	4379,39	30,41	3997,06	23988,02
	2,70 m	11,30	2,83	8,08	42,80	60,86	34840,65	3,48	73,78	19,51	62,63	1179,32
CA2-55 Vala [IV]	160-200	< 0,25	10,43	7,46	51,00	108,76	128951,29	12,90	197,12	20,75	9,91	500,03
	200-260	< 0,25	8,06	6,45	64,39	120,26	23339,02	2,33	87,58	26,06	12,87	382,03
Área CA3												
CA3-16 Sed	0-5	31,80	27,55	10,13	56,52	165,10	73311,35	7,33	1475,67	9,08	396,28	18065,55
CA3-17	0-20	3,22	11,54	2,54	131,66	57,08	44503,19	4,45	312,60	9,26	48,23	1905,81
	20-40	5,15	0,73	2,94	23,83	19,11	31088,07	3,11	103,98	8,48	6,21	207,14
	40-50+	1,25	2,44	4,27	23,81	23,74	34155,07	3,42	164,96	9,08	16,06	279,14
CA3-18	0-20	31,27	20,98	3,72	23,21	142,00	40128,03	4,01	593,70	8,82	310,15	12522,50
	20-40	19,09	25,07	4,50	24,22	146,70	41645,12	4,16	824,44	9,42	318,80	13228,57
	40-60	20,76	27,91	4,24	23,36	145,26	43803,63	4,38	605,23	9,80	349,42	12163,24
	60-80	15,78	34,33	14,08	40,35	337,94	57764,01	5,78	1441,40	14,44	556,17	12548,09
	80-100	52,87	35,44	10,73	36,13	289,57	49163,38	4,92	1239,35	12,60	468,55	11647,10

	1,20-1,50 m	76,07	21,64	9,16	34,39	533,01	39855,20	3,99	913,76	16,00	1068,08	15393,78
CA3-36 Sup	0-5	< 0,25	26,12	14,31	44,93	167,61	53526,70	5,35	728,69	14,38	120,36	3547,46
CA3-37	0-10	< 0,25	27,86	6,75	40,10	155,94	52279,04	5,23	409,87	13,11	100,23	4376,88
	10-20	15,63	40,73	32,16	64,27	239,03	76555,12	7,66	2239,84	17,76	467,79	7622,50
	20-40	< 0,25	17,54	9,07	61,81	122,67	63989,60	6,40	509,87	15,72	46,94	1312,65
	40-50	< 0,25	12,68	26,97	74,51	135,04	81619,97	8,16	1481,73	16,88	48,17	1080,62
CA3-38	0-10	< 0,25	34,08	6,74	35,88	248,91	32825,93	3,28	431,52	11,58	122,56	2865,96
	10-20	< 0,25	21,69	6,66	37,38	119,21	37536,35	3,75	465,46	11,38	107,75	2992,69
	20-30	2,31	24,25	5,59	30,21	184,41	32182,79	3,22	433,95	9,85	111,75	3027,27
	30-40	< 0,25	23,72	6,57	32,02	185,74	36106,75	3,61	392,74	10,92	90,63	2154,47
	40-50	< 0,25	19,74	5,19	32,13	111,16	31306,00	3,13	362,28	9,65	72,12	1842,64
	50-60	1,20	8,42	2,87	25,43	45,45	23218,90	2,32	151,27	6,92	34,26	990,41
	60-80	< 0,25	11,53	4,71	31,14	84,31	31494,08	3,15	265,68	9,13	49,71	1330,25
	80-100	< 0,25	11,77	3,83	26,52	80,21	27393,08	2,74	227,53	7,82	53,13	1316,94
CA3-38 [III]	0-20	< 0,25	4,04	3,70	23,71	42,53	13947,34	1,39	138,12	6,15	11,86	363,52
	20-40	14,58	7,27	4,79	30,06	69,47	22693,30	2,27	215,64	9,01	42,12	1324,65
	40-60	9,20	6,97	4,88	23,41	44,43	15749,18	1,57	179,98	7,69	27,29	858,91
	60-80	< 0,25	14,61	5,84	31,84	90,10	27814,28	2,78	336,73	9,56	66,61	1861,80
	80-100	< 0,25	8,22	4,73	30,14	63,33	20845,45	2,08	267,18	7,99	45,89	1235,59
	1,20 m	10,31	9,28	5,01	28,58	76,38	21308,28	2,13	263,49	8,97	41,65	1327,40
CA3-39 Esc. Grota Seca	0-5	16,20	44,79	7,44	49,21	367,83	59895,84	5,99	879,02	17,43	518,02	14545,82

Legenda:

Aluviões (COMAMA, 2012)		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Branco	Normal	<5,9	< 0,6	< 33	< 17	< 14	< 8,4	< 58
Amarelo	Intermédio			33-37,3	17-35,7	14-18	8,4-35	58-123
Laranja	Atenção	5,9-17	0,6-3,5	37,3-90	35,7-197	18-35,9	35-91,3	123-315
Vermelho	Crítico	> 17	> 3,5	> 90	> 197	> 35,9	> 91,3	> 315

Tabela AI.9: Valores torais obtidos através da extracção por *Aqua Regia* para a fracção granulométrica > 63 µm (campanha de Março de 2014 [III]).

Amostras	Profundidade (cm)	Valores Totais (Extracção com <i>Aqua Regia</i>) - Fracção (> 63 µm)										
		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Co (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Área CA0												
CA0-2B	20-40	1,91	88,54	2,10	23,42	203,09	9235,46	0,92	80,77	6,99	80,16	138,97
	40-60	0,83	23,85	5,13	33,61	297,34	11431,07	1,14	124,40	10,59	61,93	352,61
CA0-3A	0-5	1,64	11,09	12,79	242,89	193,49	35936,36	3,59	110,78	19,92	37,57	208,73
	10-15	5,27	7,69	48,72	234,92	249,44	90398,03	9,04	421,82	48,53	52,06	238,30
Área CA1												
CA1-14	0-5	20,36	19,82	73,98	26,18	345,37	42814,28	4,28	8903,24	24,23	1165,94	15988,40
	5-10	41,65	11,32	63,24	22,72	319,29	53079,46	5,31	5551,78	16,88	1228,05	19785,24
	10-15	30,96	10,64	28,72	26,46	338,37	112685,48	11,27	1952,65	15,92	708,13	21068,55
	15-20	51,20	37,74	34,34	28,84	675,26	59809,00	5,98	3496,53	20,24	1347,07	22726,66

	20-40	56,23	14,77	9,85	38,71	500,34	96930,70	9,69	1526,06	17,86	1212,69	24427,53
	40-60	29,02	8,85	11,54	24,60	270,64	114502,54	11,45	1290,50	14,73	658,40	21001,03
	60-80	19,49	4,96	3,41	19,64	217,64	42151,96	4,22	608,08	11,59	424,77	14079,93
	80-100	21,64	8,94	12,21	19,92	357,84	35671,65	3,57	640,76	12,95	512,59	11037,78
CA1-21 (lixí)	20-40	3,86	123,63	14,75	41,46	301,69	18959,11	1,90	474,42	24,37	294,03	5760,86
	40-60	< 0,25	0,85	2,13	22,80	78,40	6025,09	0,60	65,57	3,96	17,93	278,15
CA1-22	0-5	4,51	29,02	43,82	52,20	198,56	15027,26	1,50	731,07	13,97	136,99	1293,80
	10-15	1,37	9,51	8,52	48,76	100,49	10726,81	1,07	209,27	11,53	53,89	658,36
	20-40	5,75	27,08	23,52	23,10	155,92	9088,43	0,91	634,73	14,33	86,58	1102,79
CA1-23	20-40	< 0,25	8,74	12,41	27,41	121,08	11689,67	1,17	416,14	7,44	82,32	823,71
CA1-32	0-10	20,78	56,05	18,55	54,06	301,61	64693,22	6,47	1073,21	20,25	441,38	9511,98
	10-20	28,28	141,36	8,67	109,74	345,05	110510,46	11,05	408,51	22,04	540,31	8770,60
	30-40	6,78	22,68	15,57	37,25	185,23	16266,44	1,63	777,00	13,06	242,16	4298,74
	40-50	7,94	62,57	13,36	35,56	301,15	20308,48	2,03	697,12	17,61	365,96	8557,49
	50-60	29,61	38,41	41,34	58,31	293,74	67465,91	6,75	1246,26	35,85	646,67	9184,90
	60-70+	15,72	67,30	11,16	52,13	291,01	54557,83	5,46	611,27	16,82	526,56	9682,10
CA1-33	0-20	48,34	20,19	10,42	30,18	401,93	329962,79	33,00	1562,86	20,49	1150,30	33624,09
	20-40	55,61	16,68	16,09	27,53	459,33	221001,16	22,10	1367,96	27,89	1518,85	82856,01
	40-60	57,78	23,67	27,47	30,69	542,17	294874,52	29,49	1962,38	34,91	1706,79	73774,74
Área CA2												
CA2-10	0-20	12,88	11,90	5,07	45,03	188,51	25491,43	2,55	406,17	16,55	492,96	13527,99
	20-40	93,91	13,04	49,16	51,08	363,17	201030,71	20,10	1020,83	50,19	3044,43	67387,53
	40-60	84,24	13,02	17,06	36,02	336,87	171285,26	17,13	332,42	39,31	2364,31	89130,94
	60-80	87,85	18,04	11,93	50,62	383,40	260357,48	26,04	353,79	26,13	1773,70	110356,26
	80-100	87,09	18,85	6,93	20,02	372,31	345531,98	34,55	166,39	22,90	1794,16	135630,40
CA2-10A [III]	0-20	6,89	35,73	10,58	103,80	234,28	77419,57	7,74	1104,10	12,14	544,53	8012,13
	20-40	7,79	18,88	10,46	36,27	140,58	21812,52	2,18	1023,63	12,15	523,85	7278,06

	40-60	19,21	26,00	10,85	58,71	229,12	106070,82	10,61	952,98	16,71	630,66	27314,83
CA2-12	0-20	83,57	26,88	0,50	38,25	1206,84	174873,22	17,49	146,44	20,11	3118,23	11880,79
	20-40	108,93	134,94	5,99	37,10	1668,53	114639,68	11,46	217,95	26,70	4479,41	18967,64
	40-60	802,82	< 0,025	265,98	65,69	8722,40	47219,40	4,72	7266,96	38,59	4679,91	13711,72
	60-80	305,20	10,24	49,11	44,42	7020,98	47417,48	4,74	2002,75	66,44	3059,28	9361,94
	80-100	806,62	27,60	262,75	54,90	5323,56	62820,00	6,28	12272,84	31,52	9678,13	14552,44
Área CA3												
CA3-18	0-20	11,47	19,24	5,70	26,62	155,53	13408,93	1,34	402,39	8,78	213,21	3800,24
	20-40	15,69	42,79	70,69	32,06	176,76	14874,17	1,49	858,75	8,27	253,02	4676,65
	40-60	30,51	55,51	35,62	116,53	459,46	97002,11	9,70	1731,09	21,59	1095,20	11919,26
	80-100	11,47	33,11	12,87	32,33	173,96	21684,06	2,17	983,74	13,14	338,19	6876,84

Legenda:

Aluviões CONAMA, 2012		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Branco	Normal	<5,9	< 0,6	< 33	< 17	< 14	< 8,4	< 58
Amarelo	Intermédio			33-37,3	17-35,7	14-18	8,4-35	58-123
Laranja	Atenção	5,9-17	0,6-3,5	37,3-90	35,7-197	18-35,9	35-91,3	123-315
Vermelho	Crítico	> 17	> 3,5	> 90	> 197	> 35,9	> 91,3	> 315

Tabela AI.10: Valores totais obtidos através da extracção por *Aqua Regia* para a fracção granulométrica 63-2µm (campanha de Março de 2014 [III]).

Amostras	Profundidade (cm)	Valores Totais (Extracção com <i>Aqua Regia</i>) - Fracção (63-2 µm)										
		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Co (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Área CA0												
CA0-2B	20-40	< 0,25	< 0,025	14,90	63,22	94,51	34920,45	3,49	413,23	33,38	29,49	162,50
	40-60	< 0,25	< 0,025	12,30	56,26	86,15	27211,68	2,72	328,84	26,26	22,12	111,87
CA0-3A	0-5	< 0,25	< 0,025	9,78	61,74	78,87	30612,93	3,06	71,29	30,31	26,32	222,10
	10-15	< 0,25	< 0,025	14,48	72,25	87,35	36251,60	3,63	107,23	35,82	24,08	161,59
Área CA1												
CA1-14	0-5	17,64	5,42	25,61	46,27	231,75	34688,03	3,47	2405,84	30,95	453,10	9855,64
	5-10	31,94	5,37	23,05	48,25	327,93	42747,77	4,27	1229,72	27,31	769,70	15586,36
	10-15	48,84	6,68	39,21	55,20	592,38	46148,98	4,61	1740,43	38,78	1104,92	18726,58
	15-20	52,10	5,77	19,68	61,74	602,67	49476,82	4,95	1010,77	44,39	941,59	19572,63
	20-40	74,84	10,97	10,24	51,89	633,67	46035,46	4,60	460,11	33,31	1150,90	22740,91
	40-60	2,82	2,12	7,62	60,46	135,13	22670,69	2,27	146,67	29,27	131,62	2056,24
	60-80	5,15	0,21	7,41	63,11	152,13	25062,80	2,51	128,83	33,68	154,47	1979,49
	80-100	21,33	5,99	11,11	60,85	249,07	28601,01	2,86	266,74	33,69	319,56	5086,71
CA1-21 (lixivi)	20-40	3,83	8,30	6,80	63,91	123,86	34479,48	3,45	147,40	27,73	114,58	1326,26
	40-60	3,82	10,79	17,02	74,48	167,83	37787,83	3,78	665,59	37,48	180,98	1993,34
CA1-22	0-5	3,57	15,06	19,71	56,15	165,62	32475,74	3,25	677,34	27,04	188,67	4073,15
	10-15	5,83	15,90	16,33	64,67	162,38	34651,22	3,47	656,38	32,17	167,23	3521,43
	20-40	6,50	21,91	16,72	69,32	208,28	39815,19	3,98	756,19	33,39	270,80	6612,62
CA1-23	20-40	< 0,25	9,40	13,25	64,46	152,20	40080,75	4,01	464,09	27,46	110,12	1144,91
CA1-32	0-10	11,38	17,54	14,21	68,35	189,10	39025,71	3,90	606,24	37,64	394,97	5444,80

	10-20	1,53	11,84	9,82	58,18	158,42	39595,64	3,96	447,91	29,94	265,73	3747,10
	30-40	2,49	6,16	3,72	63,41	132,45	35923,17	3,59	109,18	25,56	166,42	2241,62
	40-50	3,88	7,86	9,00	69,30	179,61	41438,27	4,14	341,11	35,07	280,39	3597,44
	50-60	24,74	13,33	14,65	70,87	244,37	45935,94	4,59	587,07	35,13	605,85	5711,14
	60-70+	15,03	9,27	7,93	75,01	226,92	48109,98	4,81	328,09	37,29	500,15	5900,85
CA1-33	0-20	14,43	10,60	7,13	66,59	219,23	54080,69	5,41	379,90	38,80	921,70	12943,11
	20-40	49,13	13,24	22,62	46,68	399,24	118801,72	11,88	786,89	44,68	2234,52	49999,83
	40-60	24,47	11,39	11,45	52,43	282,22	66782,48	6,68	649,37	36,65	1216,59	23607,20
Área CA2												
CA2-10	0-20	17,12	50,72	7,79	66,04	362,03	60386,70	6,04	245,43	38,29	1626,81	23881,61
	20-40	70,78	7,63	9,86	47,74	273,46	122798,59	12,28	51,99	42,66	2495,39	51482,76
	40-60	60,92	6,47	8,61	47,86	246,36	102312,84	10,23	53,36	45,84	2128,19	45292,24
	60-80	44,81	9,49	2,71	43,62	306,64	123060,22	12,31	58,60	33,02	1599,69	63913,95
	80-100	45,69	8,35	9,29	50,78	256,91	98098,95	9,81	62,89	45,26	1709,90	38437,44
CA2-10A [III]	0-20	8,14	30,33	9,70	84,92	226,85	46709,62	4,67	1122,88	23,24	644,40	13428,03
	20-40	17,65	44,83	10,02	65,05	277,40	43109,94	4,31	999,10	31,05	1171,07	13485,02
	40-60	9,59	34,66	10,45	50,67	234,62	39178,52	3,92	895,46	26,15	864,92	14056,62
CA2-12	0-20	25,18	14,80	3,21	57,68	368,86	56858,90	5,69	61,86	32,02	927,15	10907,50
	20-40	39,23	29,44	6,23	65,61	447,75	88715,91	8,87	96,51	38,43	1605,87	23339,07
	40-60	892,24	26,27	33,66	49,34	3173,56	52691,96	5,27	4759,96	50,14	3762,89	21922,90
	60-80	245,22	11,49	13,62	56,84	1666,28	57330,45	5,73	2060,03	43,31	1781,44	14067,99
	80-100	579,12	32,44	33,24	52,80	2196,34	54482,07	5,45	3719,01	51,56	2952,20	23241,45
Área CA3												
CA3-18	0-20	20,97	27,29	9,44	57,70	244,70	37886,80	3,79	727,90	28,32	443,81	7422,21
	20-40	26,83	30,18	17,72	64,00	286,29	41182,33	4,12	876,55	32,64	485,77	9941,12
	40-60	30,67	30,63	22,91	61,81	412,59	54817,42	5,48	956,63	34,61	1004,16	15741,32
	80-100	7,57	30,94	10,16	52,07	204,52	29909,15	2,99	613,56	24,05	298,85	6422,75

Legenda:

Aluviões CONAMA, 2012		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Branco	Normal	<5,9	< 0,6	< 33	< 17	< 14	< 8,4	< 58
Amarelo	Intermédio			33-37,3	17-35,7	14-18	8,4-35	58-123
Laranja	Atenção	5,9-17	0,6-3,5	37,3-90	35,7-197	18-35,9	35-91,3	123-315
Vermelho	Crítico	> 17	> 3,5	> 90	> 197	> 35,9	> 91,3	> 315

Tabela AI.11: Valores totais obtidos através da extracção por *Aqua Regia* para a fracção granulométrica < 2 µm (campanha de Março de 2014 [III]).

Amostras	Profundidade (cm)	Valores Totais (Extracção com <i>Aqua Regia</i>) - Fracção (< 2 µm)										
		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Co (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Área CA0												
CA0-2B	20-40	< 0,25	< 0,025	19,85	77,59	102,92	51178,68	5,12	581,48	42,77	44,47	276,51
	40-60	< 0,25	21,61	27,91	96,47	138,35	58348,28	5,83	639,38	50,18	62,19	323,45
CA0-3A	0-5	< 0,25	< 0,025	10,49	42,95	78,06	23340,33	2,33	64,27	17,59	22,77	196,77
	10-15	< 0,25	< 0,025	22,47	85,56	113,05	36540,74	3,65	111,40	30,62	31,91	252,48
Área CA1												
CA1-14	0-5	56,52	8,01	47,59	97,98	411,29	44362,02	4,44	3493,00	67,04	591,33	14383,97
	5-10	109,05	3,02	61,84	99,74	662,30	43679,90	4,37	2408,00	64,84	1051,21	16774,72
	10-15	98,04	< 0,025	57,28	80,77	830,37	44234,36	4,42	1972,83	52,39	1058,74	18521,48
	15-20	122,65	< 0,025	40,35	91,50	1139,97	54663,48	5,47	1277,02	61,71	1292,84	23155,71

	20-40	140,71	42,76	23,99	82,81	1366,26	54085,87	5,41	654,04	55,09	1744,32	22432,00
	40-60	< 0,25	6,54	16,87	103,71	187,75	44108,75	4,41	293,25	53,93	111,07	3558,58
	60-80	7,80	< 0,025	18,40	102,49	174,31	37384,34	3,74	410,72	56,17	126,54	4215,09
	80-100	27,17	7,51	18,11	83,72	287,73	48668,90	4,87	397,40	45,51	277,38	5025,95
CA1-21 (lixí)	20-40	13,98	36,50	18,55	124,96	209,18	60041,31	6,00	336,38	54,66	184,28	4128,67
	40-60	18,40	21,48	23,49	121,36	217,21	54846,29	5,48	689,98	55,80	206,00	3728,37
CA1-22	0-5	15,50	31,40	22,40	80,98	230,28	39353,81	3,94	428,10	46,97	191,48	4356,84
	10-15	6,14	21,94	16,13	62,26	133,43	25496,55	2,55	431,17	33,41	153,08	2986,49
	20-40	55,34	43,40	26,03	113,89	338,28	59773,59	5,98	681,18	55,12	431,62	7391,69
CA1-23	20-40	7,12	24,87	29,70	110,11	212,17	57173,01	5,72	841,84	49,76	137,13	3455,84
CA1-32	0-10	29,79	66,73	25,18	109,66	284,09	56819,25	5,68	881,93	60,56	572,39	11026,09
	10-20	13,17	35,82	20,64	106,36	207,07	59018,28	5,90	551,66	51,73	305,71	6562,23
	30-40	26,70	30,75	14,07	127,73	234,85	62850,33	6,29	492,18	54,29	306,58	7115,70
	40-50	21,46	57,77	19,98	121,97	239,70	54780,30	5,48	462,05	61,19	335,65	9225,24
	50-60	37,63	59,98	26,93	93,98	246,97	25974,43	2,60	825,64	50,62	725,23	10189,90
	60-70+	25,99	43,20	16,02	96,17	261,16	44204,07	4,42	560,56	48,95	557,23	9625,84
CA1-33	0-20	21,31	9,05	20,45	99,87	235,86	41340,83	4,13	336,95	61,69	847,51	8143,46
	20-40	94,37	6,20	49,63	94,03	461,54	43474,35	4,35	633,97	58,52	3621,24	20642,38
	40-60	43,20	12,16	25,62	105,52	332,03	47822,91	4,78	575,47	59,06	1345,45	11608,06
Área CA2												
CA2-10	0-20	11,06	60,41	14,52	43,56	190,68	7852,69	0,79	756,39	38,32	1822,39	18721,23
	20-40	115,28	< 0,025	17,46	59,07	250,48	59717,26	5,97	310,12	50,35	3377,08	13940,29
	40-60	99,37	< 0,025	20,51	73,14	198,77	32257,89	3,23	342,85	58,19	2846,33	12470,34
	60-80	84,81	7,43	14,50	59,32	295,43	76915,29	7,69	96,74	45,32	2277,24	35000,63
	80-100	61,73	18,35	17,76	66,88	210,31	27369,73	2,74	142,85	51,24	2341,53	16738,12
CA2-10A [III]	0-20	44,09	51,53	20,97	105,59	339,53	50824,15	5,08	1050,30	52,63	926,46	13152,00
	20-40	33,19	54,27	17,89	100,15	301,84	51487,90	5,15	1070,32	47,52	738,02	14847,69

	40-60	22,17	67,43	25,02	141,73	411,83	58465,42	5,85	1463,74	56,35	779,03	13488,73
CA2-12	0-20	24,81	20,35	14,86	97,54	391,31	55375,09	5,54	328,67	54,49	1000,20	15745,72
	20-40	56,33	26,32	20,49	92,00	694,23	59619,19	5,96	551,37	51,90	1973,26	18539,63
	40-60	1918,33	17,37	54,58	76,69	4952,57	54189,99	5,42	3927,14	45,24	4616,11	13081,95
	60-80	853,91	15,76	37,71	82,66	2939,40	61513,62	6,15	2232,56	47,48	3170,54	15118,62
	80-100	1483,30	192,51	62,47	96,83	4263,76	63976,74	6,40	3838,32	51,11	4190,40	20324,88
Área CA3												
CA3-18	0-20	56,50	45,00	25,33	114,74	420,69	63385,59	6,34	1064,14	58,72	536,33	8077,93
	20-40	65,99	53,22	35,53	121,19	490,74	65162,86	6,52	1528,53	64,05	594,48	10022,01
	40-60	78,71	44,40	43,54	121,80	655,64	63676,32	6,37	1257,69	67,58	1133,66	15203,34
	80-100	52,54	186,14	32,29	113,39	438,07	58138,69	5,81	1176,82	59,62	484,53	9937,41

Legenda:

Aluviões CONAMA, 2012		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Branco	Normal	<5,9	< 0,6	< 33	< 17	< 14	< 8,4	< 58
Amarelo	Intermédio			33-37,3	17-35,7	14-18	8,4-35	58-123
Laranja	Atenção	5,9-17	0,6-3,5	37,3-90	35,7-197	18-35,9	35-91,3	123-315
Vermelho	Crítico	> 17	> 3,5	> 90	> 197	> 35,9	> 91,3	> 315

Tabela AI.12: Fracções extraídas em arsénio, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Arsénio (As)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	11,06	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	11,06
	10-20	10,37	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	10,37
CA0-2B	0-20	7,99	0,31	< 0,25	< 0,1	2,05	10,35
	20-40	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
	40-60	5,86	0,66	< 0,25	< 0,1	< 0,25	6,53
CA0-3A	0-5	8,93	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	8,93
	10-15	9,53	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	9,53
Área CA1							
CA1-13	0-20	< 0,2	< 0,2	3,38	< 0,1	< 0,25	3,38
	40-60	< 0,2	< 0,2	4,23	< 0,1	< 0,25	4,23
	80-100	< 0,2	< 0,2	14,99	< 0,1	13,86	28,86
	2,5 m	5,76	< 0,2	14,66	< 0,1	18,90	39,32
CA1-14	5-10	10,87	0,26	22,85	< 0,1	< 0,25	33,99
	20-40	9,31	2,75	53,95	< 0,1	146,61	212,61
	40-60	7,56	< 0,2	6,78	< 0,1	11,38	25,72
CA1-14 [III]	0-20	4,33	2,74	4,97	< 0,1	10,24	22,29
	20-40	3,51	2,52	8,28	< 0,1	14,22	28,52
	40-60	3,79	1,49	10,31	< 0,1	12,03	27,61
	60-80	3,95	< 0,2	23,43	< 0,1	8,00	35,38

	1,30 m	2,90	2,14	21,04	< 0,1	6,28	32,35
CA1-20	0-20	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	20-40	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	40-60	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
CA1-21	0-20	24,05	< 0,2	1,26	< 0,1	< 0,25	25,31
	40-60	< 0,2	< 0,2	3,38	< 0,1	< 0,25	3,38
	80-100	16,55	< 0,2	< 0,25	< 0,1	8,28	24,82
CA1-21 (lixivi)	0-20	4,63	0,91	< 0,25	< 0,1	< 0,25	5,54
	20-40	6,50	1,54	0,68	< 0,1	5,00	13,72
	40-60	4,16	< 0,2	1,60	< 0,1	< 0,25	5,77
CA1-22	0-5	< 0,2	0,52	5,52	< 0,1	14,44	20,48
	10-15	5,11	0,72	0,38	< 0,1	< 0,25	6,21
	20-40	< 0,2	0,95	6,71	< 0,1	< 0,25	7,66
	80-100	< 0,2	0,52	5,52	< 0,1	14,44	20,48
CA1-22 [III]	0-20	1,61	4,19	< 0,25	< 0,1	< 0,25	5,80
	20-40	1,66	1,35	3,43	< 0,1	4,82	11,26
	80-100	4,44	2,53	< 0,25	< 0,1	< 0,25	6,96
CA1-23	0-20	< 0,2	< 0,2	2,03	< 0,1	< 0,25	2,03
	20-40	10,67	< 0,2	2,19	< 0,1	< 0,25	12,86
	80-100	< 0,2	< 0,2	9,85	< 0,1	10,10	19,95
CA1-23 [III]	0-5	3,85	2,08	< 0,25	< 0,1	< 0,25	5,93
	10-15	2,54	1,21	< 0,25	< 0,1	< 0,25	3,75
	25-30	< 0,2	< 0,2	0,27	< 0,1	< 0,25	0,27
	30-33	6,33	1,56	< 0,25	< 0,1	< 0,25	7,88
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	3,75	2,31	19,59	< 0,1	11,71	37,37
CA1-26 [III]	0-5	4,66	5,17	32,24	< 0,1	30,90	72,97
	10-15	10,06	6,93	60,49	< 0,1	32,80	110,28

	20-25	6,04	2,16	3,56	< 0,1	9,76	21,52
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	6,59	1,29	< 0,25	< 0,1	< 0,25	7,87
CA1-27	0-5	< 0,2	< 0,2	8,99	< 0,1	< 0,25	8,99
	20-25	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
	40-43	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
CA1-28	10-15	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
	15-20	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
	35-37	< 0,2	< 0,2	1,14	< 0,1	48,08	49,23
CA1-29	0-5	< 0,2	0,35	0,33	< 0,1	3,99	4,67
	20-25	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
	40-43	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
CA1-29 [III]	0-5	3,13	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	3,13
	20-25	1,37	1,73	< 0,25	< 0,1	< 0,25	3,10
	41-46	1,45	0,49	< 0,25	< 0,1	< 0,25	1,94
	2,50 m	7,75	< 0,2	19,02	< 0,1	21,30	48,06
CA1-30	0-20	< 0,2	< 0,2	5,93	< 0,1	< 0,25	5,93
	20-40	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
CA1-31	0-20	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	20-40	< 0,2	< 0,2	0,74	< 0,1	< 0,25	0,74
	40-60	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
CA1-32 Sed [III]	0-20	7,04	< 0,2	20,61	< 0,1	28,94	56,59
CA1-32	0-10	< 0,2	< 0,2	11,65	< 0,1	16,48	28,13
	50-60	< 0,2	1,34	18,70	< 0,1	26,79	46,83
CA1-33	0-20	< 0,2	0,31	23,08	< 0,1	19,75	43,15
	20-40	< 0,2	< 0,2	63,72	< 0,1	32,37	96,10
	40-60	0,65	0,30	17,10	< 0,1	18,21	36,25
CA1-34	0-20	< 0,2	< 0,2	27,44	< 0,1	45,42	72,86

	40-60	< 0,2	< 0,2	5,56	< 0,1	< 0,25	5,56
	60-80	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	80-100	< 0,2	< 0,2	1,83	< 0,1	< 0,25	1,83
CA1-35	0-10	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
	80-100	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
CA1-35 [III]	0-20	9,16	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	9,16
	80-100	9,77	0,58	< 0,25	< 0,1	< 0,25	10,36
CA1-47	5-10	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
	15-20	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	31,98	31,98
	42-45	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
CA1-48 [III]	0-20	4,48	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	4,48
	60-80	7,89	1,50	10,10	< 0,1	1,98	21,48
CA1-51 Sed [III]	0-20	8,96	0,33	19,29	< 0,1	27,58	56,16
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	11,31	6,27	10,95	< 0,1	18,29	46,81
CA1-53 [III]	0-5	11,23	5,88	41,36	< 0,1	41,83	100,30
	25-30	9,36	8,89	8,90	< 0,1	19,42	46,57
	35-40	15,73	20,00	17,03	< 0,1	22,66	75,42
	50-55	22,70	13,01	51,95	< 0,1	23,91	111,57
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	1,0-1,6m	< 0,2	< 0,2	1,16	< 0,1	< 0,25	1,16
CA1-57 [IV]	0-20	< 0,2	< 0,2	7,30	< 0,1	< 0,25	7,30
	40-60	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	80-100	< 0,2	< 0,2	18,23	< 0,1	16,39	34,62
Área CA2							
CA2-10	0-20	5,22	< 0,2	4,18	< 0,1	61,53	70,94
	40-60	9,57	1,17	37,15	< 0,1	47,37	95,26
	80-100	< 0,2	0,44	7,68	< 0,1	4,40	12,52

	2,40 m	4,22	< 0,2	10,51	< 0,1	23,91	38,63
CA2-10 (lixí)	0-20	4,11	0,53	13,58	< 0,1	23,53	41,75
	20-40	5,42	4,01	32,23	< 0,1	37,00	78,66
	40-60	6,10	4,24	34,94	< 0,1	36,10	81,37
	60-80	3,35	2,97	0,58	< 0,1	< 0,25	6,90
	80-100	4,74	3,08	26,30	< 0,1	25,92	60,03
CA2-10A [III]	0-20	6,38	3,20	< 0,25	< 0,1	< 0,25	9,58
	20-40	7,32	1,65	< 0,25	< 0,1	11,94	20,91
	40-60	8,59	2,77	< 0,25	< 0,1	13,37	24,74
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	1,8-2,5m	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
CA2-11	0-20	< 0,2	< 0,2	10,88	< 0,1	11,66	22,54
	20-40	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	40-60	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
CA2-12	0-20	6,77	< 0,2	12,18	< 0,1	110,79	129,75
	40-60	109,67	112,14	1125,91	< 0,1	544,48	1892,20
	80-100	42,12	20,28	717,10	0,19	352,70	1132,40
	2,70 m	8,12	3,18	< 0,25	< 0,1	< 0,25	11,30
CA2-55 [IV]	1,6-2m	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	2-2,60m	< 0,2	< 0,2	6,01	< 0,1	< 0,25	6,01
Área CA3							
CA3-18	0-20	< 0,2	< 0,2	9,67	< 0,1	< 0,25	9,67
	20-40	6,59	0,82	7,64	< 0,1	< 0,25	15,05
	40-60	< 0,2	< 0,2	11,82	< 0,1	5,22	17,04
	60-80	< 0,2	< 0,2	13,82	< 0,1	10,11	23,93
	80-100	< 0,2	< 0,2	16,02	< 0,1	36,85	52,87
	1,20-1,50 m	7,23	2,65	27,68	< 0,1	38,51	76,07

CA3-37	0-10	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	-
	10-20	< 0,2	< 0,2	3,74	< 0,1	11,89	15,63
	20-40	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
	40-50	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	0,00
CA3-38	20-30	< 0,2	< 0,2	10,95	< 0,1	12,73	23,68
	50-60	< 0,2	< 0,2	1,20	< 0,1	< 0,25	1,20
CA3-38 [III]	20-40	10,51	4,07	< 0,25	< 0,1	< 0,25	14,58
	40-60	9,10	< 0,2	< 0,25	< 0,1	< 0,25	9,10
	1,20 m	7,62	2,68	< 0,25	< 0,1	< 0,25	10,31

Tabela AI.13: Fracções extraídas em cádmio, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Cádmio (Cd)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	3,32	0,04	< 0,025	0,22	4,87	8,46
	10-20	0,68	0,05	< 0,025	0,20	2,27	3,20
CA0-2B	0-20	10,39	0,52	< 0,025	5,11	< 0,025	16,01
	20-40	0,60	0,13	0,22	5,20	1,13	7,29
	40-60	1,94	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	1,94
CA0-3A	0-5	0,61	0,20	< 0,025	< 0,01	< 0,025	0,80

	10-15	0,17	0,04	< 0,025	0,20	1,05	1,44
Área CA1							
CA1-13	0-20	17,02	2,18	0,46	1,72	6,41	27,79
	40-60	14,26	2,74	1,20	3,93	2,36	24,50
	80-100	16,59	5,59	< 0,025	< 0,01	0,28	22,47
	2,5 m	4,71	1,38	< 0,025	< 0,01	< 0,025	6,09
CA1-14	5-10	5,63	2,27	0,13	0,16	< 0,025	8,18
	20-40	12,15	2,22	0,99	0,14	4,28	19,79
	40-60	9,00	2,31	< 0,025	0,13	6,31	17,75
CA1-14 [III]	0-20	1,88	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	1,88
	20-40	2,24	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	2,24
	40-60	1,72	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	1,72
	60-80	2,91	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	2,91
	1,30 m	8,05	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	8,05
CA1-20	0-20	1,70	0,37	< 0,025	3,05	2,63	7,75
	20-40	1,24	0,30	0,47	2,52	0,66	5,19
	40-60	0,85	0,36	0,36	1,37	1,20	4,15
CA1-21	0-20	4,81	0,87	0,29	0,65	0,57	7,20
	40-60	24,72	6,48	3,64	7,86	3,77	46,47
	80-100	28,34	6,59	0,10	2,46	6,12	43,62
CA1-21 (lixivi)	0-20	6,98	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	6,98
	20-40	15,20	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	15,20
	40-60	10,94	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	10,94
CA1-22	0-5	15,39	3,38	0,88	0,01	0,88	20,55
	10-15	5,91	4,32	0,18	< 0,01	< 0,025	10,41
	20-40	27,80	15,71	2,07	< 0,01	< 0,025	45,57
	80-100	19,64	10,78	3,12	3,20	3,78	40,52

CA1-22 [III]	0-20	15,01	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	15,01
	20-40	16,15	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	16,15
	80-100	13,35	2,22	< 0,025	0,55	< 0,025	16,12
CA1-23	0-20	10,85	2,15	0,77	2,39	2,12	18,28
	20-40	15,01	2,41	< 0,025	0,14	< 0,025	17,57
	80-100	12,80	3,46	1,01	0,78	2,14	20,20
CA1-23 [III]	0-5	4,41	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	4,41
	10-15	8,92	1,33	< 0,025	< 0,01	< 0,025	10,24
	25-30	11,42	6,93	3,75	4,33	3,47	29,89
	30-33	11,77	4,25	< 0,025	< 0,01	< 0,025	16,02
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	13,50	1,55	< 0,025	< 0,01	< 0,025	15,05
CA1-26 [III]	0-5	1,43	< 0,02	< 0,025	< 0,01	1,93	3,35
	10-15	1,53	< 0,02	< 0,025	< 0,01	2,58	4,11
	20-25	1,98	3,04	< 0,025	< 0,01	< 0,025	5,03
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	0,17	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	0,17
CA1-27	0-5	3,17	2,55	2,29	0,75	0,89	9,65
	20-25	1,24	0,69	0,26	0,33	1,72	4,23
	40-43	0,32	0,10	< 0,025	0,14	< 0,025	0,57
CA1-28	10-15	0,89	0,25	0,10	0,15	3,32	4,71
	15-20	0,44	< 0,02	0,12	0,14	0,11	0,81
	35-37	0,16	< 0,02	0,09	0,06	0,52	0,84
CA1-29	0-5	3,26	10,89	0,44	0,95	2,58	18,12
	20-25	0,25	0,10	0,44	0,04	< 0,025	0,84
	40-43	0,19	0,27	< 0,025	0,07	0,28	0,80
CA1-29 [III]	0-5	11,66	0,66	< 0,025	< 0,01	< 0,025	12,32
	20-25	0,29	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	0,29
	41-46	< 0,02	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	0,00

	2,50 m	20,01	0,16	< 0,025	< 0,01	0,15	20,32
CA1-30	0-20	0,84	0,05	2,00	0,06	3,26	6,22
	20-40	0,54	0,29	0,13	1,40	1,65	4,01
CA1-31	0-20	1,10	0,14	< 0,025	0,08	4,78	6,10
	20-40	0,62	0,12	0,39	1,77	2,22	5,11
	40-60	0,38	0,04	0,38	1,60	0,90	3,31
CA1-32 Sed [III]	0-20	29,24	10,24	< 0,025	< 0,01	< 0,025	39,49
CA1-32	0-10	17,84	3,94	1,18	0,61	0,18	23,75
	50-60	10,71	24,43	3,88	5,03	4,08	48,13
CA1-33	0-20	8,90	< 0,02	< 0,025	< 0,01	3,65	12,55
	20-40	8,05	1,80	2,36	0,73	< 0,025	12,94
	40-60	8,60	< 0,02	< 0,025	< 0,01	2,12	10,72
CA1-34	0-20	11,90	2,42	1,29	0,34	2,08	18,02
	40-60	3,71	0,74	1,07	1,80	2,14	9,46
	60-80	1,60	0,21	0,12	0,11	0,05	2,10
	80-100	2,10	0,57	0,74	1,23	1,25	5,90
CA1-35	0-10	4,27	0,55	< 0,025	0,13	0,30	5,25
	80-100	1,00	0,22	< 0,025	0,07	0,04	1,33
CA1-35 [III]	0-20	0,78	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	0,78
	80-100	0,62	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	0,62
CA1-47	5-10	0,02	< 0,02	< 0,025	0,07	1,80	1,90
	15-20	0,06	< 0,02	< 0,025	0,05	< 0,025	0,11
	42-45	< 0,02	< 0,02	< 0,025	0,03	0,53	0,56
CA1-48 [III]	0-20	10,50	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	10,50
	60-80	7,84	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	7,84
CA1-51 Sed [III]	0-20	39,72	8,57	< 0,025	< 0,01	2,74	51,02
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	5,45	< 0,02	< 0,025	5,58	5,12	16,16

CA1-53 [III]	0-5	2,32	1,77	< 0,025	< 0,01	4,22	8,32
	25-30	4,40	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	4,40
	35-40	3,33	< 0,02	< 0,025	< 0,01	1,45	4,78
	50-55	2,30	< 0,02	< 0,025	< 0,01	2,15	4,45
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	1,84	1,97	1,86	3,54	1,46	10,67
	1,0-1,6m	28,30	7,69	5,23	6,76	4,64	52,61
CA1-57 [IV]	0-20	37,32	8,32	4,09	6,97	4,82	61,52
	40-60	14,18	3,35	2,97	3,27	3,34	27,12
	80-100	51,46	9,12	5,84	19,50	10,48	96,41
Área CA2							
CA2-10	0-20	20,87	9,77	2,15	< 0,01	24,07	56,85
	40-60	1,14	0,58	0,46	0,16	< 0,025	2,34
	80-100	14,62	7,97	2,70	0,78	< 0,025	26,06
	2,40 m	23,77	0,61	< 0,025	< 0,01	< 0,025	24,37
CA2-10 (lixivi)	0-20	17,89	0,01	< 0,025	< 0,01	< 0,025	17,89
	20-40	5,64	1,41	< 0,025	< 0,01	< 0,025	7,06
	40-60	9,02	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	9,02
	60-80	29,00	30,66	< 0,025	< 0,01	< 0,025	59,65
	80-100	8,50	< 0,02	< 0,025	< 0,01	2,31	10,81
CA2-10A [III]	0-20	24,68	2,58	< 0,025	< 0,01	2,54	29,81
	20-40	30,60	3,35	< 0,025	< 0,01	< 0,025	33,95
	40-60	26,65	3,43	< 0,025	< 0,01	< 0,025	30,08
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	3,59	0,67	1,09	1,65	1,68	8,68
	1,8-2,5m	3,03	0,84	1,24	1,29	1,59	7,98
CA2-11	0-20	6,13	1,40	0,59	0,27	< 0,025	8,40
	20-40	5,14	1,58	1,02	2,75	1,45	11,94
	40-60	4,23	1,92	1,36	2,46	1,68	11,65

CA2-12	0-20	8,99	3,74	1,81	< 0,01	25,67	40,22
	40-60	13,43	13,17	33,47	< 0,01	70,50	130,57
	80-100	30,04	11,50	49,06	13,45	34,76	138,81
	2,70 m	1,90	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	1,90
CA2-55 [IV]	1,6-2m	22,15	7,48	11,25	4,72	5,16	50,77
	2-2,60m	20,04	17,23	3,05	41,85	8,53	90,70
Área CA3							
CA3-18	0-20	18,91	4,23	2,85	7,37	6,13	39,49
	20-40	0,77	4,08	0,15	< 0,01	< 0,025	4,99
	40-60	35,36	8,45	4,37	8,15	5,97	62,30
	60-80	35,00	9,09	4,09	5,18	7,38	60,73
	80-100	31,59	6,76	1,80	1,36	6,69	48,20
	1,20-1,50 m	16,75	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	16,75
CA3-37	0-10	24,80	6,21	3,99	7,52	6,19	48,72
	10-20	31,15	11,88	1,47	0,98	4,28	49,75
	20-40	18,50	5,17	2,27	3,09	2,99	32,02
	40-50	13,16	4,81	2,60	2,74	3,32	26,64
CA3-38	20-30	21,46	3,39	1,00	0,59	2,22	28,65
	50-60	7,91	1,77	0,59	0,25	0,87	11,38
CA3-38 [III]	20-40	5,92	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	5,92
	40-60	6,92	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	6,92
	1,20 m	6,87	< 0,02	< 0,025	< 0,01	< 0,025	6,87

Tabela AI.14: Fracções extraídas em cobalto, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Cobalto (Co)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	0,45	2,91	16,09	< 0,01	13,70	33,16
	10-20	0,39	3,23	0,60	0,28	< 0,025	4,50
CA0-2B	0-20	1,06	4,07	1,36	0,36	< 0,025	6,86
	20-40	0,99	5,21	0,51	< 0,01	< 0,025	6,70
	40-60	0,93	3,66	1,15	0,25	< 0,025	5,99
CA0-3A	0-5	2,90	1,94	0,70	< 0,01	< 0,025	5,54
	10-15	1,78	2,22	2,91	0,32	< 0,025	7,23
Área CA1							
CA1-13	0-20	0,10	5,18	0,48	0,05	< 0,025	5,80
	40-60	0,54	6,95	1,15	< 0,01	< 0,025	8,64
	80-100	2,66	2,87	0,48	0,52	< 0,025	6,53
	2,5 m	1,51	2,89	< 0,025	1,18	< 0,025	5,58
CA1-14	5-10	3,99	41,34	0,50	0,23	52,98	99,04
	20-40	3,54	5,90	< 0,025	0,03	1,75	11,23
	40-60	< 0,02	2,13	< 0,025	0,29	0,67	3,09
CA1-14 [III]	0-20	0,44	7,80	0,68	0,25	< 0,025	9,18
	20-40	0,53	10,21	1,69	0,36	< 0,025	12,79
	40-60	0,55	9,52	1,36	0,37	< 0,025	11,79
	60-80	0,74	6,42	1,37	0,45	< 0,025	8,98

	1,30 m	2,19	10,20	1,12	0,54	< 0,025	14,05
CA1-20	0-20	1,81	5,30	0,63	< 0,01	< 0,025	7,74
	20-40	0,63	4,99	0,56	< 0,01	< 0,025	6,18
	40-60	0,32	6,29	0,49	< 0,01	< 0,025	7,10
CA1-21	0-20	4,98	3,57	0,24	0,17	< 0,025	8,96
	40-60	4,15	3,22	< 0,025	< 0,01	< 0,025	7,37
	80-100	14,00	2,38	1,06	0,11	< 0,025	17,55
CA1-21 (lixivi)	0-20	1,61	3,59	1,82	0,53	0,36	7,91
	20-40	2,00	3,46	1,21	0,39	0,46	7,52
	40-60	2,69	1,97	1,27	0,21	0,36	6,50
CA1-22	0-5	2,64	6,34	1,28	0,23	1,28	11,77
	10-15	0,74	1,71	0,58	0,27	< 0,025	3,31
	20-40	10,04	3,50	0,23	0,22	1,10	15,11
	80-100	10,52	3,12	0,40	0,55	< 0,025	14,59
CA1-22 [III]	0-20	6,56	3,01	1,02	0,54	< 0,025	11,13
	20-40	5,64	2,59	1,87	0,36	0,51	10,98
	80-100	4,36	4,77	0,72	0,63	< 0,025	10,48
CA1-23	0-20	0,98	6,63	0,68	0,18	< 0,025	8,47
	20-40	4,32	8,61	0,34	0,28	0,94	14,49
	80-100	3,30	1,28	0,39	< 0,01	< 0,025	4,97
CA1-23 [III]	0-5	2,87	2,45	1,45	0,46	< 0,025	7,22
	10-15	2,45	3,04	0,96	0,20	0,11	6,78
	25-30	2,76	3,17	< 0,025	< 0,01	< 0,025	5,93
	30-33	0,84	1,97	1,37	0,34	< 0,025	4,51
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	4,02	4,70	1,53	0,79	< 0,025	11,04
CA1-26 [III]	0-5	2,14	3,54	1,37	1,36	< 0,025	8,41
	10-15	4,51	4,17	1,35	1,99	< 0,025	12,01

	20-25	1,73	2,58	1,30	0,67	< 0,025	6,28
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	0,87	1,28	1,37	0,14	1,09	4,75
CA1-27	0-5	1,79	1,18	0,96	0,03	1,11	5,07
	20-25	1,88	1,17	0,84	0,07	0,35	4,30
	40-43	0,82	0,74	0,99	< 0,01	0,81	3,36
CA1-28	10-15	1,74	1,23	0,87	< 0,01	3,51	7,35
	15-20	0,46	0,49	0,27	< 0,01	1,56	2,77
	35-37	0,46	0,91	0,80	< 0,01	3,37	5,55
CA1-29	0-5	4,29	2,09	0,85	0,21	< 0,025	7,43
	20-25	1,57	1,39	0,83	0,16	1,58	5,53
	40-43	1,53	1,41	1,72	0,26	1,16	6,08
CA1-29 [III]	0-5	3,53	3,26	1,74	0,49	0,65	9,67
	20-25	1,34	3,05	2,08	0,58	1,60	8,65
	41-46	1,38	2,10	2,62	0,52	2,03	8,65
	2,50 m	6,72	5,93	1,31	0,79	< 0,025	14,74
CA1-30	0-20	< 0,02	4,76	0,59	< 0,01	3,26	8,62
	20-40	< 0,02	8,05	1,13	< 0,01	< 0,025	9,17
CA1-31	0-20	< 0,02	2,10	0,85	0,04	14,78	17,77
	20-40	0,69	2,34	0,84	< 0,01	0,21	4,08
	40-60	1,15	1,92	0,67	< 0,01	0,47	4,22
CA1-32 Sed [III]	0-20	3,85	6,23	1,48	0,50	< 0,025	12,06
CA1-32	0-10	0,84	4,98	0,81	0,36	< 0,025	6,99
	50-60	5,11	2,42	0,34	0,28	< 0,025	8,15
CA1-33	0-20	0,75	5,79	0,51	2,31	< 0,025	9,36
	20-40	0,68	8,01	< 0,025	2,79	< 0,025	11,13
	40-60	0,32	9,87	0,76	1,81	< 0,025	12,76
CA1-34	0-20	0,08	6,16	1,01	< 0,01	< 0,025	7,26

	40-60	0,31	4,55	0,35	< 0,01	< 0,025	5,21
	60-80	0,15	2,06	0,29	< 0,01	0,19	2,69
	80-100	0,15	2,84	0,60	< 0,01	< 0,025	3,60
CA1-35	0-10	0,78	2,52	0,59	0,02	< 0,025	3,91
	80-100	1,07	0,38	0,11	< 0,01	0,93	2,49
CA1-35 [III]	0-20	2,19	1,30	1,27	0,48	1,49	6,73
	80-100	1,13	1,24	1,10	0,33	1,43	5,23
CA1-47	5-10	1,34	1,70	3,93	0,24	16,39	23,60
	15-20	0,69	1,09	2,27	0,15	< 0,025	4,21
	42-45	0,98	1,77	2,24	0,27	3,84	9,11
CA1-48 [III]	0-20	3,50	2,40	1,35	0,30	0,21	7,75
	60-80	3,27	2,14	1,30	0,28	1,28	8,28
CA1-51 Sed [III]	0-20	2,24	3,78	< 0,025	2,56	< 0,025	8,58
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	2,93	3,12	0,96	0,69	< 0,025	7,69
CA1-53 [III]	0-5	2,14	3,32	1,54	2,02	< 0,025	9,02
	25-30	2,71	5,61	1,52	0,87	< 0,025	10,71
	35-40	3,42	8,03	1,93	1,18	< 0,025	14,56
	50-55	17,90	8,24	1,17	1,00	< 0,025	28,32
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	0,89	1,65	< 0,025	< 0,01	< 0,025	2,54
	1,0-1,6m	0,82	6,99	0,10	< 0,01	0,24	8,15
CA1-57 [IV]	0-20	6,47	4,33	< 0,025	< 0,01	< 0,025	10,80
	40-60	3,24	2,60	< 0,025	< 0,01	< 0,025	5,85
	80-100	4,97	4,39	< 0,025	< 0,01	< 0,025	9,35
Área CA2							
CA2-10	0-20	0,93	1,08	< 0,025	0,31	< 0,025	2,32
	40-60	0,43	3,31	< 0,025	< 0,01	< 0,025	3,73
	80-100	0,19	0,53	1,09	0,30	< 0,025	2,10

	2,40 m	0,91	1,71	0,93	0,54	< 0,025	4,08
CA2-10 (lixivi)	0-20	1,54	3,31	1,35	1,73	< 0,025	7,93
	20-40	1,35	1,39	1,31	0,84	< 0,025	4,89
	40-60	2,42	0,44	1,36	0,85	< 0,025	5,07
	60-80	0,90	0,84	0,88	0,75	< 0,025	3,37
	80-100	1,78	1,32	1,62	1,58	< 0,025	6,31
CA2-10A [III]	0-20	0,66	9,60	1,77	0,37	< 0,025	12,40
	20-40	0,55	12,67	3,92	0,94	< 0,025	18,08
	40-60	0,84	8,92	0,24	0,27	< 0,025	10,27
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	0,15	2,90	0,30	< 0,01	< 0,025	3,35
	1,8-2,5m	0,21	3,13	< 0,025	< 0,01	< 0,025	3,34
CA2-11	0-20	0,01	2,55	0,43	0,74	< 0,025	3,73
	20-40	0,31	2,77	< 0,025	< 0,01	< 0,025	3,08
	40-60	0,26	2,71	< 0,025	< 0,01	< 0,025	2,98
CA2-12	0-20	1,06	1,25	< 0,025	0,32	< 0,025	2,63
	40-60	7,47	22,36	0,33	0,02	5,73	35,91
	80-100	12,60	14,49	1,70	7,39	< 0,025	36,18
	2,70 m	1,63	0,58	0,23	0,22	1,50	4,16
CA2-55 [IV]	1,6-2m	1,32	4,03	< 0,025	< 0,01	< 0,025	5,35
	2-2,60m	0,08	1,67	< 0,025	< 0,01	< 0,025	1,75
Área CA3							
CA3-18	0-20	0,18	7,44	< 0,025	< 0,01	< 0,025	7,62
	20-40	0,79	4,15	< 0,025	0,29	3,51	8,75
	40-60	0,53	14,49	< 0,025	< 0,01	< 0,025	15,02
	60-80	1,28	23,81	< 0,025	< 0,01	< 0,025	25,09
	80-100	1,04	12,60	1,74	0,08	< 0,025	15,46
	1,20-1,50 m	5,07	2,65	1,39	0,48	< 0,025	9,59

CA3-37	0-10	0,31	11,60	< 0,025	< 0,01	< 0,025	11,91
	10-20	< 0,02	37,71	4,76	0,38	0,38	43,23
	20-40	0,92	12,77	0,30	< 0,01	< 0,025	13,99
	40-50	1,33	47,94	1,81	< 0,01	< 0,025	51,09
CA3-38	20-30	1,81	3,96	0,90	0,13	< 0,025	6,80
	50-60	1,94	0,68	0,32	0,01	< 0,025	2,95
CA3-38 [III]	20-40	3,09	0,57	1,10	0,41	0,36	5,53
	40-60	3,46	1,57	1,60	0,29	0,66	7,58
	1,20 m	3,21	1,61	2,18	0,46	1,63	9,10

Tabela AI.15: Fracções extraídas em crómio, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Crómio (Cr)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	< 0,02	< 0,02	3,39	1,93	21,98	27,30
	10-20	< 0,02	0,15	1,64	1,34	150,00	153,14
CA0-2B	0-20	0,67	< 0,02	1,41	2,95	17,26	22,29
	20-40	0,99	5,21	2,20	9,25	20,12	37,77
	40-60	0,51	< 0,02	2,63	3,74	26,68	33,56
CA0-3A	0-5	0,44	0,58	3,37	1,66	32,35	38,40

	10-15	1,36	1,33	6,19	2,04	78,45	89,37
Área CA1							
CA1-13	0-20	< 0,02	< 0,02	1,94	2,72	22,54	27,19
	40-60	0,54	6,95	3,43	4,26	26,32	41,51
	80-100	1,65	< 0,02	2,33	2,23	20,13	26,34
	2,5 m	1,32	< 0,02	1,51	2,93	22,80	28,56
CA1-14	5-10	< 0,02	< 0,02	4,40	2,01	< 0,025	6,41
	20-40	< 0,02	< 0,02	1,42	2,22	6,72	10,36
	40-60	< 0,02	0,23	4,03	1,91	18,96	25,12
CA1-14 [III]	0-20	0,94	< 0,02	1,11	1,94	28,54	32,53
	20-40	0,96	< 0,02	2,19	1,03	20,57	24,75
	40-60	0,92	< 0,02	1,89	2,08	17,85	22,73
	60-80	0,47	< 0,02	1,93	0,59	16,86	19,85
	1,30 m	0,79	< 0,02	1,67	2,22	15,94	20,62
CA1-20	0-20	1,81	5,30	2,24	9,51	22,59	41,45
	20-40	0,63	4,99	2,25	7,04	24,65	39,56
	40-60	0,32	6,29	3,19	9,35	20,22	39,37
CA1-21	0-20	1,34	< 0,02	2,28	4,70	57,23	65,54
	40-60	4,15	3,22	3,38	13,54	23,77	48,06
	80-100	3,43	< 0,02	5,48	2,98	64,99	76,88
CA1-21 (lixí)	0-20	1,31	0,03	4,36	5,44	20,80	31,94
	20-40	1,48	< 0,02	3,39	5,47	24,51	34,85
	40-60	1,98	0,48	2,13	4,25	18,83	27,66
CA1-22	0-5	0,10	< 0,02	2,96	1,64	2,96	7,66
	10-15	< 0,02	0,28	3,29	2,10	< 0,025	5,67
	20-40	0,04	0,17	1,10	1,84	< 0,025	3,15
	80-100	0,26	< 0,02	1,67	5,04	35,39	42,35

CA1-22 [III]	0-20	0,98	< 0,02	3,51	2,88	24,75	32,12
	20-40	1,37	< 0,02	4,89	2,82	24,21	33,30
	80-100	2,35	0,19	3,13	4,35	53,33	63,35
CA1-23	0-20	0,98	6,63	2,39	8,14	29,56	47,70
	20-40	< 0,02	< 0,02	0,51	1,73	22,16	24,41
	80-100	0,17	< 0,02	2,42	0,97	69,47	73,02
CA1-23 [III]	0-5	1,43	0,26	2,45	3,73	22,72	30,60
	10-15	0,84	< 0,02	2,44	1,87	21,57	26,71
	25-30	2,76	3,17	2,77	6,40	24,74	39,83
	30-33	1,24	0,45	1,98	2,71	16,44	22,82
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	2,25	< 0,02	4,71	6,75	35,09	48,80
CA1-26 [III]	0-5	2,02	0,56	2,59	2,53	12,72	20,41
	10-15	2,39	< 0,02	4,61	2,29	14,17	23,46
	20-25	3,28	0,48	3,20	2,71	19,24	28,91
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	0,91	0,72	4,18	8,23	26,54	40,59
CA1-27	0-5	0,77	0,09	2,79	6,93	160,02	170,59
	20-25	< 0,02	< 0,02	4,44	6,47	128,01	138,92
	40-43	1,00	0,18	5,18	7,38	125,34	139,08
CA1-28	10-15	0,50	0,12	5,06	6,22	74,18	86,06
	15-20	1,00	0,18	3,74	6,04	33,84	44,80
	35-37	0,43	< 0,02	2,45	3,53	154,94	161,35
CA1-29	0-5	< 0,02	< 0,02	5,38	0,81	82,21	88,39
	20-25	1,36	< 0,02	3,30	4,78	42,33	51,76
	40-43	1,49	< 0,02	9,01	6,49	48,16	65,16
CA1-29 [III]	0-5	2,88	< 0,02	2,76	3,95	19,04	28,63
	20-25	3,18	< 0,02	6,99	7,23	19,62	37,02
	41-46	3,86	0,77	6,50	5,07	17,04	33,23

	2,50 m	1,17	< 0,02	3,44	0,93	43,73	49,27
CA1-30	0-20	< 0,02	< 0,02	2,86	8,31	67,04	78,21
	20-40	< 0,02	8,05	7,15	22,38	42,07	79,65
CA1-31	0-20	1,14	0,06	4,64	7,54	56,05	69,42
	20-40	0,69	2,34	11,35	26,96	32,92	74,26
	40-60	1,15	1,92	7,36	22,29	32,39	65,12
CA1-32 Sed [III]	0-20	0,25	< 0,02	1,63	2,15	25,27	29,30
CA1-32	0-10	< 0,02	< 0,02	2,94	5,63	54,62	63,19
	50-60	0,57	< 0,02	2,51	1,75	41,96	46,79
CA1-33	0-20	0,75	< 0,02	3,58	2,03	10,64	17,00
	20-40	0,95	< 0,02	3,82	1,82	40,06	46,65
	40-60	0,64	< 0,02	2,91	1,91	15,54	21,00
CA1-34	0-20	0,21	< 0,02	1,82	0,86	52,07	54,96
	40-60	0,31	4,55	3,04	6,57	12,58	27,05
	60-80	0,60	< 0,02	2,00	1,29	35,51	39,40
	80-100	0,15	2,84	2,74	6,87	12,82	25,43
CA1-35	0-10	0,15	< 0,02	1,63	2,20	43,30	47,27
	80-100	0,39	< 0,02	1,85	2,59	37,25	42,08
CA1-35 [III]	0-20	1,07	0,02	2,59	2,92	8,73	15,33
	80-100	0,94	< 0,02	1,89	2,34	9,65	14,83
CA1-47	5-10	1,71	0,05	19,98	4,85	99,58	126,16
	15-20	1,70	< 0,02	16,14	5,90	41,39	65,13
	42-45	2,25	0,18	13,81	7,57	72,28	96,09
CA1-48 [III]	0-20	1,37	0,37	3,68	4,95	39,85	50,22
	60-80	1,35	0,10	2,18	1,27	16,59	21,49
CA1-51 Sed [III]	0-20	1,48	< 0,02	7,23	2,18	106,71	117,60
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	0,53	< 0,02	2,35	1,19	12,15	16,23

CA1-53 [III]	0-5	2,26	< 0,02	2,89	2,98	11,26	19,39
	25-30	2,64	< 0,02	1,86	1,68	13,42	19,61
	35-40	3,54	0,82	1,56	1,47	12,63	20,02
	50-55	1,82	< 0,02	5,33	1,83	36,49	45,47
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	0,89	1,65	3,82	9,63	13,30	29,29
	1,0-1,6m	0,82	6,99	3,33	12,88	25,23	49,26
CA1-57 [IV]	0-20	6,47	4,33	3,44	6,78	25,93	46,95
	40-60	3,24	2,60	2,98	3,89	21,60	34,32
	80-100	4,97	4,39	4,72	3,20	21,94	39,21
Área CA2							
CA2-10	0-20	0,09	< 0,02	0,44	2,16	36,04	38,74
	40-60	< 0,02	< 0,02	0,20	2,14	25,52	27,86
	80-100	< 0,02	< 0,02	1,21	2,14	18,03	21,38
	2,40 m	0,53	< 0,02	0,86	2,20	13,37	16,96
CA2-10 (lixí)	0-20	0,97	< 0,02	3,12	3,44	66,01	73,55
	20-40	0,76	0,25	3,09	3,81	77,59	85,51
	40-60	0,31	0,13	1,83	1,67	19,06	23,01
	60-80	0,57	0,36	1,27	2,98	10,55	15,72
	80-100	0,31	0,07	1,06	1,91	20,34	23,69
CA2-10A [III]	0-20	0,58	< 0,02	1,28	3,26	70,75	75,87
	20-40	0,47	< 0,02	1,50	1,50	23,46	26,93
	40-60	0,83	< 0,02	1,78	2,04	50,21	54,85
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	0,15	2,90	3,74	10,25	11,73	28,78
	1,8-2,5m	0,21	3,13	8,66	9,14	21,71	42,85
CA2-11	0-20	< 0,02	< 0,02	1,42	2,21	22,26	25,90
	20-40	0,31	2,77	3,31	10,21	16,15	32,76
	40-60	0,26	2,71	3,44	6,92	14,09	27,42

CA2-12	0-20	0,29	0,38	0,64	2,29	56,48	60,08
	40-60	0,48	< 0,02	2,11	2,32	64,40	69,31
	80-100	12,60	14,49	4,59	8,46	26,17	66,31
	2,70 m	0,73	0,53	4,45	3,30	11,93	20,95
CA2-55 [IV]	1,6-2m	1,32	4,03	3,29	2,39	27,65	38,69
	2-2,60m	0,08	1,67	2,14	8,01	9,99	21,90
Área CA3							
CA3-18	0-20	0,18	7,44	2,90	2,83	27,94	41,29
	20-40	< 0,02	< 0,02	0,79	2,05	23,79	26,63
	40-60	0,53	14,49	3,05	6,60	28,14	52,82
	60-80	1,28	23,81	3,73	3,69	37,12	69,63
	80-100	< 0,02	< 0,02	4,49	1,61	74,77	80,87
	1,20-1,50 m	1,26	< 0,02	1,82	1,60	18,39	23,07
CA3-37	0-10	0,31	11,60	3,59	4,35	23,01	42,86
	10-20	< 0,02	< 0,02	3,51	1,90	86,67	92,08
	20-40	0,92	12,77	4,94	22,40	44,93	85,96
	40-50	1,33	47,94	4,55	30,67	53,02	137,52
CA3-38	20-30	0,06	< 0,02	2,37	3,62	50,01	56,07
	50-60	0,24	< 0,02	2,11	2,58	42,81	47,74
CA3-38 [III]	20-40	1,22	0,41	2,66	3,19	24,10	31,58
	40-60	1,18	0,33	2,25	2,16	15,89	21,81
	1,20 m	1,18	0,82	1,64	3,56	18,18	25,38

Tabela AI.16: Fracções extraídas em cobre, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Cobre (Cu)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	2,35	< 0,02	0,86	1,82	25,96	30,99
	10-20	1,86	0,22	0,27	0,67	77,20	80,21
CA0-2B	0-20	< 0,02	9,04	5,79	4,56	33,75	53,13
	20-40	< 0,02	15,14	6,46	12,27	33,47	67,34
	40-60	< 0,02	4,62	6,11	4,18	47,25	62,17
CA0-3A	0-5	2,26	0,58	2,27	7,13	76,86	89,10
	10-15	2,53	0,54	2,66	0,85	130,56	137,15
Área CA1							
CA1-13	0-20	9,36	28,77	16,82	1,74	38,35	95,04
	40-60	18,07	41,76	36,39	14,59	44,01	154,82
	80-100	28,29	42,64	28,53	9,27	155,33	264,07
	2,5 m	25,57	9,31	15,63	20,74	130,91	202,17
CA1-14	5-10	79,94	72,16	22,76	6,34	107,49	288,69
	20-40	13,04	93,20	64,20	12,95	124,32	307,71
	40-60	13,92	29,46	12,37	9,14	66,12	131,00
CA1-14 [III]	0-20	20,69	42,08	35,19	4,25	65,31	167,51
	20-40	28,29	56,70	38,86	3,97	81,10	208,92
	40-60	27,66	65,90	35,17	5,62	74,26	208,61
	60-80	27,27	61,95	43,96	6,86	128,11	268,14

	1,30 m	39,65	51,42	36,01	11,25	120,15	258,48
CA1-20	0-20	1,23	28,47	9,15	14,05	34,84	87,74
	20-40	2,49	25,85	5,98	13,11	27,22	74,65
	40-60	0,71	21,24	7,87	8,26	28,94	67,02
CA1-21	0-20	36,06	23,36	9,60	2,52	27,04	98,58
	40-60	18,74	23,79	66,64	30,02	46,51	185,70
	80-100	55,07	60,10	13,59	8,44	58,02	195,21
CA1-21 (lixiviada)	0-20	3,82	4,43	32,97	5,57	43,54	90,34
	20-40	12,20	10,81	50,00	9,67	52,57	135,26
	40-60	12,05	6,04	36,56	5,28	59,29	119,21
CA1-22	0-5	29,29	26,39	22,60	5,99	22,60	106,86
	10-15	15,25	24,07	10,71	12,01	48,45	110,50
	20-40	10,28	49,00	61,40	50,59	88,24	259,52
	80-100	6,16	39,22	59,84	33,73	47,81	186,75
CA1-22 [III]	0-20	11,81	17,46	64,89	6,99	67,67	168,83
	20-40	19,33	28,58	63,04	8,08	71,26	190,30
	80-100	26,80	60,28	166,98	32,98	89,32	376,37
CA1-23	0-20	13,22	29,23	26,02	11,65	52,97	133,09
	20-40	49,78	22,83	11,30	2,17	59,17	145,24
	80-100	16,05	51,75	41,62	4,82	51,68	165,93
CA1-23 [III]	0-5	0,91	25,02	40,51	5,62	97,52	169,58
	10-15	0,57	11,98	45,70	4,25	63,60	126,10
	25-30	4,50	18,19	35,80	24,52	43,64	126,65
	30-33	2,28	21,11	35,86	5,40	59,29	123,95
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	20,70	16,21	172,49	24,05	109,87	343,31
CA1-26 [III]	0-5	165,47	127,88	32,10	22,21	190,90	538,56
	10-15	283,45	54,62	20,06	34,93	210,36	603,42

	20-25	9,25	33,36	54,15	13,99	68,25	178,99
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	< 0,02	3,36	5,94	3,98	43,59	56,86
CA1-27	0-5	2,33	21,96	41,18	3,57	47,86	116,89
	20-25	1,95	16,17	8,41	2,38	40,16	69,07
	40-43	2,69	12,12	7,12	2,50	39,03	63,46
CA1-28	10-15	3,77	14,16	11,87	2,70	29,72	62,22
	15-20	4,42	12,49	9,79	2,24	19,59	48,54
	35-37	3,05	10,01	10,84	2,49	37,27	63,66
CA1-29	0-5	6,02	41,87	16,03	8,55	71,57	144,04
	20-25	3,39	10,16	12,14	2,49	25,21	53,40
	40-43	3,63	10,76	25,54	2,76	23,78	66,46
CA1-29 [III]	0-5	2,18	20,39	34,26	5,32	53,09	115,24
	20-25	1,85	6,30	17,12	3,60	40,93	69,79
	41-46	1,84	4,23	9,28	3,37	22,44	41,17
	2,50 m	88,76	10,80	62,16	29,44	164,24	355,39
CA1-30	0-20	1,95	5,65	34,68	2,60	35,92	80,80
	20-40	1,58	20,31	14,50	12,87	51,34	100,60
CA1-31	0-20	2,88	7,77	15,12	2,50	38,45	66,72
	20-40	1,48	19,14	15,72	15,38	43,03	94,75
	40-60	< 0,02	19,62	15,25	14,65	36,95	86,47
CA1-32 Sed [III]	0-20	114,51	89,43	30,58	8,37	137,53	380,43
CA1-32	0-10	15,61	22,97	43,97	6,51	67,44	156,50
	50-60	7,04	42,74	81,84	33,81	65,21	230,64
CA1-33	0-20	52,69	8,25	26,40	8,55	219,09	314,98
	20-40	99,87	27,10	31,13	10,40	138,43	306,93
	40-60	76,54	28,84	36,74	10,37	190,45	342,95
CA1-34	0-20	65,77	62,59	49,18	3,18	58,76	239,48

	40-60	15,88	31,38	21,09	16,21	40,25	124,81
	60-80	7,94	10,41	7,05	1,46	27,66	54,52
	80-100	8,53	20,56	14,70	11,64	31,33	86,76
CA1-35	0-10	5,58	6,35	7,55	1,63	26,02	47,13
	80-100	2,21	3,91	5,73	1,53	20,97	34,33
CA1-35 [III]	0-20	< 0,02	1,41	10,30	3,45	23,39	38,55
	80-100	< 0,02	1,45	< 0,025	3,07	21,44	25,96
CA1-47	5-10	5,73	8,63	27,24	1,75	24,34	67,69
	15-20	4,73	7,27	27,19	1,69	19,32	60,20
	42-45	5,66	10,14	25,30	2,29	19,17	62,56
CA1-48 [III]	0-20	6,12	10,42	23,51	4,35	63,83	108,23
	60-80	37,50	42,55	68,50	5,96	58,78	213,29
CA1-51 Sed [III]	0-20	47,65	2,33	41,21	47,73	192,02	330,94
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	19,28	1,66	7,10	128,55	198,41	355,00
CA1-53 [III]	0-5	35,32	4,86	9,27	74,78	231,33	355,57
	25-30	22,78	83,23	98,62	14,19	114,26	333,08
	35-40	117,76	145,71	67,78	52,94	180,13	564,32
	50-55	1,77	1,81	4,32	16,40	178,65	202,95
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	1,45	9,95	14,59	10,09	21,75	57,84
	1,0-1,6m	24,76	35,25	56,05	25,93	60,00	202,00
CA1-57 [IV]	0-20	17,73	33,27	58,80	32,82	43,10	185,72
	40-60	11,01	10,05	19,90	18,34	28,79	88,08
	80-100	159,15	92,75	55,38	272,96	67,34	647,57
Área CA2							
CA2-10	0-20	7,03	26,04	30,29	18,72	86,27	168,35
	40-60	16,09	4,68	1,49	5,71	172,70	200,68
	80-100	3,24	9,40	31,47	4,74	93,59	142,44

	2,40 m	0,84	1,52	0,06	6,16	97,32	105,89
CA2-10 (lixivi)	0-20	27,02	16,06	37,89	11,98	120,51	213,47
	20-40	24,30	2,12	12,55	12,97	148,07	200,02
	40-60	46,49	5,64	4,31	8,55	112,33	177,32
	60-80	< 0,02	0,29	20,60	4,31	93,00	118,21
	80-100	10,91	1,27	1,12	7,78	201,81	222,89
CA2-10A [III]	0-20	66,74	53,74	25,45	5,06	130,96	281,95
	20-40	48,26	47,83	51,62	6,04	102,75	256,50
	40-60	47,54	39,70	33,90	5,42	101,96	228,51
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	< 0,02	9,06	13,53	15,82	31,56	69,97
	1,8-2,5m	2,28	9,27	7,46	11,37	41,92	72,30
CA2-11	0-20	29,67	48,78	38,40	3,18	64,79	184,82
	20-40	2,25	15,32	9,81	16,05	30,28	73,71
	40-60	1,69	16,19	10,20	14,34	30,10	72,52
CA2-12	0-20	7,84	1,23	17,79	76,13	105,09	208,10
	40-60	1477,39	662,95	545,87	119,64	462,53	3268,38
	80-100	< 0,02	285,11	308,31	246,87	241,36	1081,65
	2,70 m	0,79	11,22	19,22	4,39	45,04	80,65
CA2-55 [IV]	1,6-2m	53,08	11,63	9,22	133,68	85,07	292,69
	2-2,60m	< 0,02	5,75	29,01	7,95	24,16	66,88
Área CA3							
CA3-18	0-20	58,10	51,87	34,96	29,75	50,47	225,15
	20-40	72,66	52,05	11,49	5,45	68,48	210,12
	40-60	52,51	51,59	44,47	34,19	52,94	235,70
	60-80	104,55	61,24	54,76	18,10	84,15	322,80
	80-100	83,03	80,45	36,33	4,93	73,43	278,17
	1,20-1,50 m	224,26	113,53	72,61	24,10	123,26	557,76

CA3-37	0-10	31,87	37,40	21,56	23,14	53,39	167,38
	10-20	42,02	37,70	18,82	2,65	89,30	190,50
	20-40	17,92	23,15	17,82	16,21	62,24	137,34
	40-50	9,61	18,01	15,00	16,85	81,89	141,36
CA3-38	20-30	48,32	38,84	38,98	4,43	43,87	174,42
	50-60	8,51	11,26	10,30	2,02	25,56	57,65
CA3-38 [III]	20-40	4,84	6,27	18,57	3,92	48,30	81,90
	40-60	1,97	4,88	16,07	3,22	26,56	52,71
	1,20 m	6,11	7,89	19,60	4,67	42,12	80,39

Tabela AI.17: Fracções extraídas em ferro, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Ferro (Fe)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	86,64	135,94	804,23	651,17	12508,79	14186,78
	10-20	88,45	205,78	1399,22	834,35	46242,58	48770,38
CA0-2B	0-20	126,28	373,14	950,35	923,92	11718,76	14092,45
	20-40	75,29	284,49	1382,84	1298,01	13024,94	16065,57
	40-60	240,02	195,50	1286,99	924,31	16234,28	18881,09
CA0-3A	0-5	445,61	666,48	1871,17	1,31	35522,82	38507,40

	10-15	411,04	443,15	1962,53	988,12	80603,34	84408,19
Área CA1							
CA1-13	0-20	224,74	604,85	2068,67	197,57	21710,37	24806,21
	40-60	167,66	767,68	2588,57	207,36	18127,76	21859,02
	80-100	633,64	461,24	1555,21	257,97	54994,61	57902,68
	2,5 m	205,02	225,98	1339,23	536,32	52442,91	54749,46
CA1-14	5-10	417,83	1037,05	2234,70	109,70	55429,46	59228,74
	20-40	1155,19	848,03	2243,80	110,83	56714,00	61071,85
	40-60	324,74	389,71	5800,71	195,55	25204,23	31914,94
CA1-14 [III]	0-20	173,01	837,29	1698,97	259,59	18921,59	21890,45
	20-40	156,75	1051,03	1725,60	111,59	23067,34	26112,31
	40-60	178,07	1049,00	1920,95	266,40	26902,38	30316,79
	60-80	86,88	557,93	2102,18	77,67	39417,40	42242,06
	1,30 m	170,50	397,34	1987,29	265,29	38309,58	41130,00
CA1-20	0-20	166,15	452,74	1475,94	1453,99	15163,14	18711,97
	20-40	155,06	439,84	1433,93	1011,44	10260,47	13300,75
	40-60	170,44	476,47	1769,39	1565,27	15109,39	19090,95
CA1-21	0-20	5118,63	677,71	1753,89	352,66	18112,61	26015,49
	40-60	843,29	1505,92	2702,25	979,82	18511,71	24542,99
	80-100	6269,50	1096,78	4636,66	139,57	30526,76	42669,27
CA1-21 (lixí)	0-20	919,28	780,63	2142,45	1275,68	13341,02	18459,06
	20-40	798,80	1178,08	2073,85	1229,90	17184,99	22465,62
	40-60	1037,03	766,38	2029,55	697,01	16511,92	21041,89
CA1-22	0-5	895,77	570,57	2195,32	83,26	2195,32	5940,23
	10-15	83,06	649,49	1290,92	202,43	23291,05	25516,96
	20-40	2897,65	1526,36	2313,36	197,52	31231,25	38166,15
	80-100	1002,45	1108,42	906,10	260,58	20000,46	23278,01

CA1-22 [III]	0-20	1961,82	919,92	2750,48	246,19	19120,57	24998,98
	20-40	1682,82	629,30	2413,58	193,23	18644,37	23563,30
	80-100	471,80	1074,45	1299,74	152,83	24982,46	27981,29
CA1-23	0-20	329,87	760,48	2043,52	457,71	20360,80	23952,37
	20-40	74,21	914,54	3599,79	685,42	28584,13	33858,09
	80-100	1141,11	1114,64	2693,26	64,22	27481,51	32494,74
CA1-23 [III]	0-5	1053,97	561,52	1847,41	540,58	35776,05	39779,53
	10-15	1312,28	909,34	1242,07	159,66	20619,78	24243,12
	25-30	1323,00	870,92	3215,34	252,91	19009,79	24671,96
	30-33	770,73	798,00	1344,00	129,37	18308,20	21350,30
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	1022,27	1743,11	4721,64	214,78	36479,09	44180,88
CA1-26 [III]	0-5	1099,72	1635,01	3329,10	1221,52	78310,07	85595,43
	10-15	1869,35	1538,69	6303,77	968,55	69714,44	80394,78
	20-25	919,93	718,61	1171,20	267,15	27341,00	30417,89
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	366,05	330,64	1531,07	1365,36	15226,17	18819,30
CA1-27	0-5	655,46	486,86	1691,45	448,83	25407,90	28690,51
	20-25	319,95	398,22	2443,91	529,25	23741,30	27432,62
	40-43	335,82	296,46	2702,34	860,94	21957,36	26152,93
CA1-28	10-15	926,54	740,22	3210,16	923,53	17363,58	23164,03
	15-20	802,58	673,30	2105,61	343,04	9603,44	13527,97
	35-37	837,23	1331,48	5297,60	1104,64	25677,93	34248,87
CA1-29	0-5	2159,31	1599,18	2733,92	103,52	31436,45	38032,37
	20-25	1787,00	3146,64	3552,19	772,58	13513,51	22771,91
	40-43	1824,99	3957,81	8332,40	835,29	11664,03	26614,52
CA1-29 [III]	0-5	2013,11	2939,45	3841,57	260,96	20592,70	29647,79
	20-25	2108,84	4056,88	6183,06	644,51	16029,37	29022,66
	41-46	2170,75	2803,64	5049,15	525,59	9614,59	20163,71

	2,50 m	608,52	1021,06	2442,11	84,47	50306,57	54462,73
CA1-30	0-20	152,87	571,22	1795,14	904,87	19142,74	22566,84
	20-40	96,12	635,14	5609,44	2823,72	21362,17	30526,59
CA1-31	0-20	345,84	600,86	4569,30	695,94	19616,98	25828,92
	20-40	183,75	640,36	6508,81	2919,68	16005,77	26258,37
	40-60	174,58	578,82	6762,63	2640,90	15483,54	25640,46
CA1-32 Sed [III]	0-20	353,78	1092,88	1493,96	149,51	45661,42	48751,55
CA1-32	0-10	334,69	1155,39	3407,53	290,50	37840,00	43028,11
	50-60	1548,63	1881,16	2426,33	117,00	20286,33	26259,45
CA1-33	0-20	64,86	421,11	4199,18	375,19	104577,76	109638,10
	20-40	65,87	377,55	3872,84	476,29	91189,76	95982,31
	40-60	28,42	473,79	3085,80	495,82	96886,94	100970,76
CA1-34	0-20	453,59	649,12	2292,37	122,59	27935,22	31452,90
	40-60	118,70	570,85	2808,33	603,79	16474,18	20575,86
	60-80	335,61	303,81	1668,48	101,23	13253,86	15662,99
	80-100	193,33	522,98	2745,12	834,49	12235,85	16531,76
CA1-35	0-10	277,40	196,75	1191,06	146,65	12718,04	14529,90
	80-100	343,78	287,54	1731,51	277,76	10571,69	13212,28
CA1-35 [III]	0-20	305,74	191,37	1777,34	639,92	9552,91	12467,28
	80-100	218,79	150,40	1241,95	540,68	10001,27	12153,10
CA1-47	5-10	2472,65	4860,98	14469,06	250,74	11713,84	33767,27
	15-20	1826,92	3379,08	8967,44	284,56	8888,76	23346,76
	42-45	2584,90	6582,75	12694,76	463,11	8290,17	30615,68
CA1-48 [III]	0-20	1010,50	1053,01	2110,23	359,88	24091,38	28625,01
	60-80	992,57	793,73	1323,72	104,65	17302,35	20517,03
CA1-51 Sed [III]	0-20	167,73	282,54	3317,76	164,52	88107,48	92040,04
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	635,64	578,37	2937,74	426,61	88927,29	93505,65

CA1-53 [III]	0-5	1166,84	669,07	3394,53	1534,01	108285,04	115049,49
	25-30	961,26	1517,12	1441,53	285,12	58920,13	63125,16
	35-40	1065,61	2184,87	1549,02	304,71	81887,97	86992,18
	50-55	1078,24	848,30	2897,76	77,56	82415,33	87317,19
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	922,88	1062,52	4262,17	2054,29	9552,29	17854,15
	1,0-1,6m	87,13	631,23	3922,42	1094,04	21657,02	27391,84
CA1-57 [IV]	0-20	1516,87	1384,04	2532,55	317,93	16506,18	22257,57
	40-60	409,76	499,77	1352,01	178,33	11750,39	14190,27
	80-100	436,51	558,12	1817,17	288,80	19618,81	22719,41
Área CA2							
CA2-10	0-20	83,70	479,53	2239,54	345,61	31092,23	34240,60
	40-60	99,10	246,33	2094,57	639,12	87607,73	90686,86
	80-100	20,01	165,47	1676,43	152,95	51293,51	53308,38
	2,40 m	76,12	180,07	1264,13	373,30	45321,53	47215,15
CA2-10 (lixí)	0-20	227,37	705,63	3025,64	406,06	50317,77	54682,47
	20-40	284,06	566,54	2998,35	628,11	66548,40	71025,46
	40-60	240,89	251,08	2079,44	979,50	57921,44	61472,36
	60-80	24,71	129,06	840,10	478,38	42963,85	44436,10
	80-100	104,43	239,95	1900,95	643,82	116702,68	119591,83
CA2-10A [III]	0-20	58,74	416,05	1297,79	116,49	48429,22	50318,29
	20-40	112,05	616,82	1511,34	220,96	31481,62	33942,78
	40-60	87,76	454,19	1284,66	162,96	42547,37	44536,95
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	61,85	375,80	6182,05	2678,64	14613,24	23911,58
	1,8-2,5m	6,40	117,35	2763,78	2921,82	24436,88	30246,23
CA2-11	0-20	124,41	506,84	1090,00	250,07	33669,91	35641,23
	20-40	38,70	293,52	3922,40	2346,64	12747,01	19348,26
	40-60	25,83	265,51	3886,11	1940,01	12925,04	19042,50

CA2-12	0-20	428,80	838,36	16837,03	81,16	34770,51	52955,87
	40-60	325,48	1933,59	4645,16	53,81	19919,36	26877,40
	80-100	535,27	1643,89	5568,23	512,59	34615,27	42875,24
	2,70 m	124,66	541,14	6350,59	1326,01	16601,29	24943,69
CA2-55 [IV]	1,6-2m	58,07	214,48	2213,38	335,56	44257,88	47079,37
	2-2,60m	4,42	77,49	1488,99	973,73	10353,93	12898,57
Área CA3							
CA3-18	0-20	437,44	544,45	1615,08	183,34	20354,68	23135,00
	20-40	108,59	642,66	1711,54	220,88	29909,55	32593,22
	40-60	155,98	635,58	2274,73	370,62	22322,90	25759,81
	60-80	178,72	420,81	2104,64	201,09	32596,59	35501,85
	80-100	154,01	436,21	1495,39	156,01	38013,79	40255,42
	1,20-1,50 m	815,63	838,36	1995,87	267,82	31333,34	35251,02
CA3-37	0-10	22,63	157,74	1782,23	247,59	21334,21	23544,41
	10-20	30,96	175,25	1607,65	59,59	38021,20	39894,66
	20-40	64,94	255,63	2426,59	1648,83	31475,99	35871,97
	40-50	17,42	506,09	2350,96	2685,77	40254,53	45814,78
CA3-38	20-30	465,45	546,91	1708,48	340,60	19882,98	22944,42
	50-60	740,08	430,79	1828,77	169,80	12335,68	15505,12
CA3-38 [III]	20-40	1182,65	797,05	1319,29	392,69	15597,24	19288,93
	40-60	956,88	1335,46	1772,64	433,98	10615,91	15114,86
	1,20 m	1275,09	867,88	1634,92	642,78	16810,93	21231,60

Tabela AI.18: Fracções extraídas em manganês, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Manganês (Mn)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	28,08	94,52	66,16	< 0,01	40,35	229,11
	10-20	33,71	148,49	20,41	1,99	47,00	251,60
CA0-2B	0-20	55,42	151,88	21,51	5,77	25,97	260,54
	20-40	39,15	< 0,02	32,19	13,67	27,79	112,81
	40-60	33,42	102,24	29,77	4,47	43,99	213,89
CA0-3A	0-5	22,78	14,16	6,46	1,62	53,86	98,87
	10-15	13,70	8,06	8,05	1,99	60,83	92,63
Área CA1							
CA1-13	0-20	67,62	204,26	32,44	3,35	127,76	435,43
	40-60	65,54	< 0,02	47,77	7,98	34,56	155,86
	80-100	548,38	315,70	33,97	11,27	38,88	948,19
	2,5 m	567,55	971,78	29,59	24,82	10,58	1604,32
CA1-14	5-10	488,56	3041,79	140,08	0,85	32,97	3704,25
	20-40	240,59	852,68	60,11	< 0,01	399,62	1553,00
	40-60	48,48	153,48	17,55	2,08	89,71	311,29
CA1-14 [III]	0-20	80,33	720,45	71,41	2,84	45,31	920,34
	20-40	99,46	1027,23	80,93	5,52	49,50	1262,63
	40-60	95,75	997,37	80,62	5,51	44,84	1224,09
	60-80	50,41	599,40	27,64	7,68	39,09	724,23

	1,30 m	140,07	708,02	52,65	12,25	48,66	961,63
CA1-20	0-20	90,74	< 0,02	29,06	16,59	25,50	161,89
	20-40	69,65	< 0,02	27,90	9,88	26,17	133,60
	40-60	59,86	< 0,02	39,68	11,56	26,80	137,90
CA1-21	0-20	683,91	111,01	16,90	4,30	69,05	885,18
	40-60	131,33	< 0,02	8,60	9,33	32,30	181,56
	80-100	359,37	127,44	135,04	3,52	110,49	735,85
CA1-21 (lixiv)	0-20	84,04	64,89	14,84	12,04	45,43	221,25
	20-40	119,87	63,44	9,63	4,25	41,33	238,52
	40-60	209,02	35,42	7,66	2,34	43,38	297,82
CA1-22	0-5	196,25	169,84	25,07	1,71	25,07	417,93
	10-15	50,32	58,16	6,68	1,95	33,69	150,80
	20-40	559,76	136,97	11,64	1,83	37,41	747,61
	80-100	385,48	74,38	< 0,025	5,31	47,04	512,22
CA1-22 [III]	0-20	517,52	70,52	22,28	3,35	51,81	665,49
	20-40	562,13	51,05	21,37	2,15	52,11	688,80
	80-100	361,92	97,32	15,92	12,12	26,22	513,51
CA1-23	0-20	80,05	< 0,02	24,21	6,57	40,47	151,30
	20-40	59,71	268,38	28,96	1,77	37,20	396,02
	80-100	254,08	61,47	20,72	2,18	97,74	436,19
CA1-23 [III]	0-5	135,64	31,37	15,95	2,72	53,52	239,20
	10-15	164,03	97,66	17,19	1,56	42,80	323,23
	25-30	123,69	< 0,02	68,66	7,56	35,40	235,32
	30-33	47,14	31,62	11,16	1,74	25,24	116,90
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	396,93	279,25	63,88	5,37	66,88	812,31
CA1-26 [III]	0-5	348,62	83,45	29,70	12,06	18,09	491,93
	10-15	696,01	143,11	36,27	13,50	20,08	908,96

	20-25	297,26	48,55	12,61	3,27	23,74	385,42
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	49,18	6,18	5,24	1,03	18,50	80,12
CA1-27	0-5	57,52	15,26	13,40	2,90	169,36	258,44
	20-25	55,44	11,91	13,77	7,94	148,82	237,88
	40-43	40,82	8,66	14,44	4,99	129,87	198,78
CA1-28	10-15	111,05	16,99	< 0,025	1,90	104,47	234,41
	15-20	85,92	13,48	< 0,025	1,45	41,54	142,38
	35-37	35,99	56,96	53,15	4,09	166,90	317,08
CA1-29	0-5	501,15	83,77	< 0,025	3,43	99,99	688,34
	20-25	163,69	181,71	35,67	5,47	89,53	476,06
	40-43	185,89	219,17	88,52	7,87	101,17	602,62
CA1-29 [III]	0-5	313,74	174,88	80,23	5,10	57,18	631,12
	20-25	363,93	209,03	64,39	12,33	55,02	704,70
	41-46	234,02	99,96	63,70	6,20	48,75	452,63
	2,50 m	1019,87	789,04	253,41	31,43	74,53	2168,29
CA1-30	0-20	78,17	296,30	15,22	8,65	347,95	746,29
	20-40	51,12	< 0,02	145,79	30,58	52,81	280,30
CA1-31	0-20	29,48	92,54	91,19	8,72	86,33	308,25
	20-40	20,74	< 0,02	54,35	18,99	42,42	136,51
	40-60	25,52	< 0,02	74,25	17,74	50,91	168,41
CA1-32 Sed [III]	0-20	613,78	393,24	30,25	11,89	78,53	1127,68
CA1-32	0-10	115,85	351,92	85,50	22,91	103,96	680,14
	50-60	448,92	200,53	43,81	9,29	37,52	740,08
CA1-33	0-20	92,37	606,18	36,54	31,60	33,10	799,78
	20-40	45,58	991,49	79,13	38,34	83,17	1237,71
	40-60	44,92	1122,11	73,06	45,53	57,43	1343,06
CA1-34	0-20	118,87	582,64	59,50	5,07	103,24	869,32

	40-60	33,45	< 0,02	48,56	8,66	27,27	117,94
	60-80	34,07	85,97	21,21	2,26	56,12	199,62
	80-100	45,07	< 0,02	31,88	8,58	23,90	109,43
CA1-35	0-10	37,18	76,64	17,91	2,59	67,79	202,11
	80-100	34,48	5,77	< 0,025	1,95	80,65	122,85
CA1-35 [III]	0-20	91,00	8,67	10,95	2,70	24,24	137,57
	80-100	43,95	3,13	6,12	1,88	21,23	76,32
CA1-47	5-10	277,42	198,79	160,94	9,14	499,83	1146,11
	15-20	142,45	121,63	142,18	8,57	124,56	539,39
	42-45	176,88	251,16	120,93	12,17	143,57	704,71
CA1-48 [III]	0-20	274,00	40,80	13,01	1,97	50,80	380,58
	60-80	135,27	50,29	15,53	1,91	42,64	245,64
CA1-51 Sed [III]	0-20	324,08	867,94	34,24	52,45	121,05	1399,77
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	1336,17	1159,76	151,40	58,58	65,27	2771,17
CA1-53 [III]	0-5	1087,39	210,05	54,16	20,73	32,30	1404,63
	25-30	910,42	144,29	27,94	14,71	30,95	1128,31
	35-40	633,67	137,46	25,40	18,96	29,00	844,50
	50-55	583,59	539,67	44,27	22,30	21,26	1211,09
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	72,34	< 0,02	47,91	58,39	35,14	213,80
	1,0-1,6m	61,98	< 0,02	50,73	19,48	44,02	176,22
CA1-57 [IV]	0-20	261,47	< 0,02	16,04	7,75	32,18	317,44
	40-60	70,42	< 0,02	4,56	3,30	25,73	104,01
	80-100	221,73	< 0,02	29,45	29,58	38,75	319,52
Área CA2							
CA2-10	0-20	41,27	26,40	5,81	2,02	255,95	331,45
	40-60	30,20	94,07	10,12	0,63	75,27	210,29
	80-100	18,64	15,27	29,91	8,12	46,13	118,07

	2,40 m	23,89	84,12	6,32	12,42	11,30	138,06
CA2-10 (lixi)	0-20	67,63	73,29	20,18	15,45	38,97	215,52
	20-40	62,03	243,33	16,76	20,94	8,37	351,44
	40-60	56,58	97,28	15,96	23,56	16,74	210,13
	60-80	22,27	8,27	9,79	5,68	38,82	84,84
	80-100	63,74	113,63	21,22	25,46	25,30	249,37
CA2-10A [III]	0-20	128,42	1072,96	86,19	10,87	74,55	1372,99
	20-40	159,90	1084,60	81,79	14,05	57,48	1397,82
	40-60	149,02	1051,05	49,48	11,75	42,73	1304,03
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	8,47	< 0,02	133,91	35,40	33,30	211,08
	1,8-2,5m	25,92	< 0,02	7,81	8,55	37,10	79,39
CA2-11	0-20	38,41	188,13	25,39	4,99	34,78	291,69
	20-40	20,31	< 0,02	76,60	28,05	29,43	154,39
	40-60	19,60	< 0,02	64,24	20,68	32,81	137,34
CA2-12	0-20	62,81	20,37	1,64	2,20	99,04	186,06
	40-60	427,11	4939,74	603,03	< 0,01	505,54	6475,42
	80-100	515,08	4022,70	398,58	206,42	146,91	5289,69
	2,70 m	46,29	7,54	9,28	1,34	16,14	80,59
CA2-55 [IV]	1,6-2m	54,09	< 0,02	11,32	152,68	48,98	267,06
	2-2,60m	11,28	< 0,02	42,02	5,13	21,13	79,57
Área CA3							
CA3-18	0-20	208,74	< 0,02	43,38	13,65	29,05	294,82
	20-40	34,36	473,28	17,28	1,87	35,88	562,67
	40-60	198,69	< 0,02	57,67	16,73	34,41	307,50
	60-80	152,30	< 0,02	116,43	28,35	61,59	358,66
	80-100	153,50	1142,91	96,32	10,04	96,23	1499,00
	1,20-1,50 m	353,18	273,65	37,40	10,35	62,07	736,64

CA3-37	0-10	54,12	< 0,02	55,52	17,41	43,98	171,02
	10-20	58,44	2437,05	197,13	20,39	153,76	2866,77
	20-40	86,91	< 0,02	74,02	26,93	51,77	239,63
	40-50	70,61	< 0,02	197,30	79,09	137,60	484,60
CA3-38	20-30	191,71	211,73	33,87	6,55	79,60	523,46
	50-60	117,33	23,98	< 0,025	2,76	64,07	208,14
CA3-38 [III]	20-40	124,08	28,04	10,76	2,59	43,14	208,61
	40-60	104,40	40,88	17,34	2,60	21,23	186,45
	1,20 m	154,31	41,27	12,82	3,54	42,02	253,96

Tabela AI.19: Fracções extraídas em níquel, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Níquel (Ni)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	< 0,02	0,35	3,09	0,17	2,04	5,66
	10-20	< 0,02	0,52	1,11	0,28	2,83	4,74
CA0-2B	0-20	1,61	0,18	< 0,025	1,24	1,69	4,72
	20-40	< 0,02	0,61	0,99	0,90	1,98	4,47
	40-60	1,60	< 0,02	< 0,025	0,81	2,93	5,35
CA0-3A	0-5	0,83	1,22	2,82	< 0,01	6,02	10,89

	10-15	0,51	1,00	3,19	0,29	6,74	11,74
Área CA1							
CA1-13	0-20	0,60	0,28	0,75	0,41	4,83	6,86
	40-60	0,23	1,21	0,81	1,93	3,34	7,53
	80-100	2,68	0,07	< 0,025	1,20	0,81	4,76
	2,5 m	1,72	< 0,02	< 0,025	1,52	< 0,025	3,24
CA1-14	5-10	1,93	2,21	0,73	0,15	3,36	8,37
	20-40	0,75	1,45	0,46	0,08	5,39	8,13
	40-60	0,62	2,20	1,48	0,21	4,17	8,67
CA1-14 [III]	0-20	1,92	0,60	< 0,025	0,65	3,56	6,73
	20-40	2,51	0,91	1,77	0,64	2,61	8,44
	40-60	2,12	0,91	< 0,025	0,82	3,66	7,51
	60-80	1,65	0,46	< 0,025	1,17	0,19	3,47
	1,30 m	2,06	0,43	< 0,025	0,88	< 0,025	3,36
CA1-20	0-20	< 0,02	0,59	0,66	2,29	2,18	5,73
	20-40	< 0,02	0,72	2,37	2,28	4,97	10,34
	40-60	< 0,02	0,99	2,32	1,39	3,08	7,78
CA1-21	0-20	1,60	0,15	0,68	0,61	3,44	6,49
	40-60	1,03	1,66	1,33	3,25	4,26	11,53
	80-100	5,95	0,66	1,17	0,64	5,39	13,82
CA1-21 (lixivi)	0-20	1,74	< 0,02	0,96	1,48	1,99	6,16
	20-40	2,23	< 0,02	< 0,025	0,85	3,10	6,18
	40-60	2,45	< 0,02	0,50	0,81	1,54	5,30
CA1-22	0-5	0,83	0,57	0,93	0,10	0,93	3,36
	10-15	0,38	1,07	3,19	0,27	2,44	7,35
	20-40	3,20	1,67	0,81	0,11	3,76	9,54
	80-100	2,22	1,07	0,97	0,70	4,26	9,21

CA1-22 [III]	0-20	2,27	< 0,02	< 0,025	0,94	0,69	3,90
	20-40	2,69	0,10	0,32	0,62	< 0,025	3,73
	80-100	3,38	0,48	< 0,025	1,05	0,40	5,31
CA1-23	0-20	0,29	0,91	1,88	1,01	4,26	8,34
	20-40	8,82	0,94	0,82	0,18	3,02	13,78
	80-100	1,05	0,74	0,95	0,26	5,42	8,42
CA1-23 [III]	0-5	1,93	0,03	< 0,025	0,90	2,38	5,24
	10-15	1,26	< 0,02	0,36	0,49	1,32	3,43
	25-30	0,11	1,24	0,22	1,76	3,26	6,59
	30-33	1,51	< 0,02	0,76	0,67	< 0,025	2,94
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	2,82	0,60	< 0,025	1,37	0,83	5,62
CA1-26 [III]	0-5	1,06	< 0,02	< 0,025	2,56	< 0,025	3,62
	10-15	0,91	< 0,02	< 0,025	2,03	< 0,025	2,94
	20-25	1,17	< 0,02	0,71	1,57	0,78	4,23
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	0,79	< 0,02	0,49	0,94	1,34	3,56
CA1-27	0-5	0,49	0,31	0,48	0,73	5,17	7,18
	20-25	0,18	< 0,02	0,77	0,67	6,27	7,89
	40-43	0,15	0,04	0,72	0,82	5,98	7,70
CA1-28	10-15	0,26	0,34	1,29	0,79	6,54	9,23
	15-20	0,24	0,30	0,68	0,71	5,03	6,95
	35-37	0,25	0,44	1,26	0,51	5,63	8,08
CA1-29	0-5	1,09	0,44	0,89	0,40	5,79	8,61
	20-25	0,78	0,38	0,73	0,65	6,01	8,55
	40-43	0,80	0,48	2,08	0,88	5,65	9,89
CA1-29 [III]	0-5	2,05	0,08	0,28	0,86	1,62	4,89
	20-25	1,44	< 0,02	1,16	1,60	0,59	4,79
	41-46	1,33	< 0,02	0,99	1,12	4,50	7,93

	2,50 m	2,90	< 0,02	< 0,025	1,18	< 0,025	4,08
CA1-30	0-20	0,16	1,51	0,95	1,01	7,60	11,23
	20-40	< 0,02	1,36	2,31	2,49	8,81	14,97
CA1-31	0-20	< 0,02	0,11	0,40	0,75	9,14	10,40
	20-40	0,01	0,95	1,77	2,34	10,12	15,20
	40-60	< 0,02	0,33	2,35	1,89	10,07	14,65
CA1-32 Sed [III]	0-20	3,66	1,61	< 0,025	0,90	1,67	7,84
CA1-32	0-10	0,91	1,03	1,91	0,85	3,83	8,52
	50-60	2,08	1,11	0,73	0,80	4,67	9,39
CA1-33	0-20	0,77	< 0,02	< 0,025	1,40	< 0,025	2,16
	20-40	1,70	2,52	0,56	1,78	6,59	13,15
	40-60	0,36	< 0,02	< 0,025	1,42	< 0,025	1,78
CA1-34	0-20	1,36	0,88	0,83	0,11	5,99	9,16
	40-60	< 0,02	0,25	1,87	0,65	3,63	6,39
	60-80	< 0,02	< 0,02	0,06	0,38	4,74	5,17
	80-100	< 0,02	0,53	2,06	2,23	4,39	9,21
CA1-35	0-10	< 0,02	< 0,02	0,37	0,35	4,36	5,07
	80-100	< 0,02	< 0,02	0,11	0,36	4,01	4,47
CA1-35 [III]	0-20	0,69	< 0,02	< 0,025	0,82	0,54	2,05
	80-100	0,46	< 0,02	< 0,025	1,07	< 0,025	1,54
CA1-47	5-10	0,80	0,64	4,01	1,04	8,05	14,54
	15-20	0,30	0,26	2,74	0,84	6,02	10,15
	42-45	0,52	0,52	2,78	1,17	7,05	12,03
CA1-48 [III]	0-20	1,55	< 0,02	< 0,025	0,64	0,29	2,48
	60-80	2,48	< 0,02	< 0,025	0,47	0,77	3,71
CA1-51 Sed [III]	0-20	1,79	< 0,02	< 0,025	2,38	1,24	5,41
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	1,28	< 0,02	< 0,025	1,11	< 0,025	2,39

CA1-53 [III]	0-5	0,66	< 0,02	< 0,025	2,36	< 0,025	3,02
	25-30	1,10	0,09	< 0,025	1,50	1,11	3,81
	35-40	1,73	0,52	0,21	2,06	0,56	5,09
	50-55	1,97	< 0,02	< 0,025	0,85	< 0,025	2,83
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	< 0,02	0,29	0,56	3,76	4,54	9,13
	1,0-1,6m	0,40	1,27	1,21	2,33	4,32	9,53
CA1-57 [IV]	0-20	2,21	1,68	2,14	3,81	3,70	13,53
	40-60	0,64	1,04	1,25	1,96	2,78	7,67
	80-100	4,51	2,75	1,98	1,45	2,61	13,29
Área CA2							
CA2-10	0-20	3,16	2,52	1,36	0,26	4,00	11,30
	40-60	4,25	4,47	< 0,025	0,21	3,03	11,96
	80-100	0,76	0,85	1,04	0,66	6,24	9,56
	2,40 m	2,06	< 0,02	< 0,025	0,68	< 0,025	2,74
CA2-10 (lixivi)	0-20	3,64	0,37	< 0,025	1,38	2,51	7,90
	20-40	2,35	0,79	< 0,025	1,04	< 0,025	4,18
	40-60	2,06	1,71	< 0,025	0,94	< 0,025	4,71
	60-80	2,36	3,11	0,07	1,26	< 0,025	6,80
	80-100	2,13	2,29	< 0,025	1,52	< 0,025	5,93
CA2-10A [III]	0-20	2,22	1,59	< 0,025	1,13	1,60	6,55
	20-40	2,16	2,74	< 0,025	0,68	3,16	8,74
	40-60	1,44	2,39	< 0,025	0,47	2,90	7,21
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	< 0,02	0,13	1,49	3,64	3,24	8,51
	1,8-2,5m	< 0,02	0,18	2,73	1,46	4,11	8,48
CA2-11	0-20	< 0,02	0,26	0,55	0,55	2,86	4,22
	20-40	< 0,02	0,60	2,48	1,95	2,87	7,89
	40-60	< 0,02	0,48	0,74	0,70	3,14	5,06

CA2-12	0-20	3,29	3,47	< 0,025	0,63	2,16	9,55
	40-60	8,10	5,47	0,42	0,29	7,20	21,47
	80-100	12,88	5,18	3,17	5,47	3,91	30,61
	2,70 m	1,45	1,41	< 0,025	0,79	2,05	5,71
CA2-55 [IV]	1,6-2m	0,76	1,19	2,61	1,42	2,64	8,61
	2-2,60m	< 0,02	0,33	1,03	2,25	2,90	6,52
Área CA3							
CA3-18	0-20	1,31	1,20	1,62	2,36	3,47	9,95
	20-40	0,77	1,16	0,84	0,26	6,93	9,95
	40-60	1,81	1,74	0,87	1,26	2,21	7,89
	60-80	3,32	2,71	0,94	2,00	2,92	11,88
	80-100	1,93	1,34	2,18	0,49	5,57	11,51
	1,20-1,50 m	3,90	1,78	< 0,025	0,84	0,59	7,11
CA3-37	0-10	0,32	1,12	2,95	0,65	4,13	9,17
	10-20	0,77	1,53	1,37	0,47	6,28	10,42
	20-40	< 0,02	1,41	4,09	2,65	3,31	11,46
	40-50	< 0,02	3,14	2,64	2,29	3,82	11,89
CA3-38	20-30	1,18	0,69	0,93	0,66	3,83	7,28
	50-60	0,45	0,25	0,47	0,40	3,52	5,08
CA3-38 [III]	20-40	2,02	0,97	< 0,025	0,92	< 0,025	3,90
	40-60	2,03	1,20	1,70	0,58	< 0,025	5,51
	1,20 m	1,78	0,82	< 0,025	0,82	1,20	4,63

Tabela AI.20: Fracções extraídas em chumbo, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Chumbo (Pb)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	4,66	2,68	1,55	0,58	7,32	16,79
	10-20	2,36	3,90	0,42	0,58	9,66	16,91
CA0-2B	0-20	6,62	3,20	4,95	1,33	3,36	19,46
	20-40	2,66	134,48	5,51	5,94	9,59	158,18
	40-60	4,60	< 0,02	4,59	0,95	9,53	19,67
CA0-3A	0-5	7,11	4,66	3,22	< 0,01	14,44	29,44
	10-15	4,53	3,73	1,73	0,59	16,53	27,11
Área CA1							
CA1-13	0-20	19,61	20,94	13,45	0,91	54,47	109,38
	40-60	54,82	253,28	73,26	12,23	43,88	437,48
	80-100	513,75	109,85	182,93	17,68	147,60	971,81
	2,5 m	557,15	111,95	133,70	84,58	320,51	1207,89
CA1-14	5-10	178,21	326,39	137,17	< 0,01	136,30	778,06
	20-40	62,31	194,19	158,86	< 0,01	695,07	1110,43
	40-60	24,06	86,57	52,99	0,32	175,95	339,89
CA1-14 [III]	0-20	35,11	137,73	77,10	7,02	48,80	305,76
	20-40	37,15	189,25	93,29	6,22	57,85	383,75
	40-60	45,13	200,49	95,10	10,18	48,69	399,58
	60-80	195,45	191,20	159,16	15,62	157,86	719,28

	1,30 m	257,40	171,90	81,30	26,65	125,85	663,09
CA1-20	0-20	7,86	116,70	11,20	8,91	23,95	168,62
	20-40	6,84	106,85	7,94	12,49	13,02	147,14
	40-60	3,47	159,01	6,67	6,13	9,47	184,74
CA1-21	0-20	20,69	2,27	1,71	< 0,01	7,59	32,25
	40-60	76,30	35,46	71,84	18,92	44,27	246,80
	80-100	142,60	40,65	7,49	1,12	68,11	259,96
CA1-21 (lixí)	0-20	21,12	8,55	32,31	3,18	17,61	82,77
	20-40	46,44	22,67	48,70	6,79	17,30	141,89
	40-60	40,50	15,39	31,12	3,62	12,11	102,75
CA1-22	0-5	53,50	41,86	24,14	0,53	24,14	144,18
	10-15	56,02	24,53	11,99	0,22	21,81	114,56
	20-40	254,82	76,31	40,19	< 0,01	56,27	427,59
	80-100	92,27	34,08	22,50	1,80	37,21	187,85
CA1-22 [III]	0-20	54,70	19,92	49,05	3,18	20,97	147,82
	20-40	75,31	23,84	62,77	4,91	25,05	191,89
	80-100	422,18	106,87	131,89	13,16	73,03	747,13
CA1-23	0-20	41,97	200,70	35,64	11,68	24,29	314,28
	20-40	47,35	21,13	26,31	0,47	12,36	107,63
	80-100	100,57	50,24	34,89	0,81	88,58	275,09
CA1-23 [III]	0-5	173,76	36,52	54,86	4,91	43,47	313,52
	10-15	84,28	22,92	29,23	2,34	21,74	160,51
	25-30	59,94	39,19	32,11	12,74	31,36	175,34
	30-33	130,04	44,84	32,15	2,97	24,45	234,46
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	247,76	44,18	139,04	25,93	105,51	562,41
CA1-26 [III]	0-5	2252,55	511,33	82,97	638,36	552,01	4037,22
	10-15	3260,52	372,97	106,14	1543,70	1226,10	6509,43

	20-25	1123,77	208,58	88,79	26,21	115,09	1562,44
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	6,30	< 0,02	0,78	0,56	1,38	9,03
CA1-27	0-5	25,49	16,69	34,72	0,11	51,95	128,95
	20-25	6,69	6,48	4,13	< 0,01	25,24	42,54
	40-43	4,75	1,93	2,34	< 0,01	7,13	16,16
CA1-28	10-15	4,21	3,39	4,05	< 0,01	19,42	31,07
	15-20	2,80	2,49	2,51	< 0,01	7,93	15,73
	35-37	0,77	1,32	1,92	< 0,01	9,55	13,56
CA1-29	0-5	128,11	74,15	9,34	1,72	118,71	332,05
	20-25	2,24	1,13	1,01	< 0,01	3,41	7,79
	40-43	123,65	62,40	4,18	< 0,01	117,70	307,92
CA1-29 [III]	0-5	51,99	17,86	15,85	1,76	10,77	98,23
	20-25	6,58	2,94	3,36	< 0,01	5,70	18,58
	41-46	6,39	< 0,02	< 0,025	0,72	2,02	9,13
	2,50 m	1028,62	128,73	112,10	43,24	227,55	1540,24
CA1-30	0-20	0,62	3,24	19,69	< 0,01	6,99	30,54
	20-40	2,76	277,98	10,25	11,72	14,99	317,70
CA1-31	0-20	13,16	15,16	18,53	0,37	40,49	87,71
	20-40	3,69	7,02	8,22	7,49	10,52	36,95
	40-60	3,64	11,24	8,68	10,45	11,69	45,71
CA1-32 Sed [III]	0-20	302,41	160,57	132,39	20,15	144,10	759,64
CA1-32	0-10	85,33	89,71	97,79	3,88	105,24	381,94
	50-60	232,24	101,46	94,88	4,86	133,85	567,27
CA1-33	0-20	452,93	53,17	121,87	115,59	380,61	1124,17
	20-40	923,15	109,87	142,88	160,84	572,39	1909,13
	40-60	503,51	118,73	88,64	120,82	410,04	1241,75
CA1-34	0-20	124,36	177,19	102,74	3,33	133,29	540,92

	40-60	80,34	286,24	94,85	16,30	39,16	516,89
	60-80	34,72	39,08	14,14	0,15	29,30	117,40
	80-100	48,22	85,14	35,94	9,14	19,82	198,27
CA1-35	0-10	8,71	9,39	4,91	< 0,01	16,84	39,86
	80-100	1,81	1,12	1,50	< 0,01	7,11	11,55
CA1-35 [III]	0-20	6,56	0,29	6,59	0,18	1,05	14,66
	80-100	3,62	< 0,02	< 0,025	0,03	1,63	5,27
CA1-47	5-10	3,91	1,99	5,75	0,41	28,86	40,92
	15-20	4,83	3,00	4,19	< 0,01	13,45	25,47
	42-45	3,34	1,97	5,11	< 0,01	7,01	17,43
CA1-48 [III]	0-20	52,45	29,73	34,40	1,91	19,48	137,98
	60-80	222,68	44,87	49,34	3,71	30,50	351,11
CA1-51 Sed [III]	0-20	792,14	133,41	116,66	89,92	242,19	1374,33
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	1657,60	61,04	124,63	358,13	547,90	2749,29
CA1-53 [III]	0-5	3121,10	275,54	72,74	1143,77	791,06	5404,22
	25-30	1732,42	463,14	80,95	58,98	211,40	2546,89
	35-40	2526,26	761,15	93,54	58,05	279,94	3718,94
	50-55	282,40	33,93	201,65	17,45	224,90	760,33
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	4,02	74,45	10,52	8,88	11,92	109,79
	1,0-1,6m	66,33	187,78	81,59	15,46	46,64	397,80
CA1-57 [IV]	0-20	115,72	117,89	61,81	20,19	41,77	357,37
	40-60	40,56	23,07	17,90	6,26	17,20	104,99
	80-100	214,28	146,67	90,69	23,98	74,78	550,41
Área CA2							
CA2-10	0-20	103,52	64,66	148,64	< 0,01	344,12	660,93
	40-60	235,49	40,49	155,34	378,45	560,73	1370,50
	80-100	174,88	84,65	172,42	215,21	650,98	1298,14

	2,40 m	112,46	18,32	86,76	53,02	271,73	542,28
CA2-10 (lixivi)	0-20	278,42	61,93	151,88	48,81	227,58	768,61
	20-40	321,79	25,09	121,74	98,82	360,04	927,47
	40-60	309,09	31,41	80,89	194,85	230,32	846,56
	60-80	142,37	55,79	82,90	36,95	95,75	413,76
	80-100	242,46	29,80	71,81	113,49	317,35	774,92
CA2-10A [III]	0-20	223,96	228,15	142,67	25,96	101,84	722,59
	20-40	250,85	195,46	211,77	38,72	185,00	881,80
	40-60	333,55	202,74	80,91	33,26	160,11	810,58
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	3,23	51,83	15,79	7,54	14,96	93,36
	1,8-2,5m	3,07	14,57	8,01	9,10	19,88	54,63
CA2-11	0-20	228,53	152,45	199,66	7,65	131,98	720,27
	20-40	3,27	22,89	5,85	9,18	11,58	52,75
	40-60	1,60	38,58	9,37	7,89	9,72	67,16
CA2-12	0-20	450,95	4,74	121,57	20,31	504,54	1102,11
	40-60	656,07	670,91	118,71	286,19	3285,63	5017,51
	80-100	686,91	451,44	347,91	505,55	533,16	2524,97
	2,70 m	29,93	15,00	18,81	1,40	12,16	77,31
CA2-55 [IV]	1,6-2m	511,03	364,42	12,52	177,70	283,49	1349,15
	2-2,60m	2,98	2,56	117,46	7,40	11,22	141,62
Área CA3							
CA3-18	0-20	139,47	433,92	80,65	15,50	53,50	723,03
	20-40	119,60	101,43	54,47	0,12	55,85	331,47
	40-60	144,44	501,85	130,10	25,98	64,86	867,23
	60-80	162,70	1592,92	154,21	31,79	110,48	2052,09
	80-100	116,75	242,80	70,08	5,37	140,04	575,04
	1,20-1,50 m	590,86	143,39	96,28	39,37	175,84	1045,75

CA3-37	0-10	50,68	377,09	38,26	12,93	39,26	518,21
	10-20	61,71	257,20	78,33	3,69	106,00	506,92
	20-40	19,44	427,55	22,86	13,38	23,47	506,70
	40-50	11,02	1545,68	24,96	12,11	31,87	1625,64
CA3-38	20-30	46,88	46,29	32,50	1,03	45,92	172,63
	50-60	18,40	10,79	6,06	< 0,01	19,94	55,19
CA3-38 [III]	20-40	33,85	11,62	10,46	0,56	9,93	66,42
	40-60	20,99	9,72	15,48	1,53	5,69	53,42
	1,20 m	31,98	15,69	14,35	2,71	6,37	71,10

Tabela AI.21: Fracções extraídas em zinco, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos; campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Zinco (Zn)							
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)
Área CA0							
CA0-1A	0-10	19,29	3,60	< 0,025	4,33	< 0,025	27,23
	10-20	9,46	5,03	< 0,025	1,06	< 0,025	15,55
CA0-2B	0-20	21,86	14,95	7,14	41,74	15,50	101,19
	20-40	12,10	10,00	7,00	61,81	19,42	110,34
	40-60	10,34	4,43	7,77	11,15	20,99	54,67
CA0-3A	0-5	64,14	31,42	< 0,025	8,26	44,77	148,59
	10-15	19,10	15,60	< 0,025	5,58	15,12	55,40

Área CA1							
CA1-13	0-20	1485,40	714,94	176,68	481,66	150,68	3009,36
	40-60	1598,70	1576,67	227,77	111,49	219,81	3734,44
	80-100	8748,60	11892,17	454,38	223,23	482,10	21800,47
	2,5 m	11893,46	13882,37	361,12	1990,10	366,69	28493,74
CA1-14	5-10	8736,92	9632,44	196,24	119,53	470,09	19155,22
	20-40	1311,22	13185,38	177,50	136,59	492,36	15303,05
	40-60	1668,91	5036,88	1142,81	538,06	452,52	8839,17
CA1-14 [III]	0-20	2653,13	2164,44	335,21	45,33	251,90	5450,00
	20-40	4012,48	3878,70	406,66	50,11	403,95	8751,90
	40-60	3620,98	4244,89	398,46	50,76	187,66	8502,74
	60-80	3286,23	9258,21	396,50	155,02	355,35	13451,30
	1,30 m	5274,93	7000,52	335,30	147,68	354,35	13112,77
CA1-20	0-20	157,85	97,70	42,36	55,97	86,84	440,72
	20-40	60,58	40,86	25,92	38,22	31,09	196,66
	40-60	50,84	36,03	22,34	38,67	33,59	181,47
CA1-21	0-20	769,21	91,27	40,83	55,22	47,49	1004,02
	40-60	1903,83	1092,57	358,94	249,30	229,57	3834,21
	80-100	5073,05	823,63	53,24	180,20	286,37	6416,50
CA1-21 (lixi)	0-20	1110,23	233,91	104,32	37,11	96,83	1582,40
	20-40	2016,15	661,39	206,96	74,31	163,68	3122,48
	40-60	1703,93	376,38	155,34	45,66	157,59	2438,90
CA1-22	0-5	1918,61	768,47	157,50	119,87	157,50	3121,94
	10-15	1620,96	561,76	118,53	520,98	205,66	3027,88
	20-40	5572,64	2802,78	291,99	637,49	427,40	9732,30
	80-100	2451,33	1218,26	145,82	145,86	209,26	4170,53
CA1-22 [III]	0-20	2245,82	630,48	291,67	175,89	323,97	3667,83

	20-40	2859,94	743,99	315,61	222,41	383,80	4525,75
	80-100	4447,06	4897,16	275,53	177,29	404,24	10201,27
CA1-23	0-20	1183,36	1067,58	192,26	87,83	155,25	2686,28
	20-40	1765,15	440,84	189,52	42,85	141,03	2579,38
	80-100	3599,58	2135,24	321,03	56,07	262,06	6373,99
CA1-23 [III]	0-5	2508,18	1356,54	403,60	55,03	368,78	4692,13
	10-15	1271,79	912,40	232,14	35,86	212,45	2664,63
	25-30	802,02	882,40	274,70	105,32	205,47	2269,91
	30-33	1585,46	2277,25	240,75	31,74	225,79	4361,00
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	5192,95	6172,49	482,87	234,73	515,69	12598,73
CA1-26 [III]	0-5	11974,15	8192,52	320,74	972,37	601,82	22061,60
	10-15	13696,49	8565,18	228,85	1403,47	398,26	24292,26
	20-25	6462,88	3986,25	240,66	291,83	355,02	11336,63
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	18,51	53,14	13,13	4,15	25,86	114,80
CA1-27	0-5	515,09	479,46	368,77	43,38	116,48	1523,18
	20-25	177,14	155,28	47,72	20,62	60,39	461,15
	40-43	26,13	20,90	17,45	11,52	29,67	105,66
CA1-28	10-15	259,29	150,15	61,70	14,14	51,05	536,34
	15-20	92,52	46,44	20,38	9,08	23,43	191,84
	35-37	8,14	7,58	8,87	6,40	18,99	49,97
CA1-29	0-5	3331,17	4753,32	149,06	57,04	305,27	8595,86
	20-25	190,27	128,31	25,67	7,81	23,15	375,21
	40-43	223,47	206,25	53,54	9,54	25,34	518,13
CA1-29 [III]	0-5	1175,12	641,72	169,08	60,80	165,93	2212,66
	20-25	25,89	35,71	7,65	3,85	27,49	100,60
	41-46	5,00	15,48	2,36	3,53	15,22	41,60
	2,50 m	9320,13	8095,45	315,01	417,54	308,55	18456,68

CA1-30	0-20	116,53	119,93	221,40	14,21	44,63	516,70
	20-40	53,01	66,77	35,04	27,85	60,27	242,94
CA1-31	0-20	203,24	102,21	64,97	23,80	125,95	520,18
	20-40	40,49	41,10	40,45	46,09	63,20	231,34
	40-60	52,16	29,60	25,97	27,33	53,24	188,30
CA1-32 Sed [III]	0-20	9507,65	12462,67	362,32	175,16	309,77	22817,57
CA1-32	0-10	2669,81	3747,79	397,16	79,73	247,97	7142,46
	50-60	4854,95	5528,60	392,48	387,38	391,68	11555,09
CA1-33	0-20	8915,87	12208,64	331,38	1655,99	409,18	23521,06
	20-40	15695,59	14958,66	311,08	2860,01	750,63	34575,97
	40-60	8676,41	14348,63	250,15	2026,41	416,27	25717,87
CA1-34	0-20	4867,37	3162,50	511,77	54,12	360,21	8955,97
	40-60	1301,13	1213,18	189,35	101,88	359,69	3165,23
	60-80	525,74	410,91	54,91	22,25	153,47	1167,28
	80-100	583,01	533,42	114,46	76,97	176,39	1484,24
CA1-35	0-10	294,37	147,47	53,15	17,06	64,48	576,54
	80-100	59,90	43,53	25,81	8,15	29,67	167,06
CA1-35 [III]	0-20	61,75	69,14	19,45	6,53	32,67	189,55
	80-100	33,56	65,59	16,58	5,37	26,11	147,21
CA1-47	5-10	105,82	100,16	45,28	6,45	31,82	289,53
	15-20	120,07	114,49	30,30	5,23	23,90	293,99
	42-45	14,72	14,27	18,98	3,85	16,06	67,89
CA1-48 [III]	0-20	1213,76	1021,37	204,32	42,98	174,10	2656,53
	60-80	2638,63	1842,96	327,01	29,47	268,48	5106,56
CA1-51 Sed [III]	0-20	9296,86	8504,16	310,46	1502,36	625,18	20239,03
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	7913,96	12574,42	260,70	2389,47	509,06	23647,61
CA1-53 [III]	0-5	14858,72	11978,27	278,23	1271,96	740,36	29127,54

	25-30	7079,66	5341,34	282,76	380,29	377,28	13461,34
	35-40	6594,57	6318,41	353,49	743,49	549,49	14559,45
	50-55	5289,61	14954,21	315,55	570,56	357,69	21487,62
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	156,23	86,23	68,70	89,25	91,97	492,38
	1,0-1,6m	1274,72	920,66	258,06	243,27	271,51	2968,22
CA1-57 [IV]	0-20	3204,63	2040,17	351,98	436,92	305,31	6339,01
	40-60	762,91	527,01	117,94	67,04	121,12	1596,04
	80-100	4371,02	4045,71	288,66	2761,63	360,20	11827,22
Área CA2							
CA2-10	0-20	17143,16	4485,75	440,79	182,94	675,73	22928,36
	40-60	28843,29	26114,81	326,25	1283,25	1001,98	57569,58
	80-100	1715,13	3605,15	589,97	109,64	582,33	6602,22
	2,40 m	4352,67	10798,57	332,84	1957,13	406,44	17847,65
CA2-10 (lixivi)	0-20	6025,69	9139,73	347,51	630,20	532,16	16675,29
	20-40	11292,88	20873,99	391,05	2632,67	417,54	35608,13
	40-60	13426,62	12722,20	303,26	1255,23	390,18	28097,48
	60-80	1937,44	2705,82	252,32	132,99	342,74	5371,30
	80-100	10530,63	13710,62	258,36	1196,61	563,84	26260,05
CA2-10A [III]	0-20	6058,01	4068,64	294,37	174,57	366,24	10961,83
	20-40	6411,34	6228,03	403,34	120,54	409,09	13572,35
	40-60	8716,95	10890,34	238,12	185,42	338,13	20368,97
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	224,15	86,86	57,87	55,41	63,19	487,48
	1,8-2,5m	226,46	75,66	35,68	17,24	36,56	391,61
CA2-11	0-20	5633,84	5867,86	730,31	195,40	434,58	12862,00
	20-40	285,23	167,83	70,93	53,54	62,58	640,10
	40-60	255,41	178,86	73,06	49,42	65,40	622,15
CA2-12	0-20	8841,22	8010,48	85,91	596,53	569,68	18103,82

	40-60	15327,49	7215,04	193,52	126,09	1233,60	24095,74
	80-100	13315,57	5323,68	1313,06	1780,94	537,72	22270,97
	2,70 m	698,57	425,62	116,55	13,56	98,21	1352,51
CA2-55 [IV]	1,6-2m	4889,04	6409,86	140,53	5411,73	347,87	17199,02
	2-2,60m	188,16	160,86	253,22	114,53	133,80	850,57
Área CA3							
CA3-18	0-20	3723,78	3351,64	310,90	910,19	355,21	8651,72
	20-40	2373,22	2906,55	386,36	232,14	342,36	6240,63
	40-60	3501,33	3487,30	266,80	393,58	294,01	7943,02
	60-80	6452,41	4080,21	283,38	405,73	452,36	11674,10
	80-100	5061,78	4388,05	446,67	134,28	380,45	10411,23
	1,20-1,50 m	9666,69	5871,55	296,60	182,53	374,39	16391,77
CA3-37	0-10	2067,23	1285,43	240,99	714,01	340,92	4648,58
	10-20	2958,44	3839,51	346,56	72,94	368,48	7585,94
	20-40	517,01	461,54	133,92	71,98	114,04	1298,49
	40-50	309,60	310,25	80,70	48,88	97,36	846,79
CA3-38	20-30	1729,97	1095,04	178,43	69,35	164,15	3236,94
	50-60	422,70	252,06	92,51	28,30	91,97	887,55
CA3-38 [III]	20-40	834,76	366,60	100,21	59,53	135,45	1496,55
	40-60	648,54	270,66	67,65	30,05	58,73	1075,63
	1,20 m	991,93	399,16	115,82	42,79	99,12	1648,82

Tabela AI.22: Teores totais extraídos em arsénio, cádmio, cobre, crómio, cobalto, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco, nas aluviões, correspondentes à fracção mais solúvel (#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos) com acetato de amónio. (campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Amostras	Profundidade (cm)	As (mg.kg-1)	Cd (mg.kg-1)	Co (mg.kg-1)	Cr (mg.kg-1)	Cu (mg.kg-1)	Fe (mg.kg-1)	Mn (mg.kg-1)	Ni (mg.kg-1)	Pb (mg.kg-1)	Zn (mg.kg-1)
Área CA0											
CA0-1A	0-10	11,06	3,32	0,45	< 0,02	2,35	86,64	28,08	< 0,02	4,66	19,29
	10-20	10,37	0,68	0,39	< 0,02	1,86	88,45	33,71	< 0,02	2,36	9,46
CA0-2B	0-20	7,99	10,39	1,06	0,67	< 0,02	126,28	55,42	1,61	6,62	21,86
	20-40	< 0,2	0,60	0,99	0,99	< 0,02	75,29	39,15	< 0,02	2,66	12,10
	40-60	5,86	1,94	0,93	0,51	< 0,02	240,02	33,42	1,60	4,60	10,34
CA0-3A	0-5	8,93	0,61	2,90	0,44	2,26	445,61	22,78	0,83	7,11	64,14
	10-15	9,53	0,17	1,78	1,36	2,53	411,04	13,70	0,51	4,53	19,10
Área CA1											
CA1-13	0-20	< 0,2	17,02	0,10	< 0,02	9,36	224,74	67,62	0,60	19,61	1485,40
	20-40	< 0,2	16,34	0,21	0,21	18,93	204,20	75,74	< 0,02	65,66	1750,74
	40-60	< 0,2	14,26	0,54	0,54	18,07	167,66	65,54	0,23	54,82	1598,70
	60-80	< 0,2	17,84	3,01	3,01	22,72	331,27	207,52	0,68	137,94	2768,25
	80-100	< 0,2	16,59	2,66	1,65	28,29	633,64	548,38	2,68	513,75	8748,60
	2,5 m	5,76	4,71	1,51	1,32	25,57	205,02	567,55	1,72	557,15	11893,46
CA1-14	5-10	10,87	5,63	3,99	< 0,02	79,94	417,83	488,56	1,93	178,21	8736,92
	20-40	9,31	12,15	3,54	< 0,02	13,04	1155,19	240,59	0,75	62,31	1311,22
	40-60	7,56	9,00	< 0,02	< 0,02	13,92	324,74	48,48	0,62	24,06	1668,91
CA1-14 [III]	0-20	4,33	1,88	0,44	0,94	20,69	173,01	80,33	1,92	35,11	2653,13
	20-40	3,51	2,24	0,53	0,96	28,29	156,75	99,46	2,51	37,15	4012,48
	40-60	3,79	1,72	0,55	0,92	27,66	178,07	95,75	2,12	45,13	3620,98
	60-80	3,95	2,91	0,74	0,47	27,27	86,88	50,41	1,65	195,45	3286,23

	1,30 m	2,90	8,05	2,19	0,79	39,65	170,50	140,07	2,06	257,40	5274,93
CA1-20	0-20	< 0,2	1,70	1,81	1,81	1,23	166,15	90,74	< 0,02	7,86	157,85
	20-40	< 0,2	1,24	0,63	0,63	2,49	155,06	69,65	< 0,02	6,84	60,58
	40-60	< 0,2	0,85	0,32	0,32	0,71	170,44	59,86	< 0,02	3,47	50,84
CA1-21	0-20	24,05	4,81	4,98	1,34	36,06	5118,63	683,91	1,60	20,69	769,21
	20-40	< 0,2	14,79	2,92	2,92	9,30	678,61	126,11	0,42	32,52	785,55
	40-60	< 0,2	24,72	4,15	4,15	18,74	843,29	131,33	1,03	76,30	1903,83
	60-80	< 0,2	24,40	5,10	5,10	15,79	946,11	292,02	0,62	70,25	1684,77
	80-100	16,55	28,34	14,00	3,43	55,07	6269,50	359,37	5,95	142,60	5073,05
CA1-21 (lixivi)	0-20	4,63	6,98	1,61	1,31	3,82	919,28	84,04	1,74	21,12	1110,23
	20-40	6,50	15,20	2,00	1,48	12,20	798,80	119,87	2,23	46,44	2016,15
	40-60	4,16	10,94	2,69	1,98	12,05	1037,03	209,02	2,45	40,50	1703,93
CA1-22	0-5	< 0,2	15,39	2,64	0,10	29,29	895,77	196,25	0,83	53,50	1918,61
	10-15	5,11	5,91	0,74	< 0,02	15,25	83,06	50,32	0,38	56,02	1620,96
	20-40	< 0,2	27,80	10,04	0,04	10,28	2897,65	559,76	3,20	254,82	5572,64
	80-100	< 0,2	19,64	10,52	0,26	6,16	1002,45	385,48	2,22	92,27	2451,33
CA1-22 [III]	0-20	1,61	15,01	6,56	0,98	11,81	1961,82	517,52	2,27	54,70	2245,82
	20-40	1,66	16,15	5,64	1,37	19,33	1682,82	562,13	2,69	75,31	2859,94
	80-100	4,44	13,35	4,36	2,35	26,80	471,80	361,92	3,38	422,18	4447,06
CA1-23	0-20	< 0,2	10,85	0,98	0,98	13,22	329,87	80,05	0,29	41,97	1183,36
	20-40	10,67	15,01	4,32	< 0,02	49,78	74,21	59,71	8,82	47,35	1765,15
	60-80	< 0,2	14,45	1,90	1,90	14,55	267,27	136,11	0,50	45,47	1322,49
	80-100	< 0,2	12,80	3,30	0,17	16,05	1141,11	254,08	1,05	100,57	3599,58
CA1-23 [III]	0-5	3,85	4,41	2,87	1,43	0,91	1053,97	135,64	1,93	173,76	2508,18
	5-10	< 0,2	4,02	4,50	4,50	6,61	1063,20	209,01	0,15	48,66	773,84
	10-15	2,54	8,92	2,45	0,84	0,57	1312,28	164,03	1,26	84,28	1271,79
	25-30	< 0,2	11,42	2,76	2,76	4,50	1323,00	123,69	0,11	59,94	802,02

	30-33	6,33	11,77	0,84	1,24	2,28	770,73	47,14	1,51	130,04	1585,46
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	3,75	13,50	4,02	2,25	20,70	1022,27	396,93	2,82	247,76	5192,95
CA1-26 [III]	0-5	4,66	1,43	2,14	2,02	165,47	1099,72	348,62	1,06	2252,55	11974,15
	10-15	10,06	1,53	4,51	2,39	283,45	1869,35	696,01	0,91	3260,52	13696,49
	20-25	6,04	1,98	1,73	3,28	9,25	919,93	297,26	1,17	1123,77	6462,88
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	6,59	0,17	0,87	0,91	< 0,02	366,05	49,18	0,79	6,30	18,51
CA1-27	0-5	< 0,2	3,17	1,79	0,77	2,33	655,46	57,52	0,49	25,49	515,09
	20-25	< 0,2	1,24	1,88	< 0,02	1,95	319,95	55,44	0,18	6,69	177,14
	40-43	< 0,2	0,32	0,82	1,00	2,69	335,82	40,82	0,15	4,75	26,13
CA1-28	10-15	< 0,2	0,89	1,74	0,50	3,77	926,54	111,05	0,26	4,21	259,29
	15-20	< 0,2	0,44	0,46	1,00	4,42	802,58	85,92	0,24	2,80	92,52
	35-37	< 0,2	0,16	0,46	0,43	3,05	837,23	35,99	0,25	0,77	8,14
CA1-29	0-5	< 0,2	3,26	4,29	< 0,02	6,02	2159,31	501,15	1,09	128,11	3331,17
	20-25	< 0,2	0,25	1,57	1,36	3,39	1787,00	163,69	0,78	2,24	190,27
	40-43	< 0,2	0,19	1,53	1,49	3,63	1824,99	185,89	0,80	123,65	223,47
CA1-29 [III]	0-5	3,13	11,66	3,53	2,88	2,18	2013,11	313,74	2,05	51,99	1175,12
	20-25	1,37	0,29	1,34	3,18	1,85	2108,84	363,93	1,44	6,58	25,89
	41-46	1,45	< 0,02	1,38	3,86	1,84	2170,75	234,02	1,33	6,39	5,00
	2,50 m	7,75	20,01	6,72	1,17	88,76	608,52	1019,87	2,90	1028,62	9320,13
CA1-30	0-20	< 0,2	0,84	< 0,02	< 0,02	1,95	152,87	78,17	0,16	0,62	116,53
	20-40	< 0,2	0,54	< 0,02	< 0,02	1,58	96,12	51,12	< 0,02	2,76	53,01
CA1-31	0-20	< 0,2	1,10	< 0,02	1,14	2,88	345,84	29,48	< 0,02	13,16	203,24
	20-40	< 0,2	0,62	0,69	0,69	1,48	183,75	20,74	0,01	3,69	40,49
	40-60	< 0,2	0,38	1,15	1,15	< 0,02	174,58	25,52	< 0,02	3,64	52,16
CA1-32 Sed [III]	0-20	7,04	29,24	3,85	0,25	114,51	353,78	613,78	3,66	302,41	9507,65
CA1-33	0-20	< 0,2	8,90	0,75	0,75	52,69	64,86	92,37	0,77	452,93	8915,87
	20-40	< 0,2	8,05	0,68	0,95	99,87	65,87	45,58	1,70	923,15	15695,59

	40-60	0,65	8,60	0,32	0,64	76,54	28,42	44,92	0,36	503,51	8676,41
CA1-32	0-10	< 0,2	17,84	0,84	< 0,02	15,61	334,69	115,85	0,91	85,33	2669,81
	50-60	< 0,2	10,71	5,11	0,57	7,04	1548,63	448,92	2,08	232,24	4854,95
CA1-34	0-20	< 0,2	11,90	0,08	0,21	65,77	453,59	118,87	1,36	124,36	4867,37
	20-40	< 0,2	3,55	0,67	0,67	13,53	167,73	59,42	< 0,02	92,49	1160,97
	40-60	< 0,2	3,71	0,31	0,31	15,88	118,70	33,45	< 0,02	80,34	1301,13
	60-80	< 0,2	1,60	0,15	0,60	7,94	335,61	34,07	< 0,02	34,72	525,74
	80-100	< 0,2	2,10	0,15	0,15	8,53	193,33	45,07	< 0,02	48,22	583,01
CA1-35	0-10	< 0,2	4,27	0,78	0,15	5,58	277,40	37,18	< 0,02	8,71	294,37
	80-100	< 0,2	1,00	1,07	0,39	2,21	343,78	34,48	< 0,02	1,81	59,90
CA1-35 [III]	0-20	9,16	0,78	2,19	1,07	< 0,02	305,74	91,00	0,69	6,56	61,75
	80-100	9,77	0,62	1,13	0,94	< 0,02	218,79	43,95	0,46	3,62	33,56
CA1-47	5-10	< 0,2	0,02	1,34	1,71	5,73	2472,65	277,42	0,80	3,91	105,82
	15-20	< 0,2	0,06	0,69	1,70	4,73	1826,92	142,45	0,30	4,83	120,07
	42-45	< 0,2	< 0,02	0,98	2,25	5,66	2584,90	176,88	0,52	3,34	14,72
CA1-48 [III]	0-20	4,48	10,50	3,50	1,37	6,12	1010,50	274,00	1,55	52,45	1213,76
	60-80	7,89	7,84	3,27	1,35	37,50	992,57	135,27	2,48	222,68	2638,63
CA1-51 Sed [III]	0-20	8,96	39,72	2,24	1,48	47,65	167,73	324,08	1,79	792,14	9296,86
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	11,31	5,45	2,93	0,53	19,28	635,64	1336,17	1,28	1657,60	7913,96
CA1-53 [III]	0-5	11,23	2,32	2,14	2,26	35,32	1166,84	1087,39	0,66	3121,10	14858,72
	25-30	9,36	4,40	2,71	2,64	22,78	961,26	910,42	1,10	1732,42	7079,66
	35-40	15,73	3,33	3,42	3,54	117,76	1065,61	633,67	1,73	2526,26	6594,57
	50-55	22,70	2,30	17,90	1,82	1,77	1078,24	583,59	1,97	282,40	5289,61
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	< 0,2	1,84	0,89	0,89	1,45	922,88	72,34	< 0,02	4,02	156,23
	1,0-1,6m	< 0,2	28,30	0,82	0,82	24,76	87,13	61,98	0,40	66,33	1274,72
CA1-57 [IV]	0-20	< 0,2	37,32	6,47	6,47	17,73	1516,87	261,47	2,21	115,72	3204,63
	20-40	< 0,2	16,27	3,54	3,54	5,49	499,83	83,41	0,81	45,78	1198,42

	40-60	< 0,2	14,18	3,24	3,24	11,01	409,76	70,42	0,64	40,56	762,91
	60-80	< 0,2	39,03	3,88	3,88	71,55	461,95	166,90	2,82	106,98	2403,16
	80-100	< 0,2	51,46	4,97	4,97	159,15	436,51	221,73	4,51	214,28	4371,02
Área CA2											
CA2-10	0-20	5,22	20,87	0,93	0,09	7,03	83,70	41,27	3,16	103,52	17143,16
	20-40	< 0,2	4,65	< 0,02	< 0,02	2,66	35,57	18,16	< 0,02	1,06	241,26
	40-60	9,57	1,14	0,43	< 0,02	16,09	99,10	30,20	4,25	235,49	28843,29
	60-80	< 0,2	8,52	1,77	1,77	22,72	156,43	44,56	0,85	243,95	12551,34
	80-100	< 0,2	14,62	0,19	< 0,02	3,24	20,01	18,64	0,76	174,88	1715,13
	2,40 m	4,22	23,77	0,91	0,53	0,84	76,12	23,89	2,06	112,46	4352,67
CA2-10 (lixivi)	0-20	4,11	17,89	1,54	0,97	27,02	227,37	67,63	3,64	278,42	6025,69
	20-40	5,42	5,64	1,35	0,76	24,30	284,06	62,03	2,35	321,79	11292,88
	40-60	6,10	9,02	2,42	0,31	46,49	240,89	56,58	2,06	309,09	13426,62
	60-80	3,35	29,00	0,90	0,57	< 0,02	24,71	22,27	2,36	142,37	1937,44
	80-100	4,74	8,50	1,78	0,31	10,91	104,43	63,74	2,13	242,46	10530,63
CA2-10A [III]	0-20	6,38	24,68	0,66	0,58	66,74	58,74	128,42	2,22	223,96	6058,01
	20-40	7,32	30,60	0,55	0,47	48,26	112,05	159,90	2,16	250,85	6411,34
	40-60	8,59	26,65	0,84	0,83	47,54	87,76	149,02	1,44	333,55	8716,95
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	< 0,2	3,59	0,15	0,15	< 0,02	61,85	8,47	< 0,02	3,23	224,15
	1,8-2,5m	< 0,2	3,03	0,21	0,21	2,28	6,40	25,92	< 0,02	3,07	226,46
CA2-11	0-20	< 0,2	6,13	0,01	< 0,02	29,67	124,41	38,41	< 0,02	228,53	5633,84
	20-40	< 0,2	5,14	0,31	0,31	2,25	38,70	20,31	< 0,02	3,27	285,23
	40-60	< 0,2	4,23	0,26	0,26	1,69	25,83	19,60	< 0,02	1,60	255,41
CA2-12	0-20	6,77	8,99	1,06	0,29	7,84	428,80	62,81	3,29	450,95	8841,22
	20-40	< 0,2	20,65	3,19	3,19	5,62	190,03	101,57	2,22	365,84	4266,31
	40-60	109,67	13,43	7,47	0,48	1477,39	325,48	427,11	8,10	656,07	15327,49
	60-80	17,48	11,27	8,13	8,13	< 0,02	437,08	427,54	10,62	619,54	12366,31

	80-100	42,12	30,04	12,60	12,60	< 0,02	535,27	515,08	12,88	686,91	13315,57
	2,70 m	8,12	1,90	1,63	0,73	0,79	124,66	46,29	1,45	29,93	698,57
CA2-55 [IV]	1,6-2m	< 0,2	22,15	1,32	1,32	53,08	58,07	54,09	0,76	511,03	4889,04
	2-2,60m	< 0,2	20,04	0,08	0,08	< 0,02	4,42	11,28	< 0,02	2,98	188,16
Área CA3											
CA3-18	0-20	< 0,2	18,91	0,18	0,18	58,10	437,44	208,74	1,31	139,47	3723,78
	20-40	6,59	0,77	0,79	< 0,02	72,66	108,59	34,36	0,77	119,60	2373,22
	40-60	< 0,2	35,36	0,53	0,53	52,51	155,98	198,69	1,81	144,44	3501,33
	60-80	< 0,2	35,00	1,28	1,28	104,55	178,72	152,30	3,32	162,70	6452,413
	80-100	< 0,2	31,59	1,04	< 0,02	83,03	154,01	153,50	1,93	116,75	5061,78
	1,20-1,50 m	7,23	16,75	5,07	1,26	224,26	815,63	353,18	3,90	590,86	9666,69
CA3-37	0-10	< 0,2	24,80	0,31	0,31	31,87	22,63	54,12	0,32	50,68	2067,23
	10-20	< 0,2	31,15	< 0,02	< 0,02	42,02	30,96	58,44	0,77	61,71	2958,44
	20-40	< 0,2	18,50	0,92	0,92	17,92	64,94	86,91	< 0,02	19,44	517,01
	40-50	< 0,2	13,16	1,33	1,33	9,61	17,42	70,61	< 0,02	11,02	309,60
CA3-38	20-30	< 0,2	21,46	1,81	0,06	48,32	465,45	191,71	1,18	46,88	1729,97
	50-60	< 0,2	7,91	1,94	0,24	8,51	740,08	117,33	0,45	18,40	422,70
CA3-38 [III]	20-40	10,51	5,92	3,09	1,22	4,84	1182,65	124,08	2,02	33,85	834,76
	40-60	9,10	6,92	3,46	1,18	1,97	956,88	104,40	2,03	20,99	648,54
	1,20 m	7,62	6,87	3,21	1,18	6,11	1275,09	154,31	1,78	31,98	991,93

Tabela AI.23: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após uma hora de agitação.

(campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; C.E. -condutividade elétrica; Prof. - Profundidade)

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)
Área CA0																		
CA0-1 ^a	0-10	6,54	0,007	< 0,01	0,329	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,026	2,989	0,081	0,007	< 0,001	0,003	0,017	6,58	98
	10-20	6,40	0,211	< 0,01	0,274	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,186	1,196	0,120	0,014	< 0,001	< 0,001	0,002	6,15	76
CA0-2B	0-20	6,54	0,183	< 0,01	0,266	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,146	1,312	0,094	0,008	< 0,001	< 0,001	0,025	6,33	76
	20-40	6,53	0,057	< 0,01	4,524	0,002	< 0,001	< 0,001	0,006	0,039	19,114	29,346	0,042	< 0,001	< 0,001	0,045	5,48	87
	40-60	6,53	0,080	< 0,01	0,314	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,067	1,349	0,072	0,014	< 0,001	< 0,001	0,025	5,86	65
CA0-3 ^a	0-5	6,46	0,164	< 0,01	0,393	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,130	1,484	0,109	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,031	6,03	82
	10-15	6,68	< 0,001	< 0,01	0,074	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,010	1,437	0,014	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,36	78
Área CA1																		
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	< 0,01	19,453	0,061	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,008	4,967	42,050	2,145	0,016	< 0,001	46,592	6,12	662
	5-10	6,46	< 0,001	< 0,01	22,163	0,033	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,293	20,377	0,613	0,004	< 0,001	22,474	6,15	491
	10-15	6,53	< 0,001	< 0,01	6,592	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,035	8,483	0,725	< 0,001	< 0,001	7,339	5,84	259
	15-20	6,53	< 0,001	< 0,01	6,458	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	2,080	9,136	0,690	0,002	< 0,001	8,165	5,94	238
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	16,175	0,056	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,211	17,006	1,355	< 0,001	< 0,001	17,953	6,08	403
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	7,158	0,041	0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,320	11,174	1,215	< 0,001	< 0,001	10,439	5,71	284
	60-80	6,46	0,006	< 0,01	37,198	0,075	0,034	< 0,001	< 0,001	0,008	5,713	21,216	2,654	0,113	< 0,001	21,158	6,18	608
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	43,394	0,128	0,026	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,281	25,534	2,743	0,007	< 0,001	20,064	5,48	608
CA1-21 (lixí)	0-20	6,53	0,029	< 0,01	4,264	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,020	6,356	0,775	0,221	0,011	< 0,001	1,308	6,20	176
	20-40	6,46	0,075	< 0,01	2,697	0,007	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,053	3,854	0,560	0,071	< 0,001	< 0,001	1,306	6,16	130
	40-60	6,46	0,092	< 0,01	2,236	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,075	2,328	0,505	0,054	< 0,001	< 0,001	0,551	5,99	112

CA1-22	0-5	6,53	< 0,001	< 0,01	3,935	0,019	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,016	4,002	1,701	0,823	< 0,001	< 0,001	0,976	6,05	135
	10-15	6,54	< 0,001	< 0,01	1,844	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,015	1,924	0,716	0,241	< 0,001	< 0,001	0,279	6,38	105
	20-40	6,53	0,061	< 0,01	6,280	0,006	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,048	11,352	21,669	0,600	< 0,001	< 0,001	0,806	6,11	140
CA1-23	20-40	6,46	0,281	< 0,01	0,801	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,196	1,321	0,276	0,031	< 0,001	< 0,001	0,691	5,91	87
CA1-32	0-10	6,53	0,061	< 0,01	2,401	0,026	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,055	3,100	0,984	0,202	< 0,001	< 0,001	5,773	5,36	141
	10-20	6,53	0,079	< 0,01	2,408	0,016	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,082	2,509	1,148	0,241	< 0,001	< 0,001	3,886	4,45	130
	20-30	6,53	< 0,001	< 0,01	5,296	0,009	0,008	< 0,001	< 0,001	0,039	2,352	3,016	0,972	< 0,001	< 0,001	6,540	6,14	175
	30-40	6,53	0,007	< 0,01	1,645	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,020	1,718	1,000	0,378	< 0,001	< 0,001	0,755	6,05	96
	40-50	6,53	0,027	< 0,01	4,625	0,037	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,053	2,081	2,009	0,130	< 0,001	0,003	6,465	6,00	158
	50-60	6,53	< 0,001	< 0,01	2,329	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	0,015	1,357	1,389	0,219	< 0,001	< 0,001	2,201	5,01	121
	60-70+	6,40	0,009	< 0,01	2,770	< 0,001	0,005	< 0,001	< 0,001	0,022	1,698	1,424	0,721	< 0,001	< 0,001	2,089	5,45	122
CA1-33	0-20	6,46	0,677	< 0,01	3,104	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,432	4,339	0,352	0,017	< 0,001	0,020	1,422	6,15	125
	20-40	6,50	< 0,001	< 0,01	24,400	0,010	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	7,073	0,564	0,013	< 0,001	0,011	3,351	6,02	321
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	81,160	0,036	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,004	3,280	1,017	0,030	< 0,001	< 0,001	8,044	6,31	492
Área CA2																		
CA2-10	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	229,941	0,961	0,037	< 0,001	< 0,001	0,020	3,604	152,689	5,677	0,062	0,015	81,358	6,05	1950
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	10,466	0,011	0,004	< 0,001	< 0,001	0,035	3,054	23,226	0,784	0,003	< 0,001	11,214	6,18	418
	40-60	6,54	0,011	< 0,01	9,086	0,011	0,004	< 0,001	< 0,001	0,045	1,859	19,307	0,725	< 0,001	0,014	9,305	6,34	346
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	19,311	0,044	0,004	< 0,001	< 0,001	0,011	2,341	19,442	0,719	0,002	< 0,001	10,014	4,82	418
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	31,651	0,113	0,007	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,841	25,545	0,968	0,007	< 0,001	13,634	5,88	512
CA2-10 (lixí)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	337,349	0,195	0,008	< 0,001	< 0,001	0,018	2,638	33,974	1,309	0,014	< 0,001	27,361	5,98	1620
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	11,464	0,019	0,002	< 0,001	< 0,001	0,001	1,897	11,728	0,470	< 0,001	< 0,001	6,444	6,05	280
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	21,966	0,069	0,007	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,780	29,994	1,078	0,007	< 0,001	15,537	6,14	508
	60-80	6,54	0,032	< 0,01	15,263	0,062	0,006	< 0,001	0,005	0,026	7,493	26,505	0,993	0,008	0,022	15,003	6,32	451
	80-100	6,46	< 0,001	< 0,01	21,429	0,392	0,011	< 0,001	< 0,001	0,003	2,971	36,530	1,473	0,013	< 0,001	26,764	6,08	583
CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	9,240	0,161	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,633	15,132	0,100	0,002	< 0,001	7,560	6,19	283

	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	87,277	0,124	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	2,203	9,194	0,087	0,018	< 0,001	4,791	6,33	550
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	55,789	0,096	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,233	9,965	0,087	0,012	< 0,001	3,268	6,42	397
CA2-12	0-20	6,50	0,001	< 0,01	19,711	0,081	0,028	< 0,001	< 0,001	0,025	3,006	20,862	2,650	0,033	0,028	68,912	5,54	558
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	15,423	0,057	0,057	< 0,001	< 0,001	0,006	3,543	14,848	4,059	0,030	0,007	41,777	5,92	461
	40-60	6,53	< 0,001	< 0,01	10,939	0,021	0,037	< 0,001	< 0,001	0,003	2,188	12,275	4,238	< 0,001	< 0,001	8,236	6,32	303
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	13,033	0,019	0,025	< 0,001	< 0,001	0,003	3,123	14,394	5,278	0,003	< 0,001	8,246	5,53	387
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	12,075	0,056	0,038	< 0,001	< 0,001	0,006	2,094	13,301	5,033	0,002	< 0,001	10,829	5,96	351
Área CA3																		
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	17,244	0,036	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	2,662	5,525	0,344	< 0,001	< 0,001	1,137	6,14	254
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	12,680	0,031	0,001	< 0,001	< 0,001	0,005	2,571	1,624	0,831	< 0,001	< 0,001	0,861	6,54	170
	40-60	6,40	< 0,001	< 0,01	8,311	0,017	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	2,237	1,871	0,354	< 0,001	< 0,001	0,915	6,21	136
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	3,461	0,027	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,011	2,003	1,303	0,110	< 0,001	< 0,001	1,143	6,31	102
	80-100	6,53	0,008	< 0,01	5,581	0,075	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,012	1,996	1,966	0,159	< 0,001	< 0,001	2,602	5,98	134

Legenda:

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)														
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	
3,5000	0,0100	-	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	-	-	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500	

Tabela AI.24: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após três horas de agitação.
(campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; C.E. -condutividade elétrica; Prof. - Profundidade).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (μS/cm)
Área CA0																		
CA0-1A	0-10	6,54	0,114	< 0,01	0,175	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,115	4,316	0,063	0,007	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,46	81
	10-20	6,40	0,144	< 0,01	0,332	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,120	1,368	0,100	0,007	< 0,001	< 0,001	0,007	6,14	65
CA0-2B	0-20	6,54	0,602	< 0,01	0,294	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,351	2,810	0,145	0,022	< 0,001	< 0,001	0,017	6,65	76
	20-40	6,53	0,124	< 0,01	0,413	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,083	1,924	0,116	0,014	< 0,001	< 0,001	0,052	6,07	76
	40-60	6,53	0,064	< 0,01	0,484	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,054	1,482	0,099	0,021	< 0,001	< 0,001	0,030	6,01	67
CA0-3A	0-5	6,46	0,096	< 0,01	0,551	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,084	1,867	0,149	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,053	6,24	105
	10-15	6,68	0,086	< 0,01	0,131	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,118	1,374	0,016	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,31	83
Área CA1																		
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	< 0,01	25,221	0,086	0,004	< 0,001	< 0,001	0,012	2,965	57,301	2,830	0,018	0,001	59,494	5,96	744
	5-10	6,46	< 0,001	< 0,01	27,927	0,041	< 0,001	< 0,001	0,055	< 0,001	1,926	22,753	0,741	0,003	< 0,001	25,054	6,17	528
	10-15	6,53	< 0,001	< 0,01	7,258	0,006	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,710	9,729	0,879	< 0,001	< 0,001	8,786	5,95	250
	15-20	6,53	0,002	< 0,01	6,954	0,007	< 0,001	< 0,001	0,024	< 0,001	2,781	9,581	0,797	< 0,001	< 0,001	8,666	5,95	233
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	19,858	0,078	0,005	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,704	21,677	1,773	0,004	< 0,001	23,378	6,11	410
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	7,424	0,047	0,006	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,557	11,757	1,334	0,003	< 0,001	11,086	6,12	301
	60-80	6,46	0,020	< 0,01	53,612	0,106	0,045	< 0,001	< 0,001	0,019	2,493	26,514	3,459	0,011	< 0,001	26,546	6,08	620
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	54,232	0,148	0,029	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,846	28,178	3,088	0,012	< 0,001	22,382	5,52	584
CA1-21 (lixí)	0-20	6,53	0,128	< 0,01	4,684	0,006	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,060	5,550	0,915	0,285	0,005	< 0,001	1,537	5,18	140
	20-40	6,46	0,455	< 0,01	9,797	0,059	0,002	< 0,001	0,014	0,262	34,661	55,194	0,265	< 0,001	0,006	1,468	5,94	118

	40-60	6,46	0,139	< 0,01	2,994	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,194	2,955	0,662	0,103	< 0,001	< 0,001	0,951	6,11	123
CA1-22	0-5	6,53	0,021	< 0,01	5,890	0,024	0,002	< 0,001	< 0,001	0,029	8,920	2,145	1,060	0,023	< 0,001	1,507	6,36	182
	10-15	6,54	0,061	< 0,01	2,501	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,051	3,618	0,950	0,329	< 0,001	< 0,001	0,364	6,35	108
	20-40	6,53	0,009	< 0,01	4,530	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	0,033	3,262	2,031	0,699	< 0,001	< 0,001	0,610	6,50	119
CA1-23	20-40	6,46	0,198	< 0,01	1,219	0,005	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,147	2,711	0,356	0,030	< 0,001	< 0,001	0,965	6,17	91
CA1-32	0-10	6,53	0,014	< 0,01	2,991	0,031	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,024	2,998	1,108	0,237	< 0,001	< 0,001	6,863	5,24	141
	10-20	6,53	0,173	< 0,01	2,449	0,020	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,113	2,865	1,212	0,282	< 0,001	< 0,001	4,547	5,26	131
	20-30	6,53	0,077	< 0,01	7,045	0,014	0,010	< 0,001	< 0,001	0,211	2,616	3,636	1,141	< 0,001	0,010	8,927	6,13	182
	30-40	6,53	< 0,001	< 0,01	1,753	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	0,013	2,184	1,217	0,543	< 0,001	< 0,001	1,260	6,28	114
	40-50	6,53	< 0,001	< 0,01	4,959	0,051	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	3,811	2,335	0,210	0,005	< 0,001	8,088	6,25	187
	50-60	6,53	0,088	< 0,01	2,073	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,079	1,068	1,367	0,235	< 0,001	< 0,001	2,415	5,88	116
	60-70+	6,40	< 0,001	< 0,01	2,392	< 0,001	0,003	< 0,001	< 0,001	0,015	1,767	1,343	0,751	0,003	< 0,001	2,298	6,27	123
CA1-33	0-20	6,46	0,222	< 0,01	3,169	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,241	4,070	0,376	0,006	< 0,001	0,001	1,514	6,03	95
	20-40	6,50	< 0,001	< 0,01	31,522	0,017	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,013	2,941	0,691	0,015	< 0,001	< 0,001	4,001	6,35	278
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	107,356	0,048	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,516	1,145	0,045	< 0,001	< 0,001	10,169	6,22	612
Área CA2																		
CA2-10	0-20	6,46	0,020	< 0,01	392,676	1,180	0,042	< 0,001	< 0,001	0,033	4,971	196,183	6,347	0,085	0,029	97,868	6,12	2560
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	11,371	0,013	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,575	26,800	0,882	0,010	< 0,001	13,276	6,27	455
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	10,170	0,013	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,502	21,683	0,768	0,015	< 0,001	10,132	6,22	365
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	28,545	0,053	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,929	21,699	0,838	0,011	0,003	11,352	5,97	461
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	47,027	0,126	0,006	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,934	27,584	1,058	0,011	< 0,001	15,128	5,91	568
CA2-10 (lixivi)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	497,656	0,237	0,009	< 0,001	< 0,001	0,002	5,033	39,373	1,535	0,033	0,004	33,651	6,24	2190
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	12,560	0,023	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,451	13,824	0,524	< 0,001	< 0,001	7,645	6,16	329
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	29,622	0,082	0,007	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,764	36,252	1,273	0,014	< 0,001	18,672	6,21	612
	60-80	6,54	< 0,001	< 0,01	18,141	0,071	0,006	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,041	30,726	1,128	0,014	< 0,001	17,355	6,15	507

	80-100	6,46	< 0,001	< 0,01	27,394	0,416	0,009	< 0,001	< 0,001	0,008	2,892	38,781	1,496	0,016	0,010	28,458	6,01	671
CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	10,575	0,181	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,804	16,575	0,203	0,008	< 0,001	8,304	6,18	346
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	129,972	0,164	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,396	11,547	0,099	< 0,001	< 0,001	6,190	6,26	784
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	79,319	0,116	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,489	11,639	0,089	< 0,001	< 0,001	3,892	6,40	590
CA2-12	0-20	6,50	< 0,001	< 0,01	21,551	0,088	0,030	< 0,001	< 0,001	0,005	3,341	22,259	2,854	0,040	0,028	77,264	5,71	637
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	16,154	0,063	0,062	< 0,001	< 0,001	0,007	3,018	16,111	4,490	0,030	0,013	45,437	5,68	510
	40-60	6,53	< 0,001	< 0,01	11,321	0,021	0,036	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,278	12,332	4,328	0,001	< 0,001	8,345	6,22	348
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	13,710	0,022	0,026	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,843	15,291	5,699	0,006	< 0,001	8,930	5,96	382
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	13,452	0,069	0,044	< 0,001	< 0,001	0,001	2,478	15,017	5,864	0,005	< 0,001	12,844	6,25	401
Área CA3																		
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	19,244	0,041	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,801	6,033	0,408	< 0,001	< 0,001	1,215	6,38	269
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	16,452	0,038	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	4,860	1,908	1,227	< 0,001	< 0,001	0,940	6,62	237
	40-60	6,40	0,058	< 0,01	9,209	0,099	0,076	0,042	0,051	0,040	3,096	1,961	0,488	0,076	0,048	1,111	6,44	179
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	3,406	0,027	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,009	2,116	1,180	0,113	< 0,001	0,002	1,158	6,19	118
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	6,342	0,101	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,511	2,255	0,212	< 0,001	< 0,001	3,061	6,27	148

Legenda:

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)														
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	
3,5000	0,0100	-	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	-	-	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500	

Tabela AI.25: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões dezoito horas de agitação.
(campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; C.E. -condutividade elétrica; Prof. - Profundidade).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)
Área CA0																		
CA0-1A	0-10	6,54	0,081	< 0,01	0,072	0,007	0,005	0,003	0,102	0,082	2,037	0,058	0,016	0,003	0,015	0,012	6,61	70
	10-20	6,40	0,110	< 0,01	0,405	0,007	0,005	0,003	0,076	0,096	1,844	0,127	0,033	< 0,001	0,012	0,015	6,52	67
CA0-2B	0-20	6,54	0,046	< 0,01	0,214	0,008	0,007	0,004	0,043	0,043	3,073	0,083	0,019	0,003	0,011	0,019	6,52	73
	20-40	6,53	0,049	< 0,01	0,426	0,006	0,006	0,004	0,033	0,039	2,259	0,117	0,027	0,003	0,007	0,037	6,06	81
	40-60	6,53	0,075	< 0,01	4,055	0,162	0,006	0,007	0,038	0,057	16,328	38,597	0,018	< 0,001	0,071	0,024	6,15	61
CA0-3A	0-5	6,46	1,214	< 0,01	6,063	0,044	0,007	0,007	0,036	0,794	22,196	22,428	0,015	< 0,001	0,020	0,019	5,72	203
	10-15	6,68	0,106	< 0,01	0,102	0,005	0,007	0,006	0,018	0,134	3,743	0,031	0,003	0,003	0,005	0,010	6,48	96
Área CA1																		
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	< 0,01	30,371	0,073	0,010	< 0,001	< 0,001	0,017	1,981	48,308	2,722	0,023	0,005	54,816	5,97	760
	5-10	6,46	< 0,001	< 0,01	27,237	0,040	0,006	0,005	0,031	0,010	1,277	21,237	0,685	0,008	0,003	23,465	6,05	495
	10-15	6,53	0,005	< 0,01	6,873	0,012	0,008	0,004	0,028	0,023	2,693	8,956	0,759	0,004	0,004	7,942	6,08	240
	15-20	6,53	< 0,001	< 0,01	6,918	0,012	0,007	0,002	< 0,001	0,009	4,790	9,805	0,719	0,008	0,002	8,461	6,18	261
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	18,148	0,062	0,010	< 0,001	< 0,001	0,009	1,346	19,061	1,413	0,007	0,006	19,665	6,14	398
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	6,954	0,051	0,014	< 0,001	< 0,001	0,007	1,186	11,328	1,270	0,004	< 0,001	10,541	5,80	256
	60-80	6,46	< 0,001	< 0,01	56,067	0,147	0,055	< 0,001	< 0,001	0,015	1,861	26,899	3,580	0,018	< 0,001	27,776	5,81	640
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	52,410	0,143	0,034	< 0,001	< 0,001	0,010	2,541	27,416	2,668	0,015	0,002	22,145	6,21	637
	0-20	6,53	0,108	< 0,01	3,885	0,012	0,007	0,002	< 0,001	0,087	2,385	0,701	0,274	< 0,001	< 0,001	1,143	6,47	122

Anexo A

CA1-21 (lixí)	20-40	6,46	1,141	< 0,01	9,192	0,056	0,006	0,005	0,011	0,472	29,318	36,933	0,126	< 0,001	0,013	1,160	5,92	119
	40-60	6,46	0,914	< 0,01	7,413	0,044	0,006	0,006	0,017	0,345	21,997	39,640	0,161	< 0,001	0,017	0,504	5,97	94
CA1-22	0-5	6,53	0,001	< 0,01	4,706	0,053	0,008	< 0,001	0,009	0,035	5,156	1,889	1,006	< 0,001	0,023	1,135	6,41	158
	10-15	6,54	0,059	< 0,01	1,877	0,011	0,005	0,001	< 0,001	0,054	3,847	0,825	0,317	< 0,001	< 0,001	0,351	6,66	108
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	4,577	0,009	0,010	< 0,001	< 0,001	0,020	3,623	1,981	0,785	0,001	0,005	0,740	6,14	141
CA1-23	20-40	6,46	2,300	< 0,01	0,639	0,010	0,006	0,003	< 0,001	1,228	1,566	0,296	0,089	< 0,001	0,003	0,744	5,99	72
CA1-32	0-10	6,53	< 0,001	< 0,01	3,627	0,050	0,008	< 0,001	< 0,001	0,007	3,349	1,151	0,330	0,003	< 0,001	10,390	6,31	183
	10-20	6,53	0,035	< 0,01	2,589	0,030	0,008	< 0,001	< 0,001	0,039	2,993	1,217	0,347	< 0,001	0,001	5,477	6,35	131
	20-30	6,53	< 0,001	< 0,01	7,581	0,022	0,020	< 0,001	< 0,001	0,014	2,422	3,432	1,365	0,005	< 0,001	9,504	6,27	191
	30-40	6,53	0,008	< 0,01	6,838	0,026	0,013	0,002	0,010	0,031	23,387	31,936	0,523	0,004	0,008	1,398	5,94	130
	40-50	6,53	< 0,001	< 0,01	6,114	0,059	0,008	0,001	< 0,001	0,014	2,457	2,439	0,301	0,003	0,002	9,182	6,07	158
	50-60	6,53	0,585	< 0,01	6,138	0,081	0,014	0,005	0,027	0,285	23,593	64,236	0,526	0,002	0,031	9,004	5,26	182
	60-70+	6,40	0,102	< 0,01	2,752	0,007	0,014	< 0,001	< 0,001	0,103	2,240	1,376	0,742	0,003	0,004	2,499	6,27	119
CA1-33	0-20	6,46	0,075	< 0,01	17,680	0,124	0,006	0,008	0,056	0,078	49,102	145,521	0,387	< 0,001	0,053	0,832	5,89	106
	20-40	6,50	< 0,001	< 0,01	31,293	0,032	0,057	0,013	0,080	0,022	4,033	0,660	0,023	0,049	0,010	4,095	6,07	265
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	127,310	0,060	0,017	0,003	0,021	0,024	3,914	1,191	0,064	0,011	< 0,001	11,749	5,88	554
Área CA2																		
CA2-10	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	418,089	1,107	0,047	< 0,001	< 0,001	0,010	12,046	201,401	6,441	0,074	0,010	104,899	6,22	2630
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	13,816	0,021	0,012	0,007	< 0,001	0,007	2,477	28,427	0,885	0,009	< 0,001	13,718	6,18	447
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	11,322	0,022	0,011	0,004	< 0,001	0,005	3,593	22,574	0,737	0,006	< 0,001	10,531	6,06	367
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	50,218	0,079	0,015	0,002	< 0,001	0,006	2,445	25,639	0,967	0,011	0,020	15,511	6,30	571
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	63,165	0,153	0,019	0,001	0,003	0,005	3,664	31,521	1,135	0,020	0,003	18,679	6,00	664
CA2-10 (lixí)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	581,745	0,336	0,019	< 0,001	< 0,001	0,019	3,444	42,866	1,637	0,030	0,008	38,859	6,12	2230
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	14,574	0,035	0,011	0,003	< 0,001	0,009	2,368	15,380	0,593	0,007	0,001	8,770	6,18	340
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	29,507	0,082	0,015	< 0,001	< 0,001	0,005	1,963	33,540	1,191	0,012	0,001	17,462	6,05	480

	60-80	6,54	< 0,001	< 0,01	18,867	0,091	0,015	< 0,001	< 0,001	0,007	2,960	33,332	1,166	0,012	< 0,001	18,958	6,37	464
	80-100	6,46	< 0,001	< 0,01	31,101	0,525	0,019	< 0,001	< 0,001	0,023	2,764	40,411	1,583	0,018	0,005	30,548	6,14	630
CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	11,977	0,212	0,005	0,003	< 0,001	0,006	3,072	18,770	0,187	< 0,001	< 0,001	9,726	6,10	323
	20-40	6,45	0,006	< 0,01	175,373	0,205	0,005	< 0,001	< 0,001	0,021	2,084	12,964	0,149	< 0,001	0,007	8,055	6,25	827
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	109,083	0,151	0,005	0,001	< 0,001	0,005	2,828	13,140	0,124	< 0,001	< 0,001	5,118	6,32	639
CA2-12	0-20	6,50	< 0,001	< 0,01	23,259	0,112	0,041	< 0,001	< 0,001	0,013	3,213	23,407	2,837	0,046	0,028	87,072	5,56	603
	20-40	6,53	0,072	< 0,01	16,174	0,080	0,074	< 0,001	0,006	0,063	4,352	17,083	4,618	0,039	0,058	51,568	5,95	490
	40-60	6,53	0,133	0,033	29,415	0,048	0,042	< 0,001	0,039	0,074	27,060	61,946	4,668	0,006	0,004	8,766	6,37	338
	60-80	6,53	0,003	0,028	15,881	0,044	0,043	< 0,001	0,372	0,009	4,114	16,755	6,326	0,016	0,007	14,200	5,96	429
	80-100	6,53	0,007	0,013	14,777	0,091	0,063	< 0,001	0,041	0,022	4,801	16,402	6,627	0,023	0,025	15,057	6,00	390
Área CA3																		
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	24,729	0,059	0,005	< 0,001	< 0,001	0,009	3,928	7,182	0,584	0,003	< 0,001	1,472	6,27	267
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	18,491	0,053	0,007	< 0,001	0,060	0,021	2,573	2,045	1,485	< 0,001	< 0,001	1,011	6,55	198
	40-60	6,40	0,033	< 0,01	12,541	0,035	0,005	0,004	0,055	0,047	2,595	2,279	0,627	< 0,001	0,004	1,582	6,45	182
	60-80	6,53	0,028	< 0,01	4,492	0,045	0,005	0,004	< 0,001	0,033	3,749	1,543	0,166	< 0,001	0,008	1,556	6,21	131
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	7,613	0,118	0,005	0,001	< 0,001	0,013	5,182	2,472	0,289	0,009	< 0,001	3,498	6,43	169

Legenda:

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)														
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	
3,5000	0,0100	-	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	-	-	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500	

Tabela AI.26: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões vinte e quatro horas de agitação
(campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; C.E. -condutividade elétrica; Prof. - Profundidade)

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (μ s/cm)
Área CA0																		
CA0-1 ^a	0-10	6,54	0,186	< 0,01	0,440	0,004	0,005	0,002	< 0,001	0,122	1,883	0,142	0,022	< 0,001	< 0,001	0,083	5,81	73
	10-20	6,40	0,185	< 0,01	7,169	0,010	0,005	0,005	< 0,001	0,133	26,498	39,985	0,020	< 0,001	< 0,001	0,036	6,44	62
CA0-2B	0-20	6,54	0,278	< 0,01	0,288	0,003	0,005	0,002	< 0,001	0,207	1,127	0,122	0,017	< 0,001	< 0,001	0,016	6,22	64
	20-40	6,53	0,004	< 0,01	5,592	0,010	0,006	0,005	< 0,001	0,013	19,128	48,639	0,017	< 0,001	< 0,001	0,061	6,13	79
	40-60	6,53	0,031	< 0,01	0,486	0,003	0,006	0,001	< 0,001	0,026	1,309	0,097	0,036	< 0,001	< 0,001	0,045	5,76	54
CA0-3 ^a	0-5	6,46	0,028	< 0,01	0,653	0,004	0,007	0,002	< 0,001	0,962	4,707	0,206	0,010	< 0,001	< 0,001	0,067	6,48	105
	10-15	6,68	0,069	< 0,01	0,275	0,004	0,005	0,002	< 0,001	0,074	1,796	0,063	0,001	< 0,001	< 0,001	0,064	6,11	66
Área CA1																		
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	0,013	41,697	0,095	0,005	< 0,001	0,056	0,026	5,599	57,719	3,777	0,031	0,010	59,787	6,15	781
	5-10	6,46	< 0,001	< 0,01	34,446	0,053	0,004	< 0,001	0,044	0,023	3,321	23,229	0,871	0,014	0,007	26,811	6,17	491
	10-15	6,53	< 0,001	< 0,01	6,580	0,016	0,007	< 0,001	0,021	0,018	3,382	9,585	0,907	0,004	0,003	8,535	5,98	208
	15-20	6,53	0,002	< 0,01	5,734	0,014	0,006	< 0,001	0,015	0,013	3,393	9,563	0,822	0,005	0,004	8,714	6,12	226
	20-40	6,46	0,004	< 0,01	19,591	0,083	0,010	< 0,001	< 0,001	0,011	3,717	21,626	1,799	0,012	0,006	22,764	6,16	375
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	7,389	0,063	0,013	< 0,001	< 0,001	0,023	3,135	12,363	1,447	0,007	0,008	11,714	6,10	269
	60-80	6,46	0,004	< 0,01	64,135	0,170	0,061	< 0,001	< 0,001	0,024	3,648	27,704	3,815	0,026	0,005	29,766	6,27	645
	80-100	6,53	0,032	< 0,01	57,429	0,159	0,035	< 0,001	< 0,001	0,011	2,490	27,627	3,019	0,017	0,002	22,474	5,63	543
CA1-21 (lixí)	0-20	6,53	0,053	< 0,01	4,163	0,014	0,006	< 0,001	< 0,001	0,042	2,523	0,796	0,358	0,002	0,001	1,383	5,06	117
	20-40	6,46	1,049	< 0,01	3,579	0,018	0,005	0,001	< 0,001	0,733	5,450	0,742	0,174	< 0,001	0,002	1,581	6,18	141

Anexo A

	40-60	6,46	1,264	< 0,01	2,983	0,009	0,004	< 0,001	< 0,001	0,605	3,669	0,702	0,147	< 0,001	< 0,001	0,785	6,26	110
CA1-22	0-5	6,53	< 0,001	< 0,01	4,267	0,032	0,007	< 0,001	< 0,001	0,014	12,173	2,040	1,174	< 0,001	< 0,001	1,212	6,11	171
	10-15	6,54	0,063	< 0,01	2,425	0,014	0,004	< 0,001	< 0,001	0,036	2,732	0,924	0,377	< 0,001	0,003	0,459	5,92	100
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	4,731	0,010	0,009	< 0,001	< 0,001	0,031	4,002	2,214	0,930	< 0,001	< 0,001	0,941	6,31	135
CA1-23	20-40	6,46	1,365	< 0,01	1,191	0,013	0,005	0,002	< 0,001	0,727	1,825	0,369	0,076	< 0,001	0,003	0,943	6,05	85
CA1-32	0-10	6,53	0,707	< 0,01	2,923	0,044	0,007	< 0,001	< 0,001	0,459	3,467	1,167	0,361	< 0,001	0,002	7,291	6,16	136
	10-20	6,53	0,023	< 0,01	3,781	0,036	0,008	< 0,001	< 0,001	0,012	3,243	1,468	0,457	< 0,001	< 0,001	6,073	5,23	145
	20-30	6,53	0,065	< 0,01	7,705	0,025	0,021	< 0,001	< 0,001	0,153	3,746	4,079	1,563	0,008	0,013	10,560	6,17	214
	30-40	6,53	< 0,001	< 0,01	2,527	0,006	0,015	< 0,001	< 0,001	0,011	7,088	1,567	0,702	< 0,001	< 0,001	1,637	5,87	154
	40-50	6,53	< 0,001	< 0,01	5,895	0,058	0,007	< 0,001	< 0,001	0,008	3,485	2,398	0,338	0,004	< 0,001	8,571	6,23	182
	50-60	6,53	0,878	< 0,01	4,204	0,010	0,012	< 0,001	< 0,001	0,481	3,361	1,941	0,389	0,004	0,005	3,566	5,73	148
	60-70+	6,40	0,038	< 0,01	3,133	0,006	0,012	< 0,001	< 0,001	0,038	1,956	1,403	0,772	0,008	< 0,001	2,241	6,34	112
CA1-33	0-20	6,46	3,385	< 0,01	4,836	0,011	0,005	0,003	< 0,001	1,986	6,892	0,613	0,066	< 0,001	0,039	2,339	6,27	136
	20-40	6,50	< 0,001	< 0,01	38,227	0,028	0,005	< 0,001	< 0,001	0,009	4,785	0,746	0,030	< 0,001	< 0,001	4,743	6,33	297
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	129,631	0,063	0,005	< 0,001	< 0,001	0,018	5,282	1,253	0,076	< 0,001	< 0,001	11,249	6,01	637
Área CA2																		
CA2-10	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	471,222	1,284	0,052	< 0,001	< 0,001	0,015	4,839	227,047	7,127	0,086	0,014	114,018	6,24	2580
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	14,049	0,022	0,012	< 0,001	< 0,001	0,025	5,728	28,714	0,892	0,015	< 0,001	13,536	6,05	482
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	11,254	0,023	0,012	< 0,001	< 0,001	0,008	1,990	22,718	0,799	0,007	0,002	10,533	5,53	386
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	53,567	0,079	0,013	< 0,001	< 0,001	0,024	2,661	26,535	0,992	0,010	0,019	15,323	5,88	525
	80-100	6,53	0,042	< 0,01	63,412	0,159	0,015	< 0,001	< 0,001	0,022	2,920	30,641	1,164	0,013	< 0,001	18,780	5,59	631
CA2-10 (lixí)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	641,800	0,397	0,020	< 0,001	< 0,001	0,008	3,823	48,395	1,782	0,032	< 0,001	42,777	6,00	2220
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	14,468	0,034	0,010	< 0,001	< 0,001	0,017	2,905	14,855	0,601	0,003	< 0,001	8,341	6,20	308
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	35,122	0,096	0,016	< 0,001	< 0,001	0,006	2,758	38,187	1,385	0,015	0,001	19,610	6,15	579
	60-80	6,54	< 0,001	< 0,01	21,208	0,104	0,016	< 0,001	< 0,001	0,004	2,892	34,778	1,247	0,019	0,001	19,812	5,73	505
	80-100	6,46	0,050	< 0,01	34,141	0,587	0,020	< 0,001	< 0,001	0,065	3,706	42,834	1,713	0,020	0,004	32,554	6,03	653

CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	11,515	0,210	0,005	< 0,001	< 0,001	0,001	2,934	18,028	0,242	< 0,001	< 0,001	9,222	6,10	315
	20-40	6,45	0,052	< 0,01	190,422	0,214	0,005	< 0,001	< 0,001	0,036	2,464	13,689	0,191	< 0,001	0,008	8,454	6,26	883
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	121,013	0,167	0,004	< 0,001	< 0,001	0,001	3,119	13,933	0,183	< 0,001	< 0,001	5,250	6,35	666
CA2-12	0-20	6,50	< 0,001	< 0,01	26,333	0,130	0,043	< 0,001	< 0,001	0,027	5,261	25,293	3,266	0,052	0,039	94,479	6,09	662
	20-40	6,53	0,009	< 0,01	17,263	0,090	0,081	< 0,001	< 0,001	0,024	4,807	17,511	4,891	0,038	0,017	52,419	6,00	499
	40-60	6,53	< 0,001	< 0,01	12,897	0,035	0,055	< 0,001	< 0,001	0,017	3,429	14,298	5,153	0,008	0,002	9,938	6,24	338
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	15,640	0,042	0,041	< 0,001	< 0,001	0,008	3,722	17,202	6,594	0,011	< 0,001	11,046	6,07	413
	80-100	6,53	0,042	< 0,01	15,073	0,094	0,066	< 0,001	< 0,001	0,084	3,341	17,441	7,008	0,012	0,007	16,240	6,16	424
Área CA3																		
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	28,495	0,063	0,005	< 0,001	< 0,001	0,011	2,459	8,108	0,700	< 0,001	< 0,001	1,454	6,22	262
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	22,705	0,064	0,008	< 0,001	< 0,001	0,005	3,506	2,470	1,884	< 0,001	< 0,001	1,355	6,64	227
	40-60	6,40	< 0,001	< 0,01	16,167	0,045	0,006	< 0,001	< 0,001	0,005	4,533	3,386	0,823	0,005	< 0,001	2,121	6,69	220
	60-80	6,53	0,009	< 0,01	4,225	0,041	0,005	< 0,001	< 0,001	0,025	2,126	1,370	0,159	< 0,001	< 0,001	1,423	6,20	125
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	7,425	0,114	0,005	< 0,001	< 0,001	0,004	2,416	2,455	0,320	< 0,001	< 0,001	3,223	6,09	148

Legenda:

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)														
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	
3,5000	0,0100	-	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	-	-	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500	

Tabela AI.27: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões quarente e oito horas de agitação.
(campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; C.E. -condutividade elétrica; Prof. - Profundidade)

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
Área CA0																		
CA0-1 ^a	0-10	6,54	0,331	< 0,01	0,483	0,002	0,005	< 0,001	< 0,001	0,221	2,276	0,147	0,032	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,35	71
	10-20	6,40	0,067	< 0,01	0,572	0,002	0,005	< 0,001	< 0,001	0,086	1,502	0,176	0,009	< 0,001	< 0,001	0,003	6,42	60
CA0-2B	0-20	6,54	0,303	< 0,01	0,765	0,003	0,005	< 0,001	< 0,001	0,201	1,891	0,165	0,012	< 0,001	< 0,001	0,022	6,23	73
	20-40	6,53	0,660	< 0,01	0,742	0,002	0,004	0,001	< 0,001	0,436	2,772	0,181	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,006	6,26	90
	40-60	6,53	0,011	< 0,01	0,273	0,011	0,008	< 0,001	< 0,001	0,036	1,654	0,077	0,014	< 0,001	< 0,001	0,031	6,14	59
CA0-3 ^a	0-5	6,46	2,292	< 0,01	0,595	0,003	0,006	0,007	< 0,001	2,958	1,609	0,243	0,014	< 0,001	< 0,001	0,039	6,23	85
	10-15	6,68	0,069	< 0,01	0,600	0,005	0,005	< 0,001	< 0,001	0,087	1,886	0,087	0,003	< 0,001	< 0,001	0,019	6,21	84
Área CA1																		
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	< 0,01	41,249	0,088	0,008	< 0,001	< 0,001	0,003	1,905	62,496	3,998	0,021	< 0,001	66,064	5,82	738
	5-10	6,46	0,034	< 0,01	36,660	0,051	0,006	< 0,001	< 0,001	0,014	1,492	25,892	0,993	0,009	< 0,001	28,334	5,91	524
	10-15	6,53	0,042	< 0,01	7,202	0,013	0,009	< 0,001	< 0,001	0,031	1,350	9,795	0,936	< 0,001	0,002	8,809	5,66	228
	15-20	6,53	< 0,001	< 0,01	6,287	0,006	0,007	< 0,001	< 0,001	0,006	1,797	9,526	0,752	0,002	< 0,001	6,535	6,02	214
	20-40	6,46	0,042	< 0,01	12,859	0,064	0,010	< 0,001	< 0,001	0,008	1,429	16,637	1,229	0,009	< 0,001	17,053	6,08	435
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	7,654	0,073	0,017	< 0,001	0,375	0,017	1,408	11,140	1,446	0,002	0,002	9,956	5,86	273
	60-80	6,46	< 0,001	< 0,01	68,029	0,195	0,068	< 0,001	< 0,001	0,014	1,712	30,767	4,305	0,019	< 0,001	34,206	5,84	662
	80-100	6,53	0,053	< 0,01	62,573	0,174	0,039	< 0,001	< 0,001	0,005	2,153	29,920	3,331	0,014	< 0,001	23,745	5,50	627
CA1-21 (lixí)	0-20	6,53	0,088	< 0,01	5,091	0,014	0,008	< 0,001	< 0,001	0,091	2,666	0,787	0,397	< 0,001	< 0,001	1,317	6,10	116
	20-40	6,46	3,016	< 0,01	4,525	0,031	0,008	0,001	< 0,001	1,373	2,569	0,837	0,242	< 0,001	< 0,001	2,285	5,84	93
	40-60	6,46	1,920	< 0,01	3,917	0,009	0,005	< 0,001	< 0,001	0,807	1,829	0,822	0,053	< 0,001	< 0,001	0,965	5,98	84

Anexo A

CA1-22	0-5	6,53	0,092	< 0,01	5,943	0,085	0,034	0,028	0,153	0,099	5,249	2,398	1,500	0,026	0,067	1,470	6,28	153
	10-15	6,54	0,015	< 0,01	2,872	0,031	0,013	0,008	0,013	0,026	6,549	1,047	0,416	0,003	0,015	0,429	6,21	102
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	6,214	0,023	0,015	< 0,001	< 0,001	0,010	3,225	2,564	1,208	< 0,001	0,007	1,174	6,33	148
CA1-23	20-40	6,46	0,240	< 0,01	1,382	0,020	0,006	0,002	< 0,001	0,116	2,506	0,388	0,069	0,002	0,003	1,039	6,06	119
CA1-32	0-10	6,53	0,253	< 0,01	3,012	0,032	0,008	< 0,001	< 0,001	0,193	3,848	1,132	0,386	0,002	< 0,001	5,913	6,47	158
	10-20	6,53	0,030	< 0,01	3,523	0,042	0,009	< 0,001	< 0,001	0,035	3,099	1,284	0,450	< 0,001	< 0,001	6,277	6,38	137
	20-30	6,53	< 0,001	< 0,01	8,442	0,031	0,024	< 0,001	< 0,001	0,013	2,010	4,519	1,722	0,005	< 0,001	11,648	5,79	192
	30-40	6,53	0,116	< 0,01	4,320	0,016	0,025	< 0,001	< 0,001	0,081	3,305	2,307	1,115	0,007	< 0,001	3,586	5,86	142
	40-50	6,53	0,034	< 0,01	6,884	0,067	0,008	< 0,001	< 0,001	0,050	2,264	2,561	0,448	0,003	0,005	9,593	5,98	158
	50-60	6,53	0,066	< 0,01	3,618	0,015	0,014	< 0,001	< 0,001	0,037	2,636	1,784	0,447	0,002	< 0,001	3,328	6,03	139
	60-70+	6,40	0,099	< 0,01	4,150	0,010	0,015	< 0,001	< 0,001	0,073	2,454	1,851	1,088	< 0,001	< 0,001	3,193	6,26	128
CA1-33	0-20	6,46	6,225	< 0,01	4,898	0,012	0,006	0,004	< 0,001	2,998	5,914	0,634	0,083	< 0,001	0,055	2,664	6,14	121
	20-40	6,50	0,020	< 0,01	35,248	0,028	0,005	< 0,001	< 0,001	0,011	3,995	0,717	0,035	0,002	0,004	4,965	6,44	305
	40-60	6,52	0,016	< 0,01	131,889	0,066	0,006	< 0,001	< 0,001	0,014	3,768	1,250	0,100	0,001	< 0,001	11,998	6,04	634
Área CA2																		
CA2-10	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	480,662	1,294	0,052	< 0,001	< 0,001	0,014	4,908	225,540	7,000	0,081	0,014	115,914	6,04	2760
	20-40	6,53	0,041	< 0,01	13,989	0,024	0,012	< 0,001	< 0,001	0,047	2,166	28,662	0,905	0,011	0,013	14,055	6,01	452
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	10,888	0,017	0,011	< 0,001	< 0,001	0,002	2,183	22,207	0,740	0,008	< 0,001	9,312	6,14	360
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	61,301	0,083	0,014	< 0,001	< 0,001	0,002	4,716	25,699	0,973	0,012	0,016	16,380	5,76	610
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	67,755	0,164	0,016	< 0,001	< 0,001	0,002	2,788	34,011	1,248	0,013	0,002	19,844	5,88	637
CA2-10 (lixivi)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	650,653	0,485	0,020	< 0,001	< 0,001	0,020	3,202	47,259	1,766	0,028	0,008	43,295	6,08	2290
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	14,448	0,044	0,009	< 0,001	< 0,001	0,015	1,394	16,799	0,723	0,009	0,008	10,929	6,09	316
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	39,910	0,110	0,016	< 0,001	< 0,001	0,010	2,369	38,668	1,494	0,035	0,009	21,085	6,31	607
	60-80	6,54	< 0,001	< 0,01	18,145	0,129	0,014	< 0,001	< 0,001	0,014	2,462	34,216	1,321	0,021	0,009	20,117	6,06	497
	80-100	6,46	< 0,001	< 0,01	38,794	0,711	0,021	< 0,001	< 0,001	0,008	2,117	45,824	1,943	0,030	0,008	38,313	6,08	654
CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	11,376	0,238	0,003	0,001	< 0,001	< 0,001	2,951	19,618	0,258	0,003	0,003	10,749	6,17	342

	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	211,234	0,232	0,002	< 0,001	< 0,001	0,004	3,185	14,254	0,160	0,007	< 0,001	8,444	6,32	944
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	134,073	0,185	0,003	< 0,001	< 0,001	0,002	4,792	13,991	0,169	0,006	< 0,001	5,612	6,43	745
CA2-12	0-20	6,50	0,013	< 0,01	26,290	0,160	0,045	< 0,001	< 0,001	0,045	3,506	24,704	3,285	0,061	0,052	95,067	4,09	703
	20-40	6,53	0,006	< 0,01	16,650	0,100	0,077	< 0,001	< 0,001	0,023	3,978	16,901	4,893	0,043	0,020	50,943	5,92	501
	40-60	6,53	< 0,001	0,034	11,572	0,035	0,051	< 0,001	< 0,001	0,015	2,218	13,597	5,031	0,011	0,007	9,852	6,22	337
	60-80	6,53	< 0,001	0,013	14,354	0,049	0,040	< 0,001	< 0,001	0,003	3,110	16,466	6,538	0,013	0,004	11,330	6,08	397
	80-100	6,53	< 0,001	0,016	14,209	0,090	0,063	< 0,001	< 0,001	0,017	2,696	16,085	6,690	0,016	0,009	15,209	6,27	401
Área CA3																		
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	25,640	0,061	0,004	< 0,001	< 0,001	0,009	2,692	7,043	0,760	< 0,001	< 0,001	1,431	6,44	288
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	22,885	0,068	0,006	< 0,001	< 0,001	0,001	2,690	2,444	2,094	< 0,001	< 0,001	1,198	6,78	209
	40-60	6,40	< 0,001	< 0,01	13,761	0,035	0,004	< 0,001	< 0,001	0,010	4,635	2,564	0,812	0,062	0,003	1,148	6,51	237
	60-80	6,53	0,026	< 0,01	4,657	0,046	0,004	0,001	< 0,001	0,017	1,983	1,462	0,181	< 0,001	0,005	1,465	6,21	116
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	6,509	0,128	0,004	< 0,001	< 0,001	0,020	1,980	2,556	0,382	< 0,001	0,004	3,605	6,40	169

Legenda:

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)														
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	
3,5000	0,0100	-	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	-	-	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500	

Tabela AI.28: Percentagens de carbono, hidrogénio, azoto e enxofre obtidas por análise elementar para as aluviões da área em estudo. (campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Amostras	Profundidade (cm)	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
Área CA0					
CA0-1A	0-10	0,460	0,190	0,010	0,017
	10-20	0,330	0,144	-	0,021
CA0-2A	0-5	0,290	0,381	0,010	0,015
	5-10	0,310	0,317	-	0,010
	10-15	0,320	0,394	-	0,017
CA0-2B	0-20	1,160	0,352	0,060	0,010
	20-40	0,830	0,350	0,050	0,012
	40-60	0,800	0,374	0,050	0,007
CA0-3A	0-5	0,750	0,332	0,010	0,012
	5-10	0,760	0,531	0,020	0,016
	10-15	0,940	0,546	0,030	0,030
Área CA1					
CA1-13	0-20	1,210	0,564	0,100	0,028
	20-40	1,540	0,479	0,080	0,009
	40-60	1,300	0,432	0,080	0,019
	60-80	1,100	0,431	0,070	0,046
	80-100	0,700	0,366	0,040	0,054
	2,50 m	0,430	0,197	0,010	0,183
CA1-14	0-5	0,640	0,544	0,030	0,227
	5-10	0,610	0,503	0,030	0,137
	10-15	0,290	0,323	4,430	0,005
	15-20	0,410	0,305	0,010	0,054
	20-40	0,630	0,372	0,010	0,095
	40-60	0,650	0,743	0,060	0,069
	60-80	0,550	0,723	0,050	0,147
	80-100	0,670	0,549	0,030	0,222
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	0,520	0,878	0,070	0,074
CA1-14 [III]	0-20	0,850	0,508	0,040	0,097
	20-40	0,830	0,590	0,040	0,098
	40-60	0,920	0,550	0,050	0,098
	60-80	0,600	0,482	0,020	0,114
	80-100	0,560	0,527	0,030	0,109
	100-120	0,480	0,486	0,020	0,076
	1,30 m	0,700	0,493	0,030	0,155
	1,40 m	0,610	0,450	0,030	0,146
CA1-20	0-20	1,490	0,501	0,090	0,000

	20-40	0,950	0,333	0,050	0,035
	40-60	1,010	0,430	0,050	0,018
CA1-21	0-20	1,920	0,525	0,110	0,036
	20-40	2,670	0,693	0,150	0,037
	40-60	2,950	0,853	0,180	0,060
	60-80	3,390	0,832	0,190	0,046
	80-100	0,990	0,610	0,080	0,054
CA1-21 (lixí)	0-20	2,700	0,625	0,130	0,017
	20-40	3,320	0,900	0,230	0,035
	40-60	2,660	0,748	0,170	0,035
CA1-22	0-5	1,080	0,636	0,090	0,061
	5-10	0,930	0,477	0,050	0,048
	10-15	0,730	0,439	0,060	0,025
	15-20	1,200	0,687	0,090	0,044
	20-40	1,130	0,731	0,110	0,121
	40-60	0,320	0,617	0,010	0,151
	60-80	1,030	0,567	0,070	0,056
	80-100	2,590	0,568	0,120	0,178
CA1-22 [III]	0-20	2,000	0,740	0,120	0,075
	20-40	1,520	0,707	0,090	0,073
	40-60	1,290	0,757	0,080	0,135
	60-80	0,860	0,656	0,050	0,104
	80-100	2,030	0,520	0,060	0,136
CA1-23	0-20	1,220	0,502	0,090	0,028
	20-40	0,990	0,691	0,090	0,034
	40-60	1,030	0,611	11,230	0,007
	60-80	1,420	0,597	0,110	0,031
	80-100	1,350	0,579	0,110	0,047
CA1-23 [III]	0-5	1,100	0,818	0,090	0,091
	5-10	1,140	0,824	0,100	0,041
	10-15	1,320	0,545	0,080	0,052
	15-20	1,550	0,503	0,090	0,033
	20-25	1,160	0,443	0,060	0,033
	25-30	1,540	0,741	0,120	0,062
	30-33	1,310	0,376	0,060	0,051
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	2,560	0,933	0,100	0,153
CA1-26 [III]	0-5	0,500	0,821	0,020	0,074
	5-10	0,450	0,850	0,040	0,082
	10-15	0,430	1,017	0,020	0,067
	15-20	0,300	0,976	0,020	0,078
	20-25	0,990	0,829	0,090	0,158
	25-30	0,980	0,804	0,090	0,151
	30-35	1,020	0,903	0,100	0,210
CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	1,930	0,793	0,120	0,165
CA1-26 Sed.	0-20	0,500	0,432	0,020	0,319

CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	0,220	0,782	0,020	0,016
CA1-27	0-5	0,800	0,838	0,050	0,106
	5-10	0,540	0,822	0,030	0,073
	10-15	0,330	0,790	0,020	0,026
	15-20	0,410	0,845	0,050	0,037
	20-25	0,350	0,846	0,030	0,064
	25-30	0,300	0,836	0,030	0,037
	30-35	0,320	0,857	0,040	0,061
	35-40	0,350	0,847	0,020	0,021
	40-43	0,220	0,833	0,020	0,022
CA1-27A Draga [III]	0-10	0,430	0,335	0,010	0,053
CA1-28 Draga [III]	0-5	0,730	0,522	0,030	0,089
CA1-28	0-5	0,460	0,569	0,030	0,020
	5-10	0,310	0,556	0,020	0,015
	10-15	0,580	0,767	0,050	0,036
	15-20	0,670	0,692	0,050	0,017
	20-25	0,610	0,601	0,040	0,019
	25-30	0,530	0,640	0,040	0,029
	30-35	0,480	0,455	0,020	0,033
	35-37	0,690	0,507	0,030	0,023
	37-40	0,770	0,631	0,040	0,024
CA1-29	0-5	1,030	0,468	0,060	0,422
	5-10	0,940	0,327	0,050	0,225
	10-15	0,920	0,390	0,060	0,255
	15-20	1,430	0,683	0,090	0,125
	20-25	1,500	0,684	0,100	0,177
	25-30	1,410	0,649	0,100	0,054
	30-35	1,510	0,675	0,100	0,027
	35-40	1,910	0,762	0,100	0,031
	40-43	1,750	0,786	0,100	0,080
	43-46	1,450	0,745	0,090	0,009
CA1-29 Sup [III]	0-10	1,300	0,682	0,090	0,150
CA1-29 [III]	0-5	1,290	0,740	0,090	0,094
	5-10	1,460	0,741	0,090	0,018
	10-15	1,400	0,810	0,090	0,018
	15-20	1,700	0,949	0,110	0,006
	20-25	1,880	0,975	0,130	0,025
	25-30	2,220	0,995	0,140	0,010
	30-35	1,760	0,893	0,110	0,012
	35-41	1,850	0,872	0,110	0,003
	41-46	1,070	0,512	0,060	0,021
	2,50 m	0,840	0,413	0,010	0,069
CA1-30	0-20	1,210	0,893	0,150	0,017
	20-40	0,850	0,966	0,120	0,015
CA1-31	0-20	1,260	0,896	0,160	0,012

	20-40	0,990	0,955	0,130	0,012
	40-60	0,830	0,830	0,100	0,019
CA1-32 Sed [III]	0-20	0,540	0,765	0,040	0,048
CA1-32	0-10	2,030	0,587	0,100	0,066
	10-20	3,540	0,881	0,230	0,087
	20-30	4,100	0,918	0,260	0,112
	30-40	1,750	0,725	0,130	0,106
	40-50	3,030	0,806	0,190	0,092
	50-60	1,840	0,568	0,100	0,237
	60-70+	2,000	0,599	0,110	0,167
CA1-33	0-20	1,050	0,817	0,110	0,037
	20-40	0,810	0,713	0,050	0,137
	40-60	0,880	0,681	0,060	0,228
CA1-34	0-20	0,900	0,542	0,060	0,042
	20-40	0,560	0,389	0,030	0,011
	40-60	0,540	0,403	0,040	0,020
	60-80	0,500	0,370	0,020	0,017
	80-100	0,450	0,378	0,030	0,014
CA1-35	0-10	0,600	0,306	0,030	0,021
	10-20	0,670	0,291	0,030	0,026
	20-30	0,500	0,320	0,030	0,013
	30-40	0,560	0,302	0,040	0,007
	40-50	0,640	0,306	0,020	0,011
	50-60	0,550	0,317	0,020	0,020
	60-80	0,510	0,282	0,030	0,024
	80-100	0,530	0,295	0,020	0,051
CA1-35 [III]	0-20	0,550	0,317	0,040	0,010
	20-40	0,510	0,338	0,030	0,017
	40-60	0,530	0,308	0,040	0,016
	60-80	0,440	0,320	0,030	0,020
	80-100	0,440	0,297	0,030	0,013
CA1-47	0-5	1,390	0,704	0,080	0,016
	5-10	1,570	0,832	0,110	0,006
	10-15	1,710	0,659	0,090	0,006
	15-20	1,320	0,561	0,060	0,004
	20-25	1,260	0,680	0,070	0,005
	25-30	1,840	0,813	0,100	0,014
	30-35	1,230	0,560	0,070	0,009
	35-40	1,560	0,786	0,090	0,006
	40-42	1,710	0,755	0,110	0,011
	42-45	1,550	0,813	0,090	0,006
CA1-48 [III]	0-20	2,030	0,620	0,110	0,015
	20-40	1,890	0,593	0,100	0,041
	40-60	1,160	0,464	0,060	0,029
	60-80	1,020	0,436	0,060	0,036

	80-100	0,510	0,295	0,030	0,021
CA1-51 Sed [III]	0-20	0,520	0,447	0,020	0,466
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	0,970	0,625	0,080	0,080
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	0,640	0,752	0,050	0,141
CA1-53 [III]	0-5	0,690	0,801	0,030	0,159
	5-10	0,410	0,862	0,040	0,094
	10-15	0,530	0,855	0,040	0,072
	15-20	0,320	0,734	0,030	0,066
	20-25	0,660	0,905	0,060	0,059
	25-30	1,000	0,852	0,120	0,107
	30-35	1,040	0,891	0,110	0,087
	35-40	0,850	0,916	0,090	0,096
	40-45	1,020	0,961	0,120	0,101
	45-50	1,120	0,923	0,130	0,127
	50-55	1,050	0,273	0,030	0,219
CA1-53 Core [III]	0-10	0,620	0,526	0,040	0,092
CA1-56 Vala [IV]	100-160	1,260	0,790	0,110	0,020
	160-300	0,700	0,492	0,050	0,018
CA1-57 [IV]	0-20	1,490	0,672	0,110	0,099
	20-40	1,320	0,414	0,060	0,062
	40-60	0,880	0,312	0,040	0,033
	60-80	0,710	0,396	0,040	0,068
	80-100	0,520	0,399	0,020	0,103
Área CA2					
CA2-10 Sulfatos	0-5	0,230	5,746	0,010	3,463
CA2-10	0-20	1,330	0,908	0,110	0,810
	20-40	0,400	0,559	0,000	0,149
	40-60	0,390	0,491	0,020	0,125
	60-80	0,550	0,554	0,030	0,273
	80-100	0,610	0,567	0,040	0,193
	2,40 m	0,640	0,462	0,030	0,135
CA2-10 (lixivi)	0-20	1,000	0,803	0,070	0,850
	20-40	0,500	0,510	0,030	0,307
	40-60	0,440	0,515	0,020	0,266
	60-80	1,950	0,845	0,180	0,215
	80-100	1,240	0,738	0,100	0,217
CA2-10A [III]	0-20	0,910	0,756	0,050	0,102
	20-40	1,390	0,823	0,090	0,995
	40-60	0,980	0,620	0,060	0,229
CA2- 10A Vala [IV]	60-150	0,710	0,751	0,060	0,075
	180-260	0,150	0,542	0,020	0,076
CA2-11	0-20	1,160	0,590	0,530	0,008
	20-40	0,820	0,597	0,070	0,029
	40-60	0,550	0,610	2,510	0,005
CA2-12	0-20	1,590	1,068	0,170	0,331

	20-40	1,440	1,085	0,170	0,369
	40-60	1,430	1,062	0,090	0,359
	60-80	1,420	1,022	0,100	0,402
	80-100	1,550	1,071	0,110	0,481
CA2-55 Vala [IV]	160-200	0,970	0,462	0,050	0,134
	200-260	0,780	0,528	0,050	0,112
Área CA3					
CA3-16 Sed	0-5	0,370	0,398	0,010	0,089
CA3-17	0-20	1,530	0,593	0,100	0,032
	20-40	0,790	0,537	0,060	0,011
	40-50+	0,800	0,588	0,060	0,039
CA3-18	0-20	0,670	0,475	0,040	0,111
	20-40	0,600	0,518	0,030	0,133
	40-60	0,680	0,511	0,040	0,038
	60-80	0,650	0,403	0,010	0,058
	80-100	0,650	0,452	0,030	0,073
	1,20-1,50 m	0,780	0,523	0,040	0,064
CA3-36 Sup	0-5	0,360	0,687	0,050	0,087
CA3-37	0-10	0,350	0,634	0,040	0,104
	10-20	0,390	0,606	0,030	0,064
	20-40	0,550	0,757	0,040	0,083
	40-50	0,470	0,780	0,100	0,070
CA3-38	0-10	2,280	0,670	0,120	0,030
	10-20	2,320	0,681	0,340	0,034
	20-30	1,360	0,529	0,580	0,026
	30-40	0,820	0,524	0,940	0,008
	40-50	0,880	0,475	1,770	0,010
	50-60	0,560	0,327	2,620	0,008
	60-80	0,720	0,425	3,710	0,017
	80-100	0,450	0,553	7,390	0,107
CA3-38 [III]	0-20	3,250	0,603	0,130	0,030
	20-40	2,670	0,714	0,150	0,032
	40-60	4,300	0,789	0,190	0,032
	60-80	2,330	0,678	0,130	0,039
	80-100	2,900	0,658	0,140	0,035
	1,20 m	2,190	0,608	0,100	0,034
CA3-39 Esc. Grota Seca	0-5	0,440	0,518	5,700	0,103

Tabela AI.29: Teores em fósforo (P) obtidos para as aluviões da área em estudo.
(campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Amostras	Profundidade (cm)	P total (mg.kg ⁻¹)
Área CA0		
CA0-1A	0-10	19,60
	10-20	63,00
CA0-2A	0-5	63,61
	5-10	110,32
	10-15	168,13
CA0-2B	0-20	78,40
	20-40	89,14
	40-60	84,92
CA0-3A	0-5	177,18
	5-10	43,47
	10-15	74,80
Área CA1		
CA1-13	0-20	96,39
	20-40	30,66
	40-60	91,16
	60-80	107,22
	80-100	33,10
	2,50 m	37,48
CA1-14	0-5	96,25
	5-10	83,96
	10-15	115,64
	15-20	88,89
	20-40	70,21
	40-60	114,32
	60-80	129,75
80-100	22,77	
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	147,65
CA1-14 [III]	0-20	102,33
	20-40	106,59
	40-60	79,45
	60-80	89,66
	80-100	108,06
	100-120	101,87
	1,30 m	19,74
	1,40 m	92,41
CA1-20	0-20	125,66
	20-40	59,29
	40-60	147,87
CA1-21	0-20	94,06
	20-40	86,25

	40-60	42,30
	60-80	90,66
	80-100	135,30
CA1-21 (lixivi)	0-20	121,46
	20-40	84,97
	40-60	136,88
CA1-22	0-5	37,62
	5-10	138,71
	10-15	67,54
	15-20	38,51
	20-40	131,23
	40-60	46,97
	60-80	119,93
	80-100	107,75
CA1-22 [III]	0-20	97,80
	20-40	112,81
	40-60	85,43
	60-80	88,14
	80-100	97,71
CA1-23	0-20	98,98
	20-40	94,45
	40-60	113,91
	60-80	94,73
	80-100	131,10
CA1-23 [III]	0-5	93,35
	5-10	103,05
	10-15	35,04
	15-20	88,17
	20-25	93,86
	25-30	94,38
	30-33	46,80
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	183,42
CA1-26 [III]	0-5	86,44
	5-10	119,55
	10-15	82,58
	15-20	89,52
	20-25	71,25
	25-30	35,61
	30-35	105,39
CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	98,69
CA1-26 Sed.	0-20	89,82
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	17,06
CA1-27	0-5	48,21
	5-10	86,11
	10-15	91,38

	15-20	74,01
	20-25	12,60
	25-30	79,64
	30-35	120,41
	35-40	50,18
	40-43	77,91
CA1-27A Draga [III]	0-10	167,70
CA1-28 Draga [III]	0-5	5,70
CA1-28	0-5	130,68
	5-10	121,79
	10-15	14,73
	15-20	21,73
	20-25	59,89
	25-30	56,91
	30-35	91,42
	35-37	41,65
	37-40	164,17
CA1-29	0-5	109,13
	5-10	84,49
	10-15	132,44
	15-20	152,97
	20-25	30,31
	25-30	141,88
	30-35	71,10
	35-40	143,28
	40-43	8,36
	43-46	143,28
CA1-29 Sup [III]	0-10	112,45
CA1-29 [III]	0-5	104,10
	5-10	67,06
	10-15	10,09
	15-20	81,77
	20-25	164,52
	25-30	163,81
	30-35	65,73
	35-41	99,79
	41-46	65,49
	2,50 m	63,83
CA1-30	0-20	124,34
	20-40	104,38
CA1-31	0-20	156,37
	20-40	155,36
	40-60	116,82
CA1-32 Sed [III]	0-20	151,99
CA1-32	0-10	152,76

	10-20	150,73
	20-30	140,20
	30-40	40,19
	40-50	124,19
	50-60	141,78
	60-70+	42,90
CA1-33	0-20	108,69
	20-40	55,44
	40-60	62,90
CA1-34	0-20	146,86
	20-40	29,25
	40-60	26,44
	60-80	124,41
	80-100	114,91
CA1-35	0-10	13,48
	10-20	16,04
	20-30	107,73
	30-40	101,52
	40-50	88,07
	50-60	17,75
	60-80	25,02
	80-100	97,13
CA1-35 [III]	0-20	88,98
	20-40	93,44
	40-60	51,69
	60-80	74,88
	80-100	16,99
CA1-47	0-5	134,81
	5-10	128,46
	10-15	145,12
	15-20	128,40
	20-25	149,75
	25-30	113,67
	30-35	147,39
	35-40	173,05
	40-42	167,62
	42-45	71,42
CA1-48 [III]	0-20	109,94
	20-40	80,97
	40-60	77,47
	60-80	24,72
	80-100	5,59
CA1-51 Sed [III]	0-20	168,88
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	133,03
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	29,55

CA1-53 [III]	0-5	129,76
	5-10	106,16
	10-15	331,50
	15-20	119,24
	20-25	155,88
	25-30	151,44
	30-35	76,63
	35-40	97,39
	40-45	227,13
	45-50	163,25
	50-55	63,00
CA1-53 Core [III]	0-10	143,82
Vala CA1-56 [IV]	1,0-1,6 m	119,43
	1,0 -3,0m	95,40
CA1-57 [IV]	0-20	108,22
	20-40	114,68
	40-60	98,23
	60-80	124,78
	80-100	125,38
Área CA2		
CA2-10 Sulfatos	0-5	
CA2-10	0-20	140,81
	20-40	174,40
	40-60	156,61
	60-80	129,40
	80-100	169,25
	2,40 m	41,84
CA2-10 (lixivi)	0-20	123,35
	20-40	71,41
	40-60	196,50
	60-80	80,59
	80-100	93,48
CA2-10A [III]	0-20	102,64
	20-40	117,43
	40-60	132,33
Vala CA2-10 A [IV]	30-150 cm	139,40
	1,8-2,5 m	143,68
CA2-11	0-20	120,75
	20-40	43,70
	40-60	137,36
CA2-12	0-20	74,30
	20-40	200,01
	40-60	117,66
	60-80	118,61
	80-100	251,14

	2,70 m	158,93
CA2-55 [IV]	1,6-2 m	192,96
CA2-56 [IV]	2-2,60 m	132,60
Área CA3		
CA3-16 Sed	0-5	98,74
CA3-17	0-20	155,18
	20-40	97,23
	40-50+	66,81
CA3-18	0-20	73,93
	20-40	79,88
	40-60	124,25
	60-80	
	80-100	126,64
	1,20-1,50 m	45,97
CA3-36 Sup	0-5	26,04
CA3-37	0-10	29,30
	10-20	34,87
	20-40	71,83
	40-50	126,16
CA3-38	0-10	108,93
	10-20	119,50
	20-30	125,39
	30-40	129,71
	40-50	42,19
	50-60	96,22
	60-80	104,76
	80-100	18,56
CA3-38 [III]	0-20	45,56
	20-40	130,05
	40-60	85,76
	60-80	127,51
	80-100	40,43
	1,20 m	71,73
CA3-39 Esc. Grota Seca	0-5	56,13

Tabela AI.30: Teores em fósforo (P) obtidos para as águas intersticiais recolhidas nas aluviões da área em estudo. (campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Amostras	Profundidade (cm)	P (mg.l ⁻¹)
Área CA0		
CA0-2A	0-5	0,53
	5-10	0,89
	10-15	0,26
CA0-3A	0-5	0,15
	5-10	0,27
	10-15	0,22
Área CA1		
CA1-13	40-60	0,24
CA1-14	0-5	0,19
	5-10	0,17
	10-15	0,04
	15-20	0,09
	20-40	0,23
	40-60	0,35
	60-80	0,24
	80-100	< 0,005
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	< 0,005
CA1-14 [III]	0-20	0,65
	20-40	< 0,005
	40-60	0,93
	80-100	< 0,005
CA1-21	60-80	< 0,005
CA1-22	0-5	0,76
	5-10	0,50
	10-15	0,63
	15-20	0,55
	20-40	0,82
	40-60	0,36
	60-80	< 0,005
CA1-22 [III]	0-20	< 0,005
	80-100	< 0,005
CA1-23	60-80	< 0,005
	80-100	1,09
CA1-23 [III]	5-10	0,12
	10-15	< 0,005
	20-25	< 0,005
	25-30	< 0,005
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	< 0,005
CA1-26 [III]	0-5	0,36

	5-10	< 0,005
	10-15	< 0,005
	15-20	< 0,005
	20-25	< 0,005
	25-30	< 0,005
	30-35	< 0,005
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	< 0,005
CA1-27	25-30	< 0,005
	30-35	< 0,005
	40-43	< 0,005
CA1-28	0-5	< 0,005
	30-35	< 0,005
CA1-28 [III]	15-20	< 0,005
CA1-28 60-80 [III]	60-80	< 0,005
CA1-28 Draga [III]		< 0,005
CA1-29	10-15	< 0,005
	25-30	< 0,005
	43-46	< 0,005
CA1-29 Sup [III]	0-10	0,12
CA1-32 Sed [III]	0-20	< 0,005
CA1-32	10-20	< 0,005
	20-30	< 0,005
	30-40	< 0,005
	40-50	< 0,005
	50-60	< 0,005
	60-70+	< 0,005
CA1-35	50-60	< 0,005
	80-100	0,49
CA1-35 [III]	20-40	< 0,005
	60-80	< 0,005
	80-100	< 0,005
CA1-47	25-30	< 0,005
	30-35	0,57
	35-40	< 0,005
	40-42	< 0,005
CA1-53 [III]	10-15	0,53
	30-35	5,87
CA1-53 Core [III]	0-10	< 0,005
CA1-57 [IV]	60-80	0,70
	80-100	< 0,005
Área CA2		
CA2-10	20-40	0,14
	40-60	0,12
	60-80	< 0,005

CA2-12	0-20	0,22
	20-40	1,06
	40-60	1,47
	80-100	< 0,005
CA2-55 Vala [IV]	160-200	< 0,005
	200-260	0,07
Área CA3		
CA3-18	0-20	< 0,005
CA3-36 Sup	0-5	< 0,005
CA3-38	20-30	< 0,005
	30-40	< 0,005
	40-50	< 0,005
	50-60	< 0,005
	80-100	< 0,005
CA3-38 [III]	0-20	< 0,005
	20-40	< 0,005
	40-60	< 0,005
	80-100	< 0,005

Tabela AL.31: Teores em sulfatos obtidos nas aluviões da área em estudo.
(campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; Prof. - Profundidade)

Amostra	Prof. (cm)	Conc. Final (mg.kg ⁻¹ SO ₄)	Conc. Final (% SO ₄)
Área CA0			
CA0-1A	0-10	< 0,011	< 0,001
	10-20	7,271	0,001
CA0-2A	0-5	12,801	0,001
	5-10	13,096	0,001
	10-15	17,221	0,002
CA0-2B	0-20	17,869	0,002
	20-40	20,914	0,002
	40-60	1,408	< 0,001
CA0-3A	0-5	12,862	0,001
	5-10	0,481	< 0,001
	10-15	11,990	0,001
Área CA1			
CA1-13	0-20	302,007	0,030
	20-40	115,583	0,012
	40-60	47,193	0,005
	60-80	1098,281	0,110
	80-100	2244,028	0,224
CA1-14	0-5	3934,464	0,393
	5-10	21,245	0,002
	10-15	3,248	< 0,001
	15-20	2406,830	0,241
	20-40	3504,648	0,350
	40-60	2070,346	0,207
	60-80	16,012	0,002
	80-100	4050,317	0,405
	Sed Córre Draga	1696,671	0,170
CA1-14 [III]	0-20	1335,554	0,134
	20-40	903,173	0,090
	40-60	1124,682	0,112
	60-80	505,519	0,051
	80-100	989,377	0,099
	100-120	779,082	0,078
	1,30 m	1224,069	0,122
	1,40 m	1803,575	0,180
CA1-20	0-20	29,709	0,003
	20-40	8,173	0,001
	40-60	< 0,011	< 0,001

CA1-21	0-20	71,060	0,007
	20-40	96,615	0,010
	40-60	81,844	0,008
	60-80	112,796	0,011
	80-100	65,945	0,007
	0-20 lixi	556,241	0,056
	20-40 lixi	515,669	0,052
	40-60 lixi	451,176	0,045
CA1-22	0-5	2,381	< 0,001
	5-10	5,028	0,001
	10-15	540,487	0,054
	20-40	329,134	0,033
	40-60	224,792	0,022
	60-80	301,140	0,030
	80-100	513,131	0,051
CA1-22 [III]	0-20	225,550	0,023
	20-40	37,312	0,004
	40-60	228,102	0,023
	60-80	230,260	0,023
	80-100	562,949	0,056
CA1-23	0-20	197,845	0,020
	20-40	130,896	0,013
	40-60	150,645	0,015
	60-80	162,013	0,016
	80-100	322,213	0,032
CA1-23 [III]	0-5	337,218	0,034
	5-10	232,573	0,023
	10-15	22,843	0,002
	15-20	67,985	0,007
	20-25	97,955	0,010
	25-30	58,953	0,006
	30-33	54,775	0,005
CA1-24 [III]	sed sup	578,189	0,058
CA1-26	1-1,2 m	89,741	0,009
CA1-26 [III]	0-5	396,454	0,040
	5-10	255,315	0,026
	10-15	-	-
	15-20	341,800	0,034
	20-25	169,494	0,017
	25-30	693,425	0,069
	30-35	662,827	0,066
	Nível Verm.	-	-
CA1-27	0-5	257,400	0,026
	5-10	216,471	0,022
	10-15	172,127	0,017

	15-20	141,040	0,014
	20-25	133,586	0,013
	25-30	156,646	0,016
	30-35	167,531	0,017
	35-40	171,014	0,017
	Rolhão	141,526	0,014
CA1-27 [III]	sed sup	79,015	0,008
CA1-27 A [III]	Draga	151,902	0,015
CA1-28	0-5	92,718	0,009
	5-10	93,467	0,009
	10-15	123,537	0,012
	15-20	116,817	0,012
	20-25	97,355	0,010
	25-30	100,762	0,010
	30-35	70,933	0,007
	35-37	105,523	0,011
	Rolhão	-	-
CA1-28 [III]	Draga	418,906	0,042
CA1-29	0-5	434,728	0,043
	5-10	137,961	0,014
	10-15	191,340	0,019
	15-20	54,641	0,005
	20-25	87,628	0,009
	25-30	19,335	0,002
	30-35	9,961	0,001
	35-40	29,619	0,003
	40-43	93,188	0,009
	Rolhão	70,608	0,007
CA1-29 [III]	0-5	116,637	0,012
	5-10	157,485	0,016
	10-15	9,406	0,001
	15-20	36,993	0,004
	20-25	59,709	0,006
	25-30	20,205	0,002
	30-35	31,026	0,003
	35-41	25,265	0,003
	Rolhão	-	-
	2,50m	629,457	0,063
	Sup	76,371	0,008
CA1-30	0-20	135,504	0,014
	20-40	129,699	0,013
CA1-31	0-20	161,094	0,016
	20-40	177,084	0,018
	40-60	145,863	0,015
CA1-32	0-10	411,224	0,041

	10-20	134,345	0,013
	20-30	234,106	0,023
	30-40	298,074	0,030
	40-50	494,332	0,049
	50-60	307,004	0,031
	60-70+	376,468	0,038
CA1-32 [III]	sed	193,711	0,019
CA1-33	0-20	129,761	0,013
	20-40	623,074	0,062
	40-60	1260,227	0,126
CA1-34	0-20	34,533	0,003
	20-40	43,632	0,004
	40-60	58,271	0,006
	60-80	38,958	0,004
	80-100	71,701	0,007
CA1-35	0-10	60,810	0,006
	10-20	42,278	0,004
	20-30	108,301	0,011
	30-40	115,870	0,012
	40-50	113,783	0,011
	50-60	64,055	0,006
	60-80	101,393	0,010
	80-100	49,865	0,005
CA1-35 [III]	0-20	19,955	0,002
	20-40	177,281	0,018
	40-60	52,510	0,005
	60-80	56,466	0,006
	80-100	99,027	0,010
CA1-47	0-5	18,491	0,002
	5-10	72,971	0,007
	10-15	14,149	0,001
	15-20	22,577	0,002
	20-25	7,002	0,001
	25-30	1,457	< 0,001
	30-35	0,475	< 0,001
	35-40	4,272	< 0,001
	40-42	44,968	0,004
	42-45	38,073	0,004
CA1-48 [III]	0-20	84,629	0,008
	20-40	124,734	0,012
	40-60	154,872	0,015
	60-80	156,373	0,016
	80-100	123,878	0,012
CA1-51 [III]	Sed	792,588	0,079
CA1-52 [III]	Core sup	414,029	0,041

CA1-53 [III]	0-5	733,916	0,073
	5-10	-	-
	10-15	70,169	0,007
	15-20	< 0,011	< 0,001
	20-25	4,134	< 0,001
	25-30	576,116	0,058
	30-35	1037,965	0,104
	35-40	248,908	0,025
	40-45	1336,520	0,134
	45-50	623,610	0,062
	Core	443,667	0,044
	Rolhão	1336,140	0,134
	sed sup	398,285	0,040
Vala CA1-56 [IV]	1-3 m	169,650	0,017
	1,0-1,6 m	109,625	0,011
CA1-57 [IV]	0-20	766,665	0,077
	20-40	987,772	0,099
	40-60	580,535	0,058
	60-80	630,154	0,063
	80-100	333,218	0,033
Área CA2			
CA2-10	Sulfatos	1124,552	0,112
CA2-10	0-20	2203,927	0,220
	20-40	1175,704	0,118
	40-60	826,920	0,083
	60-80	2081,528	0,208
	80-100	979,409	0,098
	2,4 m [III]	2915,304	0,292
	0-20 (lixí)	2292,664	0,229
	20-40 (lixí)	1960,086	0,196
	40-60 (lixí)	1649,473	0,165
	60-80 (lixí)	1180,427	0,118
	80-100 (lixí)	1743,210	0,174
CA2-10 A [III]	0-20	1767,327	0,177
	20-40	2620,236	0,262
	40-60	3743,432	0,374
Vala CA2- 10A [IV]	30-150 cm	1926,671	0,193
	1,8-2,5 m	796,704	0,080
CA2-11	0-20	341,081	0,034
	20-40	230,861	0,023
	40-60	373,719	0,037
CA2-12	0-20	1362,178	0,136
	20-40	1113,699	0,111
	40-60	1035,288	0,104
	60-80	1106,514	0,111

	80-100	1157,524	0,116
CA2-12 [III]	2,70m	457,565	0,046
CA2-55 [IV]	1,6-2m	1483,171	0,148
	2-2,60 m	302,335	0,030
Área CA3			
CA3-16	0-5	439,344	0,044
CA3-17	0-20	107,176	0,011
	20-40	192,257	0,019
	40-50+	131,611	0,013
CA3-18	0-20	797,497	0,080
	20-40	684,709	0,068
	40-60	358,417	0,036
	60-80	234,062	0,023
	80-100	473,970	0,047
CA3-18 [III]	1,20-1,50m	326,330	0,033
CA3-36	Sup	348,303	0,035
CA3-37	0-10	506,073	0,051
	10-20	320,205	0,032
	20-40	387,989	0,039
	40-50	449,284	0,045
CA3-38	0-10	139,458	0,014
	10-20	173,394	0,017
	20-30	151,134	0,015
	30-40	62,368	0,006
	40-50	116,592	0,012
	50-60	125,219	0,013
	60-80	116,791	0,012
	80-100	97,758	0,010
CA3-38 [III]	0-20	< 0,011	< 0,001
	20-40	32,036	0,003
	40-60	31,250	0,003
	60-80	64,422	0,006
	80-100	111,180	0,011
	100-120	125,958	0,013
CA3-39		313,084	0,031

Tabela AI.32: Teores em sulfatos obtidos para as águas intersticiais recolhidas nas aluviões da área em estudo. (campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; Prof. - Profundidade)

Amostras	Prof. (cm)	Sulfatos (mg.l ⁻¹)
Área CA0		
CA0-2A	0-5	0,104
	5-10	0,031
	10-15	0,030
CA0-3A	0-5	0,444
	5-10	0,085
	10-15	0,034
Área CA1		
CA1-13	40-60	1,598
CA1-14	0-5	5,587
	5-10	5,176
	10-15	5,178
	15-20	5,156
	20-40	5,317
	40-60	5,324
	80-100	10,327
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	4,356
CA1-14 [III]	0-20	10,397
	20-40	10,404
	40-60	10,294
	80-100	10,212
CA1-22	0-5	1,056
	5-10	0,284
	10-15	0,119
	15-20	0,107
	20-40	1,013
	40-60	0,085
	60-80	6,415
CA1-22 [III]	0-20	0,166
	20-40	0,101
	40-60	0,187
	60-80	0,948
	80-100	0,163
CA1-23	60-80	2,606
	80-100	2,522
CA1-23 [III]	0-5	3,926
	5-10	3,206
	10-15	0,794
	15-20	0,406
	20-25	0,216

	25-30	0,221
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	2,210
CA1-26 [III]	0-5	4,018
	5-10	4,130
	10-15	3,929
	15-20	3,593
	20-25	4,032
	25-30	3,134
	30-35	2,743
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	1,363
CA1-27 [III]	20-25	0,166
	40-43	2,546
CA1-27A [III]		2,556
CA1-28	0-5	2,539
CA1-28 Draga [III]		1,130
CA1-29	0-5	0,487
	35-40	0,401
CA1-29 [III]	0-5	0,799
	5-10	0,154
	15-20	0,142
	30-35	1,716
	35-41	0,144
CA1-29 Sup [III]	0-10	2,633
CA1-32 Sed [III]	0-20	9,341
CA1-32	20-30	5,374
	30-40	1,169
	50-60	1,841
	60-70+	6,442
CA1-35	80-100	3,758
CA1-35 [III]	60-80	0,521
	80-100	1,865
CA1-47	35-40	0,672
CA1-48	20-40	0,773
	40-60	0,802
	60-80	0,862
CA1-51 Sed [III]		6,374
CA1-52 Core Sup [III]		1,296
CA1-53 [III]	0-5	1,032
	5-10	1,001
	10-15	1,039
	15-20	0,938
	20-25	0,938
	25-30	0,888
	30-35	0,096
	35-40	0,146

	40-45	0,130
	45-50	0,998
Core CA1-53 [III]		0,170
CA1-53 + Sed Sup [III]		0,161
CA1-53 Core Rolhao [III]		0,660
CA1-53 Core [III]	0-10	0,974
CA1-57 [IV]	60-80	2,344
	80-100	2,021
Área CA2		
CA2-10	40-60	5,254
	60-80	5,251
CA2-12	0-20	4,915
	20-40	4,812
	40-60	4,826
	60-80	9,785
	80-100	9,619
	270,000	8,376
CA2-55 Vala [IV]	160-200	4,925
	200-260	4,932
Área CA3		
CA3-36 Sup	0-5	7,025
CA3-38	0-20	7,034
	20-30	6,358
	30-40	3,310
	40-50	5,695
	50-60	5,729
	60-80	3,778
	80-100	3,055
CA3-38 [III]	0-20	0,950
	20-40	0,557
	40-60	0,862
	60-80	0,156
	80-100	1,282
	120,000	1,529

Tabela AI.33: Teores em sulfatos obtidos para os estratos resultantes do ensaio de lixiviação realizado em algumas das aluviões da área em estudo. (campanha de Março de 2014 [III]; Prof. - Profundidade)

Amostras	Prof. (cm)	Sulfatos (mg.l ⁻¹)				
		1 hora	3 horas	18 horas	24 horas	48 horas
Área CA0						
CA0-1A	0-10	11,429	0,011	0,048	0,074	0,047
	10-20	9,820	0,052	0,077	0,776	0,036
CA0-2B	0-20	8,777	0,036	0,062	0,083	0,049
	20-40	37,516	0,083	0,047	0,463	0,077
	40-60	9,578	0,023	0,474	0,071	0,025
CA0-3A	0-5	8,588	0,090	0,511	0,110	0,112
	10-15	11,699	0,055	0,059	0,080	0,065
Área CA1						
CA1-14	0-5	248,822	3,236	3,425	3,036	2,395
	5-10	191,005	2,308	2,144	2,080	2,558
	10-15	63,152	0,684	0,673	0,598	0,558
	15-20	77,572	0,778	0,707	0,593	0,502
	20-40	156,750	1,816	1,753	1,588	1,268
	40-60	93,760	0,985	1,063	0,782	0,835
	60-80	236,066	2,789	3,098	2,574	2,928
	80-100	244,913	2,838	2,858	2,454	2,890
CA1-21 (lixivi)	0-20	17,852	0,137	0,198	0,169	0,144
	20-40	20,909	0,133	1,190	0,258	0,152
	40-60	19,027	0,115	1,132	0,138	0,252
CA1-22	0-5	23,208	0,212	0,272	0,270	0,292
	10-15	16,586	0,214	0,128	0,133	0,120
	20-40	76,717	0,215	0,336	0,271	0,323
CA1-23	20-40	13,276	0,080	0,265	0,119	0,121
CA1-32	0-10	26,682	0,252	0,228	0,358	0,338
	10-20	20,767	0,216	0,199	0,229	0,230
	20-30	48,252	0,421	0,654	0,535	0,587
	30-40	23,687	0,160	1,264	0,218	0,270
	40-50	38,760	0,388	0,542	0,424	0,366
	50-60	25,110	0,164	2,419	0,282	0,308
	60-70+	26,402	0,148	0,241	0,152	0,265
CA1-33	0-20	23,032	0,176	1,960	0,244	0,238
	20-40	98,844	0,906	1,222	0,906	1,050
	40-60	230,051	2,540	2,904	2,692	2,954
Área CA2						
CA2-10	0-20	364,906	4,498	4,619	4,110	4,554
	20-40	200,790	1,686	1,982	1,952	1,880
	40-60	192,004	1,424	1,748	1,488	1,463
	60-80	229,421	1,943	2,706	2,450	2,796
	80-100	229,610	2,611	3,238	2,449	2,972

CA2-10 (lixivi)	0-20	373,466	4,330	4,570	4,001	4,450
	20-40	121,396	1,039	1,283	0,962	1,214
	40-60	235,769	2,740	2,527	2,606	2,992
	60-80	211,470	2,161	2,408	2,114	2,587
	80-100	271,565	2,932	3,124	2,772	1,038
CA2-10A [III]	0-20	116,836	1,324	1,414	1,112	1,314
	20-40	249,128	3,149	3,586	3,180	3,544
	40-60	189,232	2,666	2,896	2,820	3,226
CA2-12	0-20	270,314	2,996	2,033	2,755	3,084
	20-40	205,003	2,162	1,520	1,814	2,281
	40-60	139,934	1,300	2,346	1,283	1,250
	60-80	161,250	1,585	1,772	1,699	2,072
	80-100	155,618	1,710	1,937	1,685	1,735
Área CA3						
CA3-18	0-20	90,370	1,076	0,998	0,989	1,070
	20-40	116,480	0,702	0,517	0,542	0,595
	40-60	56,186	0,235	0,480	0,424	0,468
	60-80	40,792	0,181	0,168	0,221	0,230
	80-100	54,239	0,307	0,329	0,338	0,342

Tabela AI.34: Percentagens por fracção > 63µm consideradas, obtidas para as aluviões da área em estudo.

(campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; Prof. - Profundidade)

		Fracção > 63 µm (%)									
Amostra	Prof. (cm)	>2,0 mm	>1,40 mm	>1,00 mm	>710 µm	>500 µm	>355 µm	>250 µm	>180 µm	>125 µm	>90 µm
Área CA0											
CA0-1A	0-10	-	0,77	0,70	1,44	3,80	8,54	5,71	11,78	26,96	23,26
	10-20	9,03	2,38	1,16	0,92	1,52	1,39	0,41	0,34	0,43	0,23
CA0-2A	0-5	0,00	1,52	2,69	2,48	8,56	19,54	8,16	4,38	2,22	0,82
	5-10	22,70	4,53	3,10	2,78	9,22	22,26	8,80	4,88	2,63	0,86
	10-15	34,13	5,40	3,54	2,76	8,63	22,23	8,84	5,44	2,83	0,88
CA0-2B	0-20	-	-	-	0,03	0,14	0,91	2,30	7,59	22,62	18,73
	20-40	-	0,02	0,04	0,08	0,34	1,16	2,16	7,40	20,23	15,97
	40-60	-	0,02	0,15	0,31	0,95	3,04	3,97	9,21	19,45	14,09
CA0-3A	0-5	27,22	7,29	4,78	3,30	5,55	15,07	9,21	6,34	6,41	2,88
	5-10	10,15	2,13	1,61	1,68	3,69	13,30	10,97	11,91	15,83	7,38
	10-15	40,81	5,30	3,49	2,55	4,04	10,03	6,92	6,70	8,02	3,13
Área CA1											
CA1-13	0-20	-	-	0,02	0,01	0,04	0,06	0,06	0,15	1,02	1,77
	20-40	-	0,11	0,15	0,62	1,29	1,72	1,53	2,73	14,10	19,77
	40-60	-	0,05	0,44	0,86	1,58	1,65	1,63	4,76	17,79	18,27
	60-80	0,07	0,15	0,24	0,55	1,04	2,10	3,38	9,37	20,11	14,87
	80-100	0,17	0,43	0,66	1,13	2,56	4,64	5,89	11,27	19,20	12,30
CA1-13 [III]	2,5 m	3,53	1,07	4,11	2,70	6,42	12,29	12,37	15,27	16,35	6,80
CA1-14	0-5	-	0,02	0,11	0,17	0,35	0,67	1,73	5,84	16,70	14,48
	5-10	0,07	0,13	0,16	0,28	0,65	1,74	2,87	6,93	17,38	13,65

	10-15	0,07	0,14	0,22	0,46	1,15	2,51	3,97	9,69	26,39	19,23
	15-20	0,24	0,32	0,42	0,55	1,29	2,52	3,67	9,11	29,39	17,21
	20-40	0,24	0,19	0,35	0,29	1,35	2,63	3,52	7,42	19,35	16,49
	40-60	0,05	0,06	0,11	0,16	0,43	0,75	0,91	2,01	5,69	5,00
	60-80	0,00	0,05	0,08	0,20	0,37	0,66	0,84	1,98	5,38	4,65
	80-100	0,06	0,11	0,15	0,21	0,58	1,40	1,94	5,05	15,43	12,42
CA1-14	Sed. Córrego Draga	-	0,03	0,00	0,04	0,09	0,12	0,20	0,59	2,55	2,78
CA1-14 [III]	0-20	-	0,01	0,01	0,02	0,07	0,12	0,37	1,41	9,91	18,05
	20-40	0,11	0,01	0,02	0,04	0,11	0,18	0,40	1,30	5,92	9,11
	40-60	0,02	0,03	0,03	0,06	0,20	0,41	0,77	2,40	10,75	16,08
	60-80	-	0,05	0,11	0,11	0,20	0,40	0,81	3,11	11,71	11,64
	80-100	-	0,06	0,14	0,22	0,34	0,60	0,83	2,23	10,12	14,73
	100-120	0,05	0,08	0,08	0,08	0,14	0,33	0,65	3,12	12,35	10,33
CA1-20	0-20	0,99	0,76	0,25	0,22	0,21	0,19	0,27	1,29	9,25	13,15
	20-40	-	0,00	0,01	0,00	0,02	0,06	0,53	4,42	22,58	20,76
	40-60	-	-	-	0,01	0,01	0,03	0,22	1,45	6,98	8,00
CA1-21	0-20	-	-	0,01	0,01	0,05	0,16	0,52	2,09	10,44	14,72
	20-40	-	0,01	0,06	0,12	0,37	1,52	4,22	9,85	18,62	12,68
	40-60	-	-	0,03	0,02	0,11	0,32	0,74	1,82	7,35	8,95
	60-80	-	-	0,08	0,09	0,12	0,36	0,96	3,02	8,25	8,28
	80-100	1,11	0,08	0,14	0,12	0,18	0,29	0,64	2,24	7,94	8,70
CA1-21 lixi	0-20	-	0,16	0,11	0,15	0,68	2,91	6,35	10,68	15,91	9,57
	20-40	-	-	-	0,01	0,02	0,14	0,35	1,09	6,19	8,73
	40-60	-	-	0,03	0,05	0,17	0,88	2,64	6,79	15,31	12,16
CA1-22	0-5	-	-	0,05	0,15	0,44	1,89	3,77	5,01	8,70	10,21
	5-10	0,13	0,38	0,44	0,78	2,68	8,38	11,01	9,37	11,19	8,73
	10-15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	15-20	1,01	0,50	0,29	0,39	0,92	2,65	4,11	5,55	9,56	7,19
	20-40	-	-	0,01	0,02	0,04	0,19	0,56	1,31	5,14	5,36
	40-60	0,06	0,02	0,04	0,05	0,11	0,43	1,34	3,21	7,80	8,42
	60-80	1,14	0,40	0,51	0,76	1,88	3,03	3,12	6,12	12,72	9,80
	80-100	2,49	0,41	0,54	0,70	1,31	2,46	4,44	11,24	29,69	13,63
CA1-22 [III]	0-20	0,04	0,20	0,20	0,22	0,38	0,84	1,42	3,85	15,92	14,10
	20-40	-	0,08	0,07	0,12	0,27	0,87	1,91	4,38	9,62	6,21
	40-60	3,13	0,22	0,13	0,24	0,51	1,08	1,88	3,89	11,78	10,37
	60-80	0,67	0,11	0,21	0,23	0,31	0,47	1,14	4,38	9,86	6,94
	80-100	1,46	0,79	0,99	1,28	1,92	3,14	5,10	9,89	14,97	10,05
CA1-23	0-20	-	-	0,02	0,04	0,13	0,35	0,55	1,46	5,56	7,29
	20-40	-	-	0,01	0,02	0,07	0,27	0,49	1,15	5,37	9,65
	40-60	0,04	0,03	0,03	0,14	0,40	0,64	0,75	1,55	5,59	9,57
	60-80	-	0,01	0,05	0,16	0,59	1,46	1,78	3,99	10,76	9,31
	80-100	-	-	0,10	0,14	0,45	1,06	1,59	3,89	11,76	12,01
CA1-23 [III]	0-5	-	-	0,03	0,11	0,17	0,40	0,52	0,53	0,68	0,81
	5-10	-	-	0,05	0,07	0,14	0,35	0,60	1,29	6,22	10,53
	10-15	-	-	0,09	0,09	0,25	0,72	1,99	5,63	17,73	19,67
	15-20	-	0,03	0,05	0,29	0,84	2,02	2,97	5,12	13,74	17,67
	20-25	-	-	0,07	0,06	0,13	0,24	0,40	0,87	2,66	5,21
	25-30	-	-	0,08	0,18	0,55	1,14	1,39	2,78	8,41	8,65
	30-33	-	0,03	0,12	0,33	0,95	2,05	2,83	6,43	18,29	15,87
CA1-24 [III]	Sed Sup	5,56	3,63	4,21	4,51	5,62	5,33	3,48	3,68	5,16	3,56
CA1-26	Sed.	34,99	5,06	5,72	6,98	9,10	8,76	5,87	3,77	2,92	1,68
CA1-27	0-5	-	0,08	0,07	0,06	0,11	0,13	0,16	0,29	1,91	4,44
	20-25	-	-	0,06	0,05	0,04	0,08	0,11	0,25	1,82	4,55
CA1-27 [III]	Sed Sup	-	-	-	-	0,02	0,04	0,06	0,46	4,76	10,70

CA1-27A [III]	Draga	44,25	8,02	5,63	4,16	4,66	4,42	3,18	4,41	6,31	3,00
CA1-28	10-15	-	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,10	0,68	3,85	6,76
CA1-28 [III]	Draga	1,40	5,74	5,70	4,17	2,71	2,15	1,68	2,75	11,16	10,30
CA1-29	0-5	4,85	0,67	0,37	0,49	0,98	1,42	2,46	5,13	12,26	10,79
	20-25	-	-	-	-	0,02	0,03	0,07	0,29	1,69	3,68
	43-46 (Rolhão)	-	0,03	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,17	1,32	4,39
CA1-29 [III]	0-5	-	0,08	-	0,03	0,04	0,08	0,13	0,32	2,09	7,10
	5-10	-	-	0,06	0,03	0,03	0,02	0,03	0,06	0,80	6,25
	10-15	-	-	0,07	0,04	0,08	0,03	0,05	0,11	0,98	4,65
	15-20	-	-	-	-	0,03	0,03	0,03	0,04	0,13	0,39
	20-25	-	-	0,08	0,03	0,04	0,05	0,07	0,15	0,87	3,05
	25-30	0,06	0,03	0,07	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,17	1,08
	30-35	-	0,02	0,04	0,02	0,03	0,04	0,07	0,18	1,09	3,53
	35-41	0,17	0,10	0,09	0,08	0,06	0,06	0,07	0,17	1,33	3,69
	41-46 Rolhão	-	-	-	0,01	0,02	0,05	0,33	4,42	20,27	15,63
	2,50 m Sup	14,54	3,98	4,20	4,24	4,16	3,15	3,32	5,02	11,41	9,14
CA1-30	0-20	1,10	0,48	0,32	0,38	0,34	0,43	0,46	0,77	3,00	5,57
	20-40	0,19	0,04	0,10	0,12	0,19	0,17	0,14	0,24	1,00	2,20
CA1-31	0-20	-	-	0,02	0,02	0,05	0,12	0,12	0,17	0,37	0,93
	20-40	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,14	1,06
	40-60	-	-	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,06	0,33	1,78
CA1-32	0-10	1,81	1,34	3,76	4,84	6,24	6,71	4,31	5,29	9,23	7,35
	10-20	0,37	0,82	1,23	2,11	3,53	4,38	3,18	7,48	8,01	7,31
	20-30	0,03	0,31	0,51	0,89	1,74	2,23	1,83	3,01	8,55	7,96
	30-40	0,14	0,25	0,39	0,60	1,00	1,17	0,98	1,86	7,01	9,15
	40-50	0,77	0,50	0,94	1,48	2,63	3,53	3,08	4,58	10,14	9,84

	50-60	1,34	1,86	2,64	3,68	4,44	4,97	4,71	6,15	11,12	9,08
	60-70+	0,66	1,33	2,26	4,27	7,47	8,42	5,88	5,67	8,65	7,16
CA1-32 [III]	Sed	4,72	1,56	2,00	1,03	1,02	0,89	0,51	0,50	0,66	0,34
CA1-33	20-40	1,47	0,57	0,70	0,79	1,52	2,61	3,95	4,76	6,05	5,29
CA1-34	20-40	0,03	0,00	0,03	0,06	0,19	0,84	1,65	6,26	18,24	14,46
	40-60	0,02	0,02	0,06	0,08	0,34	1,66	2,55	6,35	17,04	13,00
	60-80	-	0,02	0,01	0,03	0,23	1,41	2,45	6,48	17,20	13,15
	80-100	-	0,02	0,01	0,03	0,10	0,65	1,47	5,27	18,54	14,76
CA1-35	0-10	-	-	0,02	0,01	0,08	0,24	0,83	4,99	23,58	20,75
	10-20	-	-	0,02	0,02	0,04	0,27	1,43	7,51	22,71	16,80
	20-30	-	-	0,01	0,01	0,04	0,15	0,56	3,36	18,53	20,64
	30-40	-	-	0,01	0,02	0,01	0,06	0,31	2,39	14,39	19,27
	40-50	-	-	-	0,01	0,03	0,18	0,66	3,53	16,26	18,53
	50-60	-	-	0,05	0,03	0,03	0,13	0,56	3,68	17,01	17,87
	60-80	-	-	-	0,03	0,02	0,12	0,68	5,83	25,85	15,72
	80-100	-	-	0,02	0,02	0,04	0,11	0,54	4,43	20,40	18,53
CA1-35 [III]	0-20	-	0,01	0,06	0,07	0,07	0,23	0,79	3,63	17,77	20,62
	20-40	-	0,01	0,02	0,03	0,06	0,20	0,75	3,80	19,40	17,35
	40-60	-	-	-	0,02	0,04	0,23	0,88	4,61	17,98	17,07
	60-80	-	-	0,02	0,02	0,05	0,11	0,46	3,82	20,20	17,59
	80-100	-	-	-	0,01	0,01	0,05	0,29	3,30	19,89	19,60
CA1-47	5-10	-	0,03	0,04	0,02	0,05	0,08	0,18	0,59	1,39	1,69
	30-35	-	-	0,05	0,02	0,02	0,01	0,05	0,32	2,86	4,88
	42-45 (Rolhão)	0,50	0,01	0,06	0,06	0,10	0,25	0,44	1,71	6,31	8,05
CA1-48 [III]	0-20	-	0,03	0,02	0,06	0,25	0,97	2,37	7,13	17,68	12,26
	20-40	-	0,01	0,04	0,07	0,24	0,54	0,88	3,52	13,92	14,45
	40-60	-	-	0,02	0,04	0,07	0,13	0,26	1,15	8,32	14,55

	60-80	-	-	-	0,06	0,08	0,16	0,66	3,54	19,89	19,91
	80-100	-	-	0,03	0,08	0,32	1,32	2,76	9,23	23,50	16,94
CA1-51 [III]	0-20 Sed	41,94	6,67	4,24	3,60	4,91	5,57	4,66	4,16	5,48	3,44
CA1-52 [III]	Core Sup	3,19	2,69	3,27	3,45	4,69	7,62	9,36	11,22	10,79	6,34
Vala CA1-56 [IV]	1-3m	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,14	1,66	11,72	4,36
	1,0-1,6m	-	0,01	0,08	0,24	0,32	0,27	0,18	0,16	0,81	2,92
CA1-57 [IV]	0-20	-	0,06	0,13	0,13	0,19	0,44	1,32	4,14	11,87	9,68
	20-40	-	-	0,15	0,22	0,39	1,08	2,71	10,23	24,29	14,61
	40-60	0,07	0,01	0,05	0,11	0,24	0,52	1,63	10,42	28,63	16,91
	60-80	2,11	0,30	0,25	0,20	0,20	0,28	0,62	3,68	16,95	14,46
	80-100	0,22	0,12	0,19	0,38	0,69	1,52	2,75	6,20	20,12	16,21
Área CA2											
CA2-10	40-60	22,35	2,05	2,94	3,39	3,54	3,42	3,53	4,11	6,67	7,32
	60-80	9,78	1,63	1,61	1,69	2,42	3,69	7,00	11,37	14,04	8,38
	80-100	2,58	1,57	1,92	2,40	3,51	4,71	6,81	9,47	11,62	7,39
CA2-10(lixi)	0-20	8,54	1,47	1,34	1,35	1,56	1,75	2,25	3,30	5,33	5,66
	20-40	1,36	1,22	1,95	2,22	3,40	6,12	10,91	14,25	15,62	8,84
	60-80	0,93	0,68	0,72	0,77	0,94	1,24	1,80	2,34	3,07	2,56
	80-100	1,33	0,74	0,75	0,80	0,81	0,85	1,07	1,27	1,42	1,23
CA2-10A [III]	0-20	1,63	0,34	0,45	0,71	0,93	1,02	1,06	1,32	3,21	5,19
	20-40	4,39	0,80	0,99	1,00	1,18	1,44	1,69	2,02	4,25	6,23
	40-60	0,04	0,06	0,09	0,20	0,34	0,25	0,40	0,55	1,61	2,61
Vala CA2- 10A [IV]	30-150cm	4,62	1,42	1,27	1,19	1,28	1,46	1,61	1,51	2,12	2,87
	1,8-2,5m	16,03	1,92	1,52	1,31	1,57	2,05	2,80	3,68	7,05	8,00
CA2-11	0-20	2,05	0,23	0,20	0,28	0,45	0,65	0,80	1,15	2,97	4,09
	40-60	-	0,07	0,11	0,14	0,17	0,15	0,16	0,62	5,09	7,37
	40-60	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02

CA2-12	60-80	0,19	0,08	0,11	0,13	0,23	0,30	0,34	0,53	1,04	0,82
	80-100	0,02	0,05	0,09	0,08	0,13	0,16	0,20	0,22	0,28	0,26
CA2-12 [III]	2,70 m	-	-	0,13	0,05	0,17	0,39	0,72	1,98	7,08	6,86
CA2-55 [IV]	1,6-2m	6,79	1,74	1,27	1,23	1,19	1,32	1,53	2,29	8,02	13,93
	2-2,60m	0,24	0,12	0,25	0,25	0,33	0,40	0,61	1,92	10,38	10,32
Área CA3											
CA3-16	SED	-	3,81	3,96	3,36	3,92	4,76	4,61	5,97	15,40	11,97
CA3-17	0-20	-	0,95	1,06	0,77	0,68	0,59	0,58	1,46	8,79	10,06
	20-40	-	0,25	0,65	0,42	0,33	0,29	0,33	1,42	9,15	9,90
	40-50+	-	1,12	1,03	0,82	0,64	0,47	0,40	1,36	8,18	9,15
CA3-18	40-60	0,57	0,45	0,31	0,38	0,53	0,66	0,77	1,37	4,27	5,12
	60-80	5,25	0,81	0,75	1,05	1,58	2,94	6,26	9,96	17,68	12,88
	80-100	0,59	0,36	0,53	0,57	0,77	1,42	2,72	4,89	10,83	12,04
CA3-18 [III]	(1,2 - 1,3 - 1,5 m)	0,94	1,04	1,00	2,04	3,11	4,26	6,68	8,00	13,77	11,74
CA3-36		3,39	0,98	1,14	1,27	1,58	1,60	1,46	2,04	6,06	5,75
CA3-37	0-10	0,85	0,16	0,15	0,17	0,25	0,32	0,47	0,99	5,18	7,71
	10-20	9,60	1,12	1,53	1,80	3,04	3,85	3,41	4,48	0,53	6,40
	20-30	9,14	0,90	0,93	0,74	0,84	0,81	0,69	1,14	5,60	7,18
	40-50	13,16	2,43	1,97	1,64	1,52	1,39	1,22	1,58	5,02	6,46
CA3-38	0-10	0,03	0,04	0,03	0,06	0,14	0,50	1,07	2,71	8,69	11,36
	10-20	0,05	-	0,05	0,13	0,31	1,13	2,92	6,64	18,26	15,19
	20-30	0,00	0,03	0,09	0,10	0,22	0,57	1,20	3,72	15,55	16,47
	30-40	0,00	0,06	0,07	0,13	0,23	0,35	0,56	1,82	10,98	2,54
	50-60	0,04	0,02	0,04	0,05	0,12	0,23	0,66	3,74	21,39	22,51
	60-80	-	0,01	0,05	0,08	0,13	0,28	0,58	2,64	17,73	21,28
	80-100	-	-	-	0,06	0,14	0,29	0,84	3,50	16,20	18,67
CA3-38 [III]	0-20	0,17	0,22	0,19	0,11	0,11	0,11	0,68	8,92	37,72	18,96

	20-40	0,40	0,25	0,15	0,12	0,10	0,11	0,38	2,61	13,14	11,71
	40-60	-	0,10	0,19	0,09	0,09	0,13	0,55	4,63	24,67	19,34
	60-80	-	0,03	0,14	0,16	0,23	0,31	0,92	5,86	27,63	21,27
	80-100	0,32	0,19	0,20	0,17	0,20	0,46	1,71	6,01	16,52	11,68
	1,20 m	-	0,01	0,02	0,03	0,09	0,34	1,33	5,22	15,94	15,86
CA3-39	Esc. Grotta Seca	0,05	0,02	0,04	0,09	0,13	0,11	0,09	0,14	1,59	5,52

Tabela AI.35: Percentagens de areia, silte e argila obtidos para as aluviões e respetiva classificação segundo o diagrama triangular de *Shepard*. (campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; Prof. - Profundidade)

Amostra	Prof. (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Diagrama Triangular de <i>Shepard</i>
Área CA0					
CA0-1A	0-10	86,42	8,81	4,78	Areia Siltosa
	10-20	31,20	67,79	1,01	Silte Arenoso
CA0-2A	0-5	51,03	29,20	19,78	Areia Siltosa
	5-10	90,36	5,09	4,55	Areia
	10-15	87,62	4,79	7,59	Areia
CA0-2B	0-20	67,63	13,04	19,33	Areia
	20-40	60,26	25,53	14,22	Areia Siltosa
	40-60	60,69	22,89	16,41	Areia Siltosa
CA0-3A	0-5	90,54	6,11	3,35	Areia
	5-10	83,34	11,07	5,58	Areia
	10-15	93,58	3,93	2,49	Areia
Área CA1					
CA1-13	0-20	40,84	37,45	21,71	Areia Siltosa
	20-40	59,10	24,06	16,84	Areia Siltosa
	40-60	61,99	25,11	12,90	Areia Siltosa
	60-80	63,99	21,70	14,31	Areia Siltosa
	80-100	67,75	20,85	11,40	Areia Siltosa
CA1-13 [III]	2,5m	83,08	11,77	5,15	Areia
CA1-14	0-5	49,50	34,43	16,08	Areia Siltosa
	5-10	56,61	28,79	14,60	Areia Siltosa
	10-15	77,44	16,43	6,13	Areia
	15-20	75,10	16,25	8,65	Areia
	20-40	66,30	23,96	9,74	Areia Siltosa
	40-60	20,17	41,37	38,46	Areia Siltosa
	60-80	18,54	44,28	37,19	Silte Argiloso
	80-100	45,12	31,78	23,10	Areia Siltosa
Sed Córr Draga	9,18	43,43	47,39	Silte Argiloso	
CA1-14 [III]	0-20	36,59	44,33	19,09	Silte Arenoso
	20-40	26,45	46,41	27,14	Silte Argiloso
	40-60	42,62	39,10	18,28	Areia Siltosa
	60-80	36,35	40,45	23,20	Silte Arenoso
	80-100	40,74	40,27	18,99	Areia Siltosa
	100-120	35,87	40,23	23,90	Silte Arenoso
CA1-20	0-20	87,78	7,72	4,50	Areia

	20-40	61,58	25,14	13,29	Areia Siltosa
	40-60	43,58	37,25	19,18	Areia Siltosa
CA1-21	0-20	41,66	30,68	27,66	Areia Siltosa
	20-40	56,28	21,19	22,53	Areia Argilosa
	40-60	27,92	10,65	61,43	Areia Arenosa
	60-80	28,88	45,51	25,61	Silte Arenoso
	80-100	30,50	40,64	28,87	Silte Arenoso
	0-20 lixi	54,68	28,52	16,80	Areia Siltosa
	20-40 lixi	25,61	2,01	72,38	Argila Arenosa
	40-60 lixi	46,62	32,43	20,94	Areia Siltosa
CA1-22	0-5	40,29	31,75	27,96	Areia Siltosa
	5-10	59,62	23,06	17,32	Areia Siltosa
	10-15	86,79	7,38	5,84	Areia
	15-20	38,88	34,83	26,29	Areia Siltosa
	20-40	47,99	39,80	12,21	Areia Siltosa
	40-60	29,50	38,84	31,66	Areia Siltosa
	60-80	46,55	30,96	22,49	Areia Siltosa
	80-100	73,65	15,42	10,94	Areia Siltosa
CA1-22 [III]	0-20	43,65	10,71	45,64	Areia Arenosa
	20-40	27,37	37,26	35,37	Silte Argiloso
	40-60	38,93	31,29	29,78	Areia Siltosa
	60-80	29,16	42,20	28,64	Silte Arenoso
	80-100	56,54	28,22	15,24	Areia Siltosa
CA1-23	0-20	63,48	24,48	12,04	Areia Siltosa
	20-40	27,16	45,14	27,70	Silte Argiloso
	40-60	31,86	44,42	23,71	Silte Arenoso
	60-80	35,53	40,77	23,70	Silte Arenoso
	80-100	42,00	28,78	29,22	Areia Arenosa
CA1-23 [III]	0-5	5,13	34,18	60,69	Areia Siltosa
	5-10	29,30	46,12	24,58	Silte Arenoso
	10-15	60,72	28,14	11,14	Areia Siltosa
	15-20	57,36	28,43	14,21	Areia Siltosa
	20-25	3,59	68,15	28,27	Silte Argiloso
	25-30	32,51	44,52	22,98	Silte Arenoso
	30-33	60,36	26,81	12,82	Areia Siltosa
CA1-24 [III]	sed sup	48,40	33,91	17,69	Areia Siltosa
CA1-26	1-1,2 m	86,62	7,83	5,55	Areia
CA1-26 [III]	0-5	37,24	34,87	27,89	Areia Siltosa
	5-10	26,15	37,98	35,87	Silte Argiloso
	10-15	65,71	22,48	11,80	Areia Siltosa
	15-20	24,94	37,53	37,53	Silte Argiloso
	20-25	30,58	40,19	29,23	Silte Arenoso
	25-30	28,21	43,87	27,92	Silte Arenoso

	30-35	14,88	36,07	49,05	Argila Siltosa
	Nível Verm.	35,40	48,32	16,28	Silte Arenoso
CA1-27	0-5	14,16	78,92	6,92	Silte
	5-10	20,59	38,38	41,04	Argila Siltosa
	10-15	36,06	26,56	37,38	Areia Siltosa
	15-20	7,42	11,19	81,39	Argila
	20-25	14,04	45,39	40,57	Silte Argiloso
	25-30	15,67	44,60	39,74	Silte Argiloso
	30-35	13,07	41,97	44,96	Argila Siltosa
	35-40	13,68	41,97	44,35	Argila Siltosa
	Rolhão	9,69	44,89	45,42	Argila Siltosa
CA1-27 [III]	sed sup	25,98	38,77	35,25	Silte Argiloso
CA1-27 A [III]	Draga	90,00	5,93	4,07	Areia
CA1-28	0-5	35,58	36,71	27,71	Silte Arenoso
	5-10	24,65	41,72	33,63	Silte Argiloso
	10-15	20,52	76,69	2,79	silte
	15-20	12,80	45,96	41,23	Silte Argiloso
	20-25	25,63	41,59	32,78	Silte Argiloso
	25-30	25,36	40,66	33,97	Silte Argiloso
	30-35	58,83	23,04	18,13	Areia Siltosa
	35-37	28,88	36,30	34,82	Silte Argiloso
	Rolhão	28,19	34,11	37,70	Argila Siltosa
CA1-28 [III]	Draga	55,11	28,40	16,49	Areia Siltosa
CA1-29	0-5	51,36	31,34	17,29	Areia Siltosa
	5-10	59,95	27,62	12,43	Areia Siltosa
	10-15	70,37	17,00	12,63	Areia Siltosa
	15-20	23,26	47,71	29,03	Silte Argiloso
	20-25	13,89	51,84	34,27	Silte Argiloso
	25-30	12,90	51,72	35,39	Silte Argiloso
	30-35	18,84	44,84	36,32	Silte Argiloso
	35-40	13,99	50,72	35,29	Silte Argiloso
	40-43	11,71	50,67	37,61	Silte Argiloso
	Rolhão	13,74	53,43	32,84	Silte Argiloso
CA1-29 [III]	0-5	20,50	47,33	32,17	Silte Argiloso
	5-10	18,28	52,00	29,72	Silte Argiloso
	10-15	12,96	51,89	35,15	Silte Argiloso
	15-20	2,04	65,12	32,84	Silte Argiloso
	20-25	9,27	45,37	45,37	Silte Argiloso
	25-30	5,37	56,03	38,61	Silte Argiloso
	30-35	12,29	45,29	42,43	Silte Argiloso
	35-41	11,65	45,06	43,29	Silte Argiloso
	Rolhão	36,01	37,97	26,02	Silte Arenoso
	2,50m	70,22	19,41	10,37	Areia Siltosa

	Sup	46,81	34,23	18,96	Areia Siltosa
CA1-30	0-20	21,32	42,69	35,99	Silte Argiloso
	20-40	9,53	48,76	41,71	Silte Argiloso
CA1-31	0-20	4,87	52,99	42,14	Silte Argiloso
	20-40	6,60	53,11	40,28	Silte Argiloso
	40-60	10,93	49,42	39,65	Silte Argiloso
CA1-32	0-10	58,32	23,91	17,76	Areia Siltosa
	10-20	43,43	37,12	19,45	Areia Siltosa
	20-30	43,88	22,57	33,55	Areia Argilosa
	30-40	30,50	41,82	27,67	Silte Arenoso
	40-50	46,64	20,76	32,60	Areia Argilosa
	50-60	58,47	25,94	15,60	Areia Siltosa
	60-70+	58,67	26,92	14,42	Areia Siltosa
CA1-32 [III]	sed	13,80	47,82	38,37	Silte Argiloso
CA1-33	0-20	17,10	31,04	51,86	Argila Siltosa
	20-40	34,64	36,00	29,36	Silte Arenoso
	40-60	57,91	20,77	21,32	Areia Argilosa
CA1-34	0-20	53,83	29,21	16,97	Areia Siltosa
	20-40	52,51	30,04	17,45	Areia Siltosa
	40-60	51,21	30,38	18,41	Areia Siltosa
	60-80	51,21	31,58	17,20	Areia Siltosa
	80-100	50,06	31,13	18,82	Areia Siltosa
CA1-35	0-10	65,50	21,02	13,48	Areia Siltosa
	10-20	62,64	25,44	11,92	Areia Siltosa
	20-30	54,74	30,35	14,91	Areia Siltosa
	30-40	51,36	31,91	16,73	Areia Siltosa
	40-50	54,21	30,32	15,47	Areia Siltosa
	50-60	54,44	29,77	15,79	Areia Siltosa
	60-80	60,96	16,17	22,87	Areia Argilosa
	80-100	58,47	24,76	16,78	Areia Siltosa
CA1-35 [III]	0-20	54,27	29,33	16,39	Areia Siltosa
	20-40	51,40	33,22	15,38	Areia Siltosa
	40-60	55,51	29,41	15,08	Areia Siltosa
	60-80	55,44	26,77	17,79	Areia Siltosa
	80-100	52,92	31,25	15,83	Areia Siltosa
CA1-47	0-5	20,96	45,76	33,28	Silte Argiloso
	5-10	8,05	54,20	37,75	Silte Argiloso
	10-15	39,00	33,25	27,75	Areia Siltosa
	15-20	37,01	38,95	24,03	Silte Arenoso
	20-25	48,89	32,90	18,20	Areia Siltosa
	25-30	29,81	41,63	28,56	Silte Arenoso
	30-35	37,65	37,79	24,56	Silte Arenoso
	35-40	4,97	51,70	43,33	Silte Argiloso

	40-42	13,41	45,50	41,10	Silte Argiloso
	42-45	27,29	43,14	29,58	Silte Argiloso
CA1-48 [III]	0-20	49,93	32,33	17,74	Areia Siltosa
	20-40	45,81	41,38	12,81	Areia Siltosa
	40-60	39,98	43,56	16,46	Silte Arenoso
	60-80	61,75	18,86	19,39	Areia Argilosa
	80-100	65,93	24,86	9,21	Areia Siltosa
CA1-51 [III]	0-20	89,69	7,80	2,51	Areia
CA1-52 [III]	Core sup	67,73	22,08	10,19	Areia Siltosa
CA1-53 [III]	0-5	10,01	55,65	34,34	Silte Argiloso
	5-10	18,47	54,35	27,18	Silte Argiloso
	10-15	8,53	44,16	47,31	Silte Argiloso
	15-20	13,51	63,97	22,52	Silte Argiloso
	20-25	17,43	62,35	20,22	Silte Argiloso
	25-30	13,33	64,74	21,93	Silte Argiloso
	30-35	5,55	58,69	35,76	Silte Argiloso
	35-40	9,19	55,42	35,39	Silte Argiloso
	40-45	2,44	50,08	47,48	Silte Argiloso
	45-50	1,64	45,19	53,17	Argila Siltosa
	Core	88,47	7,52	4,01	Areia
	Rolhão	75,89	14,87	9,24	Areia
	sed sup	63,87	11,72	24,41	Areia Argilosa
Vala CA1-56 [IV]	1-3 m	35,67	35,03	29,30	Areia Siltosa
	1,0-1,6 m	9,79	58,42	31,80	Silte Argiloso
CA1-57 [IV]	0-20	36,49	31,84	31,67	Areia Siltosa
	20-40	62,24	21,35	16,41	Areia Siltosa
	40-60	70,90	16,69	12,40	Areia Siltosa
	60-80	49,38	31,65	18,96	Areia Siltosa
	80-100	59,49	24,24	16,28	Areia Siltosa
Área CA2					
CA2-10	0-20	17,64	65,68	16,68	Silte Arenoso
	20-40	7,65	71,00	21,35	Silte Argiloso
	40-60	72,54	19,65	7,81	Areia Siltosa
	60-80	69,99	11,71	18,30	Areia Argilosa
	80-100	61,40	35,03	3,58	Areia Siltosa
	0-20 lixi	41,47	55,73	2,80	Silte Arenoso
	20-40 lixi	81,52	2,44	16,04	Areia
	40-60 lixi	63,87	17,95	18,18	Areia Argilosa
	60-80 lixi	19,60	52,68	27,72	Silte Argiloso
	80-100 lixi	13,01	48,63	38,36	Silte Argiloso
	CA2-10 A [III]	0-20	17,13	20,44	62,43
20-40		24,82	71,50	3,68	Silte Arenoso
40-60		33,70	43,88	22,42	Silte Arenoso

Vala CA2- 10A [IV]	30-150 cm	11,28	41,88	46,84	Argila Siltosa
	1,8-2,5 m	25,56	9,63	64,81	Argila Arenosa
CA2-11	0-20	21,34	59,99	18,67	Silte Arenoso
	20-40	22,95	39,67	37,38	Silte Argiloso
	40-60	22,41	42,93	34,67	Silte Argiloso
CA2-12	0-20	13,70	53,24	33,05	Silte Argiloso
	20-40	2,20	49,00	48,80	Silte Argiloso
	40-60	1,66	46,33	52,01	Silte Argiloso
	60-80	4,79	49,67	45,53	Silte Argiloso
	80-100	2,10	47,81	50,09	Silte Argiloso
CA2-12 [III]	2,70m	24,21	75,37	0,42	Argila Siltosa
CA2-55 [IV]	1,6-2m	56,10	32,53	11,37	Areia Siltosa
	2-2,60 m	35,76	35,89	28,35	Silte Arenoso
Área CA3					
CA3-16	0-5	67,06	14,71	18,23	Area Arenosa
CA3-17	0-20	35,45	25,15	39,40	Argila Arenosa
	20-40	31,14	22,84	46,02	Argila Arenosa
	40-50+	30,81	23,44	45,75	Argila Arenosa
CA3-18	0-20	40,17	39,77	20,06	Areia Siltosa
	20-40	35,88	42,26	21,87	Silte Arenoso
	40-60	44,47	12,48	43,05	Areia Argilosa
	60-80	67,97	19,36	12,67	Areia Siltosa
	80-100	45,58	34,35	20,07	Areia Siltosa
CA3-18 [III]	1,20-1,50m	63,73	22,08	14,19	Areia Siltosa
CA3-36	Sup	30,30	34,12	35,58	Argila Siltosa
CA3-37	0-10	25,62	39,83	34,55	Silte Argiloso
	10-20	50,18	25,82	24,00	Areia Siltosa
	20-40	31,63	28,94	39,43	Argila Arenosa
	40-50	42,59	29,31	28,10	Areia Siltosa
CA3-38	0-10	44,54	35,05	20,40	Areia Siltosa
	10-20	56,77	28,76	14,47	Areia Siltosa
	20-30	49,53	35,20	15,27	Areia Siltosa
	30-40	55,00	30,73	14,27	Areia Siltosa
	40-50	45,94	38,27	15,79	Areia Siltosa
	50-60	66,40	26,08	7,52	Areia Siltosa
	60-80	54,34	31,41	14,25	Areia Siltosa
	80-100	54,30	27,30	18,40	Areia Siltosa
CA3-38 [III]	0-20	77,37	16,21	6,42	Areia
	20-40	38,20	41,30	20,51	Silte Arenoso
	40-60	60,77	27,94	11,29	Areia Siltosa
	60-80	70,13	19,12	10,75	Areia Siltosa
	80-100	47,41	35,81	16,78	Areia Siltosa
	100-120	47,05	35,25	17,71	Areia Siltosa

CA3-39		13,56	51,59	34,85	Silte Argiloso
--------	--	-------	-------	-------	----------------

Tabela AI.36: Percentagens obtidas na separação por fracção (> 63µm; >63 e >2 µm e < 2µm) das amostras aluvionares consideradas. (Prof. - Profundidade)

Amostra	Prof. (cm)	>63 µm (%)	< 63 e > 2 µm (%)	< 2 µm (%)
Área CA0				
CA0-2B	20-40	56,886	33,717	9,506
	40-60	60,129	31,465	19,562
CA0-3A	0-20	75,382	11,368	7,328
	40-60	85,786	8,288	1,760
Área CA1				
CA1-14	0-5	34,063	32,738	13,880
	5-10	46,078	29,200	11,871
	10-15	61,047	17,490	7,059
	15-20	62,124	17,784	9,430
	20-40	45,467	28,073	8,890
	40-60	14,000	39,707	26,214
	60-80	16,690	39,073	24,768
	80-100	33,476	28,965	22,685
CA1-21 lixi	20-40	22,944	34,506	15,729
	40-60	38,697	28,631	13,166
CA1-22	0-5	35,432	36,852	15,799
	out-15	53,082	26,734	11,469
	20-40	32,266	33,065	19,722
CA1-23	20-40	7,095	43,076	24,016
CA1-32	0-10	48,443	24,112	13,388
	10-20	32,667	29,771	13,172
	30-40	19,990	39,803	18,758
	40-50	37,304	28,385	12,894
	50-60	40,028	26,290	15,105
	60-70+	40,081	26,604	19,115
CA1-33	0-20	17,628	40,941	27,973
	20-40	14,984	38,164	20,444
	40-60	15,427	42,006	24,662
Área CA2				
CA2-10	0-20	11,622	49,274	21,582
	20-40	24,314	38,537	13,689
	40-60	27,678	35,245	11,880
	60-80	69,437	8,094	13,581
	80-100	40,787	24,330	15,253
CA2-10A	0-20	16,753	51,952	19,339

	20-40	10,927	51,417	20,727
	40-60	22,194	43,007	18,608
CA2-12	0-20	3,308	44,630	21,203
	20-40	2,025	33,335	28,846
	40-60	0,571	35,696	37,352
	60-80	1,369	36,374	33,784
	80-100	0,614	42,744	27,197
Área CA3				
CA3-18	0-20	36,085	47,961	18,452
	20-40	30,804	50,881	19,253
	40-60	48,559	30,136	21,576
	80-100	29,309	37,564	23,636

Tabela AI.37: Densidade aparente, densidade das partículas e porosidade das aluviões. (campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; Prof. - Profundidade)

Amostra	Prof. (cm)	Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Densidade Partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)
Área CA0				
CA0-1A	0-10	2,04	2,63	22,49
	10-20	1,81	2,84	36,32
CA0-2A	0-5	2,11	2,74	23,12
	5-10	2,16	2,66	18,80
	10-15	2,19	2,72	19,37
CA0-2B	0-20	1,86	2,66	30,02
	20-40	1,83	2,68	31,99
	40-60	1,77	2,58	31,25
CA0-3A	0-5	1,67	2,64	36,60
	5-10	1,79	2,69	33,40
	10-15	1,75	2,75	36,18
Área CA1				
CA1-13	0-20	1,66	2,74	39,47
	20-40	1,54	2,73	43,36
	40-60	1,62	2,66	38,85
	60-80	1,71	2,74	37,77
	80-100	1,83	2,64	30,57
CA1-14	0-5	1,76	2,82	37,82
	5-10	1,61	2,81	42,93
	10-15	1,98	2,95	32,85
	15-20	1,86	2,89	35,41
	20-40	1,68	2,79	39,99
	40-60	1,64	2,60	37,00
	60-80	1,71	2,68	36,11

	80-100	1,55	2,63	40,85
	Sed. Córrego Draga	1,56	2,73	42,77
CA1-14 [III]	0-20	1,59	2,64	39,76
	20-40	1,37	2,87	52,17
	40-60	1,38	2,69	48,94
	60-80	1,21	2,85	57,42
	80-100	1,40	2,60	46,34
	100-120	1,51	2,76	45,23
CA1-20	0-20	1,51	2,63	42,46
	20-40	1,53	2,39	36,06
	40-60	1,44	2,65	45,42
CA1-21	0-20	1,21	2,64	54,27
	20-40	1,44	2,57	43,89
	40-60	1,37	2,68	48,85
	60-80	1,44	2,51	42,80
	80-100	1,66	2,66	37,40
CA1-21 lixi	0-20	1,69	2,58	34,60
	20-40	1,30	2,54	49,01
	40-60	1,49	2,60	42,61
CA1-22	0-5	1,51	2,52	40,16
	5-10	1,79	2,80	36,13
	10-15	1,80	2,61	30,89
	15-20	1,57	2,70	41,67
	20-40	1,65	2,62	37,24
	40-60	1,74	2,63	33,87
	60-80	1,79	2,71	33,86
	80-100	1,75	2,73	36,02
CA1-22 [III]	0-20	1,48	2,79	46,55
	20-40	1,70	2,72	45,73
	40-60	1,57	2,57	33,90
	60-80	1,89	2,93	46,43
	80-100	1,34	2,94	35,71
CA1-23	0-20	1,40	2,58	45,59
	20-40	1,64	2,70	39,48
	40-60	1,54	2,65	42,09
	60-80	1,88	2,67	29,67
	80-100	1,60	2,65	39,39
CA1-23 [III]	0-5	1,54	2,69	50,33
	5-10	1,71	2,70	43,04
	10-15	1,66	2,60	34,08
	15-20	1,60	2,64	37,04
	20-25	1,57	2,82	43,12
	25-30	1,82	2,58	39,06
	30-33	1,39	2,60	29,88
CA1-24 [III]	Sed Sup	0,65	2,70	48,68

CA1-26	Sed.	2,21	3,08	28,42
CA1-26 [III]	0-5	0,40	3,35	80,60
	15-20	0,67	2,54	80,99
	20-25	0,79	2,74	75,63
	25-30	0,54	2,75	71,40
	30-35	1,06	3,37	83,85
CA1-26 . [III]	Nível Verm.	1,48	2,73	61,14
CA1-27	0-5	1,36	2,69	49,43
	5-10	1,50	2,65	43,40
	10-15	1,45	2,75	47,25
	15-20	1,38	2,74	49,53
	20-25	1,54	2,69	42,77
	25-30	1,48	2,66	44,39
	30-35	1,39	2,61	46,64
	CA1-27 35-40	1,44	2,69	46,33
	40-43 (Rolhão)	1,55	2,69	42,25
CA1-27 [III]	Sed Sup	2,11	2,61	43,39
CA1-27A [III]	Draga	0,96	2,78	24,28
CA1-28	0-5	1,66	2,53	34,35
	5-10	1,63	2,66	38,56
	10-15	1,51	2,62	42,52
	15-20	1,63	2,66	38,86
	20-25	1,69	2,60	35,11
	25-30	1,68	2,68	37,39
	30-35	1,66	2,66	37,53
	35-37	1,54	2,75	44,01
37-40 (Rolhão)	1,35	2,64	48,94	
CA1-28 [III]	Draga	1,49	2,92	67,22
CA1-29	0-5	1,58	2,54	37,62
	5-10	1,78	2,77	35,84
	10-15	1,91	2,67	28,53
	15-20	1,55	2,58	39,86
	20-25	1,49	2,59	42,74
	25-30	1,47	2,81	47,85
	30-35	1,46	2,64	44,74
	35-40	1,59	2,79	42,85
	40-43	1,54	2,62	41,37
43-46 (Rolhão)	1,51	2,56	41,12	
CA1-29 [III]	0-5	1,21	2,20	32,13
	5-10	1,44	2,58	53,27
	10-15	1,44	2,71	46,78
	15-20	1,35	2,66	46,03
	20-25	1,46	2,57	47,71
	25-30	1,21	2,60	43,99
	30-35	1,43	2,54	52,27

	35-41	1,43	2,60	44,88
CA1-29 [III]	Sup	1,67	2,89	42,31
CA1-30	0-20	1,52	2,77	44,89
	20-40	1,34	2,71	50,66
CA1-31	0-20	1,48	2,61	43,14
	20-40	1,57	2,70	41,90
	40-60	1,55	2,68	42,13
CA1-32	0-10	1,58	2,69	41,26
	10-20	1,34	2,76	51,42
	20-30	1,63	2,74	40,58
	30-40	1,52	2,60	41,41
	40-50	1,49	2,67	44,37
	50-60	1,58	2,71	41,70
	60-70+	1,66	2,71	38,77
CA1-32 [III]	Sed	1,51	2,69	43,91
CA1-33	0-20	1,38	3,11	55,52
	20-40	1,34	2,99	55,00
	40-60	1,53	2,96	48,25
CA1-34	0-20	1,42	2,72	47,87
	20-40	1,76	2,64	33,39
	40-60	1,88	2,70	30,39
	60-80	1,85	2,72	32,00
	80-100	1,88	2,80	32,93
CA1-35	0-10	1,88	2,68	29,64
	10-20	1,92	2,61	26,41
	20-30	1,85	2,67	30,69
	30-40	1,89	2,72	30,42
	40-50	1,89	2,60	27,49
	50-60	1,85	2,64	29,99
	60-80	1,97	2,68	26,65
	80-100	1,85	2,76	32,90
CA1-35 [III]	0-20	1,78	2,76	35,57
	20-40	1,80	2,69	33,17
	40-60	1,84	2,60	29,06
	60-80	1,93	2,76	30,11
	80-100	1,77	2,70	34,36
CA1-47	0-5	1,45	2,72	46,92
	5-10	1,16	2,78	58,09
	10-15	1,41	2,89	51,23
	15-20	1,65	2,56	35,55
	20-25	1,75	2,62	33,30
	25-30	1,43	2,81	49,08
	30-35	1,52	2,63	42,37
	35-40	1,39	2,62	46,96
	40-42	1,49	2,66	44,16

	42-45 (Rolhão)	1,10	2,84	61,15
CA1-48 [III]	0-20	1,58	2,56	38,18
	20-40	1,65	2,71	38,95
	40-60	1,67	2,64	36,55
	60-80	1,51	2,66	43,14
	80-100	1,90	2,70	29,50
CA1-51 [III]	Sed	1,90	3,10	38,51
CA1-52 [III]	Core Sup	1,35	2,88	53,21
CA1-53 [III]	0-5	0,56	3,34	83,08
	5-10	0,65	2,34	72,23
	10-15	0,56	2,91	80,89
	15-20	0,43	2,99	85,64
	20-25	0,46	3,23	85,73
	25-30	0,70	2,64	73,63
	30-35	0,67	2,89	76,66
	35-40	0,64	3,06	78,94
	40-45	0,53	3,11	82,91
	45-50	0,70	3,42	79,65
	Core	1,74	3,28	47,09
	Rolhão	1,41	2,89	51,08
Sed Sup	1,17	3,42	65,72	
Vala CA1-56 [IV]	1,0-1,6m	1,69	2,80	39,72
	1-3m	1,80	2,91	38,09
CA1-57 [IV]	0-20	1,70	2,82	39,85
	20-40	1,69	2,95	42,84
	40-60	1,70	2,85	40,30
	60-80	1,89	2,65	28,49
	80-100	1,77	2,66	33,45
Área CA2				
CA2-10	0-20	1,46	2,85	48,74
	20-40	1,41	3,27	57,03
	40-60	1,42	3,02	52,89
	60-80	1,77	3,16	44,04
	80-100	1,73	3,19	45,78
CA2-10 (lixí)	0-20	1,60	2,80	42,89
	20-40	2,16	3,43	37,15
	40-60	1,88	3,53	46,61
	60-80	1,33	2,95	55,07
	80-100	1,47	2,60	43,43
CA2-10A [III]	0-20	1,64	2,73	39,86
	20-40	1,61	2,76	41,46
	40-60	1,70	2,73	37,65
Vala CA2-10A	30-150cm	1,53	2,76	44,56
	1,8-2,6m	1,88	2,62	28,13
CA2-11	0-20	1,64	2,81	41,60

	20-40	1,63	2,62	37,80
	40-60	1,74	2,60	33,05
CA2-12	0-20	1,27	2,76	54,14
	20-40	1,30	2,89	54,98
	40-60	1,34	2,88	53,48
	60-80	1,46	2,69	45,74
	80-100	1,27	2,83	55,20
CA2-12 [III]	2,70 m	1,34	2,55	47,46
CA2-55 [IV]	1,6-2m	1,65	2,93	43,90
	2-2,60m	1,77	2,67	33,79
Área CA3				
CA3-16	SED	1,96	2,96	33,83
CA3-17	0-20	1,50	2,64	43,04
	20-40	1,54	2,80	44,91
	40-50+	1,53	2,68	42,66
CA3-18	0-20	1,35	2,74	50,63
	20-40	1,73	2,74	36,77
	40-60	1,48	2,70	45,31
	60-80	1,94	2,71	28,37
	80-100	1,74	2,65	34,37
CA3-18 [III]	(1,2 - 1,3 - 1,5 m)	1,31	2,87	54,50
CA3-36		1,74	2,75	36,80
CA3-37	0-10	1,72	2,83	39,08
	out-20	1,89	2,73	30,76
	20-40	1,77	2,68	33,82
	40-50	1,88	2,94	36,21
CA3-38	0-10	1,58	2,66	40,79
	10-20	1,56	2,61	40,29
	20-30	1,67	2,74	39,31
	30-40	1,73	2,61	33,69
	40-50	1,75	2,52	30,67
	50-60	1,73	2,71	36,31
	60-80	1,77	2,61	32,24
	80-100	1,82	2,65	31,23
CA3-38 [III]	0-20	1,58	2,69	41,22
	20-40	1,46	2,81	48,18
	40-60	1,35	2,46	45,03
	60-80	1,54	2,58	40,50
	80-100	1,63	2,63	38,07
	1,20 m	1,65	2,68	38,22
CA3-39	Esc. Grota Seca	1,52	3,09	50,97

Tabela AI.38: Condutividade Hidráulica (Permeabilidade) das aluviões. (campanha de Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV]; Prof. - Profundidade).

Amostra	Prof. (cm)	Ks (cm/dia)	Ks (m/seg)
Área CA0			
CA0-1A	0-10	535,82	6,20E ⁻⁰⁵
	10-20	614,62	7,11E ⁻⁰⁵
CA0-2A	5-10	39,40	4,56E ⁻⁰⁶
	10-15	9,41	1,09E ⁻⁰⁶
CA0-3A	0-5	7,06	8,17E ⁻⁰⁷
	5-10	169,29	1,96E ⁻⁰⁵
	10-15	52,97	6,13E ⁻⁰⁶
Área CA1			
CA1-13	0-20	41,54	4,81E ⁻⁰⁶
	20-40	9,68	1,12E ⁻⁰⁶
	40-60	30,04	3,48E ⁻⁰⁶
CA1-13	60-80	400,87	4,64E ⁻⁰⁵
	80-100	34,53	4,00E ⁻⁰⁶
CA1-14	0-5	31,43	3,64E ⁻⁰⁶
	5-10	10,61	1,23E ⁻⁰⁶
	10-15	48,71	5,64E ⁻⁰⁶
	15-20	2,36	2,73E ⁻⁰⁷
	20-40	34,41	3,98E ⁻⁰⁶
	40-60	78,83	9,12E ⁻⁰⁶
	60-80	39,40	4,56E ⁻⁰⁶
	80-100	67,57	7,82E ⁻⁰⁶
CA1-14	Sed.	251,42	2,91E ⁻⁰⁵
CA1-14 [III]	0-20	60,74	7,03E ⁻⁰⁶
	20-40	313,51	3,63E ⁻⁰⁵
	40-60	315,19	3,65E ⁻⁰⁵
	60-0	93,29	1,08E ⁻⁰⁵
	80-100	43,34	5,02E ⁻⁰⁶
	100-120	255,77	2,96E ⁻⁰⁵
CA1-20	0-20	138,28	1,60E ⁻⁰⁵
	20-40	7,23	8,37E ⁻⁰⁷
	40-60	4,40	5,09E ⁻⁰⁷
CA1-21	20-40	86,71	1,00E ⁻⁰⁵
	40-60	496,63	5,75E ⁻⁰⁵
	60-80	90,73	1,05E ⁻⁰⁵
	80-100	114,40	1,32E ⁻⁰⁵
CA1-21 lixi	0-20	40,24	4,66E ⁻⁰⁶
	40-60	378,23	4,38E ⁻⁰⁵
CA1-22	5-10	259,71	3,01E ⁻⁰⁵
	15-20	528,59	6,12E ⁻⁰⁵

	20-40	22,04	2,55E ⁻⁰⁶
	40-60	2,35	2,72E ⁻⁰⁷
	60-80	28,33	3,28E ⁻⁰⁶
	80-100	180,27	2,09E ⁻⁰⁵
CA1-22 [III]	0-20	630,38	7,30E ⁻⁰⁵
	20-40	3,93	4,55E ⁻⁰⁷
	40-60	224,57	2,60E ⁻⁰⁵
	60-80	91,44	1,06E ⁻⁰⁵
	80-100	6,81	7,88E ⁻⁰⁷
CA1-23	0-20	17,24	2,00E ⁻⁰⁶
	20-40	84,36	9,76E ⁻⁰⁶
	40-60	282,50	3,27E ⁻⁰⁵
	60-80	51,25	5,93E ⁻⁰⁶
	80-100	210,13	2,43E ⁻⁰⁵
CA1-24 [III]	Sed. Sup	44,13	5,11E ⁻⁰⁶
CA1-26	Sed.	257,77	2,98E ⁻⁰⁵
CA1-26 [III]	N. Ver	31,48	3,64E ⁻⁰⁶
CA1-27A [III]	Draga	272,19	3,15E ⁻⁰⁵
CA1-29	41-46	0,30	3,51E ⁻⁰⁸
CA1-29 [III]	Sup.	88,25	1,02E ⁻⁰⁵
CA1-30	0-20	84,86	9,82E ⁻⁰⁶
	20-40	90,65	1,05E ⁻⁰⁵
CA1-31	0-20	45,76	5,30E ⁻⁰⁶
	20-40	39,55	4,58E ⁻⁰⁶
	40-60	1,57	1,82E ⁻⁰⁷
CA1-32 [III]	Sed.	114,05	1,32E ⁻⁰⁵
CA1-33	0-20	33,77	3,91E ⁻⁰⁶
	40-60	37,52	4,34E ⁻⁰⁶
CA1-34	0-20	23,67	2,74E ⁻⁰⁶
	20-40	15,24	1,76E ⁻⁰⁶
	40-60	204,96	2,37E ⁻⁰⁵
	60-80	36,89	4,27E ⁻⁰⁶
CA1-35	50-60	20,22	2,34E ⁻⁰⁶
CA1-35 [III]	0-20	96,25	1,11E ⁻⁰⁵
	20-40	2,61	3,02E ⁻⁰⁷
	40-60	78,89	9,13E ⁻⁰⁶
	60-80	258,96	3,00E ⁻⁰⁵
	80-100	76,21	8,82E ⁻⁰⁶
CA1-48 [III]	0-20	7,86	9,10E ⁻⁰⁷
	20-40	0,52	6,07E ⁻⁰⁸
	40-60	104,50	1,21E ⁻⁰⁵
Vala CA1-56 IV]	1,0-1,6 m	208,19	2,41E ⁻⁰⁵
	1-3m	121,78	1,41E ⁻⁰⁵
CA1-57 [IV]	0-20	338,83	3,92E ⁻⁰⁵
	20-40	9,43	1,09E ⁻⁰⁶

	40-60	152,53	1,77E ⁻⁰⁵
	60-80	31,35	3,63E ⁻⁰⁶
	80-100	118,05	1,37E ⁻⁰⁵
Área CA2			
CA2-10	0-20	89,34	1,03E ⁻⁰⁵
	20-40	42,69	4,94E ⁻⁰⁶
	40-60	426,03	4,93E ⁻⁰⁵
	60-80	214,85	2,49E ⁻⁰⁵
CA2-10 lixi	0-20	123,86	1,43E ⁻⁰⁵
	20-40	315,19	3,65E ⁻⁰⁵
	40-60	436,06	5,05E ⁻⁰⁵
	60-0	29,00	3,36E ⁻⁰⁶
	80-100	433,56	5,02E ⁻⁰⁵
CA2-10A [III]	40-60	239,25	2,77E ⁻⁰⁵
Vala CA2-10 A [IV]	30-150 cm	104,15	1,21E ⁻⁰⁵
	1,8-2,6m	0,31	3,63E ⁻⁰⁸
CA2-11	0-20	20,49	2,37E ⁻⁰⁶
	20-40	203,61	2,36E ⁻⁰⁵
	40-60	630,38	7,30E ⁻⁰⁵
CA2-12	20-40	6,53	7,55E ⁻⁰⁷
	40-60	627,01	7,26E ⁻⁰⁵
	60-80	149,90	1,73E ⁻⁰⁵
	80-100	106,24	1,23E ⁻⁰⁵
CA2-55 [IV]	1,6-2m	67,01	7,76E ⁻⁰⁶
	2-2,60m	314,80	3,64E ⁻⁰⁵
Área CA3			
CA3-17	20-40	3,14	3,64E ⁻⁰⁷
CA3-18	0-20	1,05	1,21E ⁻⁰⁷
	20-40	47,43	5,49E ⁻⁰⁶
	40-60	8,39	9,72E ⁻⁰⁷
	60-80	41,39	4,79E ⁻⁰⁶
	80-100	37,43	4,33E ⁻⁰⁶
CA3-36	0-5	3,50	4,05E ⁻⁰⁷
CA3-37	0-10	15,32	1,77E ⁻⁰⁶
	20-40	313,89	3,63E ⁻⁰⁵
	40-50	200,35	2,32E ⁻⁰⁵
CA3-38	10-20	69,60	8,06E ⁻⁰⁶
	40-50	0,52	6,07E ⁻⁰⁸
	50-60	43,36	5,02E ⁻⁰⁶
CA3-38 [III]	0-20	204,87	2,37E ⁻⁰⁵
	20-40	417,80	4,84E ⁻⁰⁵
	40-60	315,19	3,65E ⁻⁰⁵
	60-80	247,50	2,86E ⁻⁰⁵
	80-100	72,21	8,36E ⁻⁰⁶
	1,20m	7,88	9,12E ⁻⁰⁷

Anexo AII – Tabelas Resultantes do Tratamento de Dados

	Página
Tabela AII.1: Valores obtidos para o Fator de Enriquecimento nas aluviões.	597
Tabela AII.2: Valores obtidos para o Índice de Geoacumulação nas aluviões.	603
Tabela AII.3: Valores de pH, Eh e condutividade obtidos, para a amostra CA1-33, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.	609
Tabela AII.4: Valores de pH, Eh e condutividade obtidos, para a amostra CA2-10, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.	610
Tabela AII.5: Valores de pH, Eh e condutividade obtidos, para a amostra CA2-10, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.	611
Tabela AII.6: Teores em arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco totais obtidos nas águas intersticiais recolhidas periodicamente, para a amostra CA1-33, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.	612
Tabela AII.7: Teores em arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco totais obtidos nas águas intersticiais recolhidas periodicamente, para a amostra CA2-10, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.	615
Tabela AII.8: Teores em arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco totais obtidos nas águas intersticiais recolhidas periodicamente, para a amostra CA3-18, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.	617
Tabela AII.9: Teores em arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco totais obtidos nas amostras compósitas das águas intersticiais recolhidas no início e no final do ensaio experimental de injeção de nanopartículas para as três amostras analisadas.	620

Tabela AII.1: Valores obtidos para o Fator de Enriquecimento nas aluviões.
(campanha de Setembro de 2013, Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

		Fatores de Enriquecimento - Padronizado com Fe (mg.kg ⁻¹)								
Amostra	Prof. (cm)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Área CA1										
CA1-13	0-20	1,33	54,02	1,01	0,42	1,82	2,14	1,59	8,44	53,37
	20-40	2,18	54,36	0,89	0,39	1,58	2,51	1,40	14,89	72,94
	40-60	2,97	46,77	0,81	0,37	1,40	4,21	1,25	14,35	69,26
	60-80	0,56	162,84	0,61	0,41	4,10	2,04	1,33	31,64	135,44
	80-100	2,45	42,22	0,29	0,16	2,11	2,10	0,66	33,71	167,61
	2,50 m	1,96	5,10	0,42	0,08	2,31	1,74	0,60	27,75	172,06
CA1-14	0-5	6,12	18,29	2,23	0,23	2,51	11,56	1,36	39,64	252,40
	5-10	4,71	12,63	1,22	0,12	2,24	11,31	1,00	40,28	224,46
	10-15	4,35	6,68	0,64	0,04	1,70	5,14	0,62	35,84	225,92
	15-20	3,95	13,92	0,30	0,05	1,89	5,12	0,73	40,33	231,67
	20-40	22,00	11,99	0,26	0,08	3,17	4,38	0,85	58,78	243,79
	40-60	4,79	41,35	0,76	0,39	1,91	1,98	1,86	26,44	190,80
	60-80	0,04	18,21	0,76	0,50	2,08	1,56	2,14	13,88	96,16
	80-100	0,50	13,95	0,53	0,36	2,75	1,65	1,44	25,17	128,54
CA1-14	0-20	0,05	54,84	0,51	0,72	1,54	0,69	2,58	2,02	29,59
CA1-14 [III]	0-20	6,37	39,15	1,42	0,64	6,88	9,41	2,36	38,09	139,29
	20-40	6,79	27,27	1,54	0,55	6,16	10,24	2,32	42,55	180,12
	40-60	6,96	19,84	1,14	0,54	5,56	8,71	2,22	46,75	185,75
	60-80	9,74	32,05	1,26	0,54	6,03	5,70	2,45	109,01	377,20
	80-100	1,61	31,78	0,92	0,48	4,96	3,36	1,92	56,84	157,84
	100-120	0,09	8,50	1,26	0,75	3,45	3,12	2,86	14,75	67,42
	1,30 m	5,28	51,77	1,98	0,47	6,41	6,66	2,22	83,57	288,81
	1,40 m	3,42	30,46	1,01	0,38	5,25	5,90	1,70	62,65	228,01
CA1-20	0-20	0,06	11,25	1,74	0,36	0,34	1,44	1,29	3,01	6,81
	20-40	0,08	2,47	1,90	0,49	0,39	1,81	1,43	1,82	5,52
	40-60	0,07	2,34	1,16	0,46	0,36	1,90	1,42	1,40	4,13
CA1-21	0-20	7,32	15,93	1,99	0,45	0,51	2,21	1,40	3,41	14,92
	20-40	1,05	43,90	1,82	0,44	0,86	1,52	1,46	7,35	31,91
	40-60	0,27	53,83	0,95	0,45	1,54	0,98	1,47	15,22	47,32
	60-80	0,04	52,57	0,71	0,41	1,84	2,27	1,38	10,46	44,78
	80-100	5,72	89,43	1,12	0,80	3,41	4,47	2,29	18,21	89,60
CA1-21 (lixivi)	0-20	1,81	742,20	1,48	0,87	8,78	2,73	2,30	15,56	39,34
	20-40	2,53	83,55	0,74	0,58	2,54	1,28	1,85	12,95	55,17
	40-60	1,21	50,48	0,84	0,63	2,01	1,78	1,75	10,56	45,33
CA1-22	0-5	1,15	61,47	0,59	0,41	2,18	3,07	1,66	17,72	80,16
	5-10	2,04	54,82	1,09	0,53	1,70	3,18	1,43	11,48	61,18

Anexo A

	10-15	2,21	53,19	1,03	0,48	1,50	2,21	1,44	8,90	55,43
	15-20	4,03	75,36	2,18	0,49	1,73	2,60	1,88	21,84	61,66
	20-40	3,40	85,33	3,47	0,38	2,11	3,12	1,50	26,39	182,02
	40-60	2,81	60,57	2,70	0,44	1,76	2,39	1,56	16,69	67,28
	60-80	0,04	58,69	1,18	0,61	2,38	3,29	1,62	14,68	64,86
	80-100	4,80	118,32	2,45	0,56	4,53	4,47	1,84	24,69	91,02
CA1-22 [III]	0-20	1,54	90,29	2,30	0,74	4,19	4,71	2,39	15,18	84,55
	20-40	2,69	89,19	1,74	0,69	3,90	4,02	2,27	19,88	89,13
	40-60	0,06	108,54	1,85	0,72	4,03	4,08	2,35	24,78	104,40
	60-80	0,05	92,37	1,15	0,68	4,32	4,43	2,09	42,59	131,10
	80-100	2,18	96,85	1,80	0,92	8,90	3,35	2,13	91,57	242,61
CA1-23	0-20	0,96	26,94	2,16	0,41	0,69	1,40	1,27	7,64	45,49
	20-40	2,24	35,85	1,28	0,43	0,72	1,86	1,44	6,12	25,96
	40-60	0,86	43,66	0,90	0,38	0,83	1,97	1,44	8,44	37,23
	60-80	0,04	37,88	0,80	0,52	1,70	2,17	1,50	10,69	50,74
	80-100	3,09	44,19	0,67	0,45	2,33	2,33	1,49	21,24	102,81
CA1-23 [III]	0-5	0,96	25,42	0,84	0,56	2,97	1,23	1,95	26,25	77,02
	5-10	0,05	26,86	1,15	0,69	2,61	2,60	2,28	8,50	41,10
	10-15	0,95	77,08	0,98	0,69	3,54	2,60	1,98	15,01	63,33
	15-20	0,06	43,36	0,76	0,59	2,90	2,04	1,73	17,36	73,87
	20-25	0,07	79,92	1,03	0,71	2,69	2,01	2,39	11,32	52,73
	25-30	0,06	38,03	0,94	0,60	2,88	1,71	1,96	19,28	76,82
	30-33	2,44	115,21	0,54	0,66	3,67	1,05	1,83	32,99	108,00
CA1-24 [III]	0-10	6,95	69,14	1,63	0,65	5,31	7,88	2,47	67,85	226,86
CA1-26 [III]	0-5	4,28	0,48	0,84	0,10	2,84	0,65	1,24	134,91	173,64
	5-10	3,54	2,65	1,01	0,13	3,28	0,90	1,60	159,35	172,58
	10-15	6,27	1,11	0,99	0,09	3,37	1,27	1,25	200,21	224,34
	15-20	4,46	0,61	0,90	0,09	2,26	0,85	1,29	130,06	151,49
	20-25	3,10	16,81	0,82	0,40	2,81	1,51	2,09	126,84	164,40
	25-30	0,81	8,41	0,95	0,47	3,56	1,72	2,33	121,45	178,73
	30-35	0,99	6,36	0,95	0,43	2,85	1,66	2,21	147,13	180,31
CA1-26 [III]	0-10	0,66	5,22	0,41	0,12	3,05	0,29	0,90	117,86	158,69
CA1-26 Sed.	0-20	0,50	14,33	0,62	0,36	1,62	3,21	1,08	21,74	123,32
CA1-27 [III]	0-5	2,25	0,11	0,84	1,20	1,58	0,77	3,73	0,41	4,80
CA1-27	0-5	1,91	32,34	1,02	0,89	2,99	1,00	2,82	5,94	35,05
	5-10	0,04	3,10	0,61	0,70	1,18	0,56	2,23	1,59	11,62
	10-15	0,04	0,05	0,58	0,59	1,20	0,65	1,93	0,60	4,63
	15-20	0,04	0,06	0,92	0,76	1,44	1,31	2,61	0,83	4,15
	20-25	0,05	4,37	0,89	0,88	1,57	0,96	3,12	2,74	10,85
	25-30	0,04	1,18	0,61	0,75	1,31	0,54	2,44	0,78	5,36
	30-35	0,04	0,07	0,70	0,82	1,42	1,13	2,72	0,99	5,98
	35-40	0,05	0,08	0,84	0,97	1,38	0,81	3,08	0,54	4,21
	40-43	0,06	4,50	0,85	1,13	1,52	0,91	3,56	0,30	2,96
CA1-27A [III]	0-10	1,69	18,39	1,19	0,44	2,09	5,21	1,27	42,28	239,50

Anexo A

CA1-28 [III]	0-5	3,69	47,00	1,31	0,34	1,97	2,79	2,39	85,71	130,62
CA1-28	0-5	0,08	0,12	1,34	1,04	1,60	1,83	3,45	0,69	9,20
	5-10	0,06	0,09	0,71	0,57	0,92	1,17	2,18	0,63	6,43
	10-15	0,07	5,39	1,31	1,10	1,96	1,74	3,93	1,97	18,91
	15-20	0,10	0,16	1,32	1,37	1,91	1,92	5,03	1,04	9,13
	20-25	0,12	11,23	1,33	1,56	1,61	1,67	5,28	0,47	3,13
	25-30	0,04	0,05	0,42	0,51	0,39	0,41	1,73	0,00	0,75
	30-35	0,04	0,05	0,50	0,36	0,88	0,74	1,21	0,50	0,91
	35-37	12,96	0,10	0,77	0,67	2,15	1,44	2,23	0,98	1,33
	37-40	0,04	0,05	0,45	0,47	0,68	0,49	1,66	0,29	1,57
CA1-29	0-5	1,33	64,09	1,73	0,89	4,33	7,34	2,58	51,57	288,25
	5-10	0,07	38,18	1,09	0,76	2,05	2,77	1,88	12,28	84,68
	10-15	0,05	33,54	2,36	0,54	1,42	3,30	1,65	9,64	53,16
	15-20	0,03	0,05	0,53	0,42	0,83	2,73	1,46	0,35	12,74
	20-25	0,06	0,10	1,00	0,74	1,24	3,72	2,64	0,56	9,45
	25-30	0,06	0,09	0,81	0,74	1,19	3,05	2,49	0,54	4,70
	30-35	0,06	0,09	0,83	0,73	1,16	2,89	2,44	0,65	2,63
	35-40	0,06	0,09	0,85	0,69	1,13	3,42	2,38	0,43	2,73
	40-43	0,04	551,89	1,01	0,79	2,66	4,12	3,13	35,84	13,31
	43-46	0,05	0,07	0,96	0,61	1,60	3,71	2,08	12,31	27,88
CA1-29 Sup [III]	0-10	0,05	49,34	1,30	0,75	2,23	4,04	2,41	24,27	131,07
CA1-29 [III]	0-5	0,69	63,67	1,22	0,71	2,11	4,23	2,49	9,29	37,36
	5-10	0,06	0,09	1,04	0,76	1,44	3,52	2,67	0,70	2,73
	10-15	0,06	0,09	1,05	0,76	1,58	5,41	2,80	0,38	2,85
	15-20	0,05	0,08	0,95	0,79	1,44	5,48	2,70	0,18	1,85
	20-25	0,69	35,72	1,04	0,80	1,45	5,59	2,92	0,38	1,90
	25-30	0,06	0,09	1,07	0,77	1,50	5,40	2,87	0,23	1,93
	30-35	0,05	0,07	0,88	0,68	1,30	4,30	2,43	0,22	1,92
	35-41	0,05	0,08	1,09	0,80	1,47	6,45	2,82	0,38	1,48
	41-46	0,64	0,12	1,06	0,97	1,57	4,57	3,07	0,57	1,42
	2,50 m	6,46	47,47	1,62	0,44	4,90	11,37	1,60	116,63	317,44
CA1-30	0-20	0,94	3,25	0,77	0,77	1,22	3,29	2,52	0,64	6,26
	20-40	0,04	0,06	0,70	0,68	1,01	2,55	2,38	0,43	3,27
CA1-31	0-20	0,04	3,15	0,61	0,75	1,16	1,45	2,49	3,72	9,95
	20-40	0,04	0,06	0,43	0,88	0,95	0,66	2,67	0,24	2,67
	40-60	0,03	0,04	0,36	0,52	0,58	0,57	1,65	0,18	1,59
CA1-32 [III]	0-20	8,76	92,50	1,08	0,57	4,52	5,03	2,04	52,23	271,67
CA1-32	0-10	3,87	53,00	0,69	0,39	1,89	2,74	1,12	30,57	132,40
	10-20	0,04	51,11	0,60	0,42	1,67	1,64	1,45	17,77	91,65
	20-30	0,03	64,94	0,80	0,41	1,85	2,99	1,30	20,31	107,00
	30-40	0,04	46,40	0,78	0,49	1,73	1,82	1,46	15,36	67,91
	40-50	0,05	56,71	0,77	0,59	2,26	2,36	1,84	22,82	81,32
	50-60	5,23	65,01	0,72	0,31	2,78	3,41	1,12	40,74	152,81
	60-70+	1,71	59,66	0,71	0,36	2,86	3,96	1,13	44,94	154,09

Anexo A

CA1-33	0-20	2,66	9,95	0,54	0,17	1,96	1,76	0,93	67,34	203,55
	20-40	4,26	6,26	0,52	0,14	2,01	1,78	0,72	70,68	192,87
	40-60	2,14	7,17	0,57	0,14	2,07	2,14	0,82	62,00	204,08
CA1-34	0-20	12,17	36,83	0,78	0,45	3,80	4,53	1,72	45,06	162,99
	20-40	0,05	6,76	0,57	0,47	1,57	1,66	1,62	32,04	56,10
	40-60	0,05	8,19	0,61	0,43	1,59	2,07	1,63	33,13	64,40
	60-80	0,07	7,02	0,74	0,62	1,38	1,62	1,91	14,28	37,31
	80-100	0,06	4,67	0,60	0,55	1,38	1,44	1,89	14,97	38,86
CA1-35	0-10	0,07	16,16	0,81	0,57	1,28	1,50	1,55	3,94	18,18
	10-20	0,09	14,56	0,94	0,68	1,31	1,23	1,93	3,20	13,87
	20-30	0,15	3,63	1,40	0,92	1,87	1,82	2,80	1,13	6,76
	30-40	0,13	2,90	1,32	0,98	1,90	1,88	2,86	1,29	6,43
	40-50	0,10	4,89	0,97	0,65	1,19	1,18	1,97	1,67	7,43
	50-60	0,10	3,21	0,81	0,61	1,08	0,86	1,92	0,84	4,41
	60-80	0,11	4,49	0,74	0,71	1,26	0,90	2,03	1,98	7,83
	80-100	0,09	1,77	0,74	0,66	1,18	0,88	2,03	1,17	5,66
CA1-35 [III]	0-20	4,69	3,60	1,59	0,90	1,98	2,03	2,78	1,71	12,27
	20-40	0,13	2,15	1,35	0,92	1,64	1,48	2,92	1,81	10,09
	40-60	0,14	9,89	1,59	1,02	2,03	2,04	2,78	3,57	20,56
	60-80	0,12	1,41	1,10	0,91	1,56	1,20	2,78	1,03	5,92
	80-100	4,94	6,11	1,02	0,86	1,66	1,15	2,66	0,98	5,26
CA1-47	0-5	0,04	41,43	0,99	0,82	1,48	3,47	2,76	2,07	4,61
	5-10	0,04	34,13	0,96	0,73	1,44	3,76	2,69	1,83	4,91
	10-15	0,05	21,33	0,86	0,81	1,43	3,65	2,74	3,25	5,91
	15-20	6,97	24,60	0,81	0,89	1,40	3,16	2,66	2,55	7,17
	20-25	0,04	8,54	0,80	0,66	1,27	4,19	2,42	0,77	1,85
	25-30	0,04	7,64	0,81	0,75	1,21	3,54	2,52	1,31	1,33
	30-35	0,06	21,64	0,82	0,74	1,28	2,80	2,85	2,61	2,18
	35-40	0,04	4,93	0,85	0,58	1,19	4,22	2,30	0,53	1,37
	40-42	0,04	5,47	0,77	0,63	1,21	3,32	2,26	1,22	2,92
42-45	0,04	6,07	0,77	0,63	1,11	3,38	2,31	0,34	1,18	
CA1-48 [III]	0-20	1,28	61,16	1,09	1,03	2,14	2,74	2,04	14,52	58,62
	20-40	0,08	121,43	1,68	0,81	3,68	7,48	2,32	23,21	95,08
	40-60	0,08	59,69	1,28	0,74	3,57	3,75	2,14	25,28	104,58
	60-80	6,19	45,82	1,19	0,60	5,06	2,11	2,26	41,68	123,80
	80-100	3,78	39,47	1,83	0,62	4,21	4,03	2,13	51,21	121,29
CA1-51 [III]	0-20	4,73	66,85	0,92	0,51	3,51	5,60	1,17	90,39	251,58
CA1-52 [III]	0-20	3,44	15,23	0,46	0,10	2,63	3,75	0,88	110,75	193,12
CA1-53 [III]	0-20	7,49	5,02	0,90	0,11	2,58	2,68	1,23	173,17	197,02
CA1-53 [III]	0-5	5,84	5,61	0,84	0,08	2,06	1,93	1,13	164,29	178,89
	5-10	6,10	1,78	1,10	0,08	1,80	1,98	1,39	156,94	210,62
	10-15	7,86	2,39	0,90	0,08	2,41	1,55	1,26	171,96	171,98
	15-20	5,36	1,39	0,61	0,06	1,70	1,71	1,00	130,45	137,14
	20-25	7,01	1,26	0,79	0,08	2,16	2,95	1,05	179,44	128,92
	25-30	5,22	10,44	0,98	0,30	3,59	3,74	1,81	179,84	162,90

Anexo A

	30-35	4,09	6,04	1,21	0,37	4,34	3,42	2,10	157,50	142,45
	35-40	6,62	4,98	1,12	0,19	4,18	1,83	1,59	162,60	131,69
	40-45	3,38	7,36	1,35	0,37	4,25	3,27	2,07	171,46	156,05
	45-50	2,73	5,58	1,46	0,35	2,87	2,89	2,11	181,89	161,87
	50-55	9,00	7,80	1,27	0,18	1,48	1,21	0,64	30,48	152,16
CA1-53 [III]	0-10	2,66	5,58	0,55	0,13	2,06	2,35	0,78	78,87	193,57
CA1-56 [IV]	100-160	2,74	627,47	2,18	1,03	17,12	2,19	5,41	29,22	54,23
	160-300	0,10	298,23	2,69	1,19	11,40	3,11	5,74	4,11	18,31
CA1-57 [IV]	0-20	1,38	377,79	3,59	1,16	9,24	4,17	5,29	35,64	151,89
	20-40	1,16	230,49	3,17	1,16	8,48	2,15	4,03	21,58	67,20
	40-60	0,56	90,74	1,33	0,60	3,44	0,74	1,90	10,16	26,66
	60-80	15,00	553,71	3,39	1,35	15,36	9,44	5,85	58,44	201,39
	80-100	9,79	276,72	2,17	0,56	10,48	5,25	3,22	58,07	172,30
Área CA2										
CA2-10 Sulfatos	0-5	1,38	3697,74	109,72	0,01	10,48	422,08	183,81	210,03	15673,47
CA2-10	0-20	11,00	138,80	0,48	0,32	1,81	0,79	1,83	38,21	407,30
	20-40	3,26	2,51	0,24	0,08	0,49	0,18	0,52	50,96	281,46
	40-60	4,76	2,77	0,28	0,08	0,45	0,26	0,67	51,48	297,91
	60-80	0,95	6,78	0,20	0,12	1,41	0,37	0,52	33,29	163,06
	80-100	1,33	8,58	0,27	0,09	1,20	0,31	0,56	40,71	182,19
	2,40 m	2,52	38,62	0,15	0,12	1,48	0,27	0,66	31,77	214,21
CA2-10 (lixivi)	0-20	2,73	40,54	0,42	0,32	1,97	0,60	0,90	45,17	194,62
	20-40	2,76	3,33	0,16	0,16	1,31	0,27	0,51	28,33	177,78
	40-60	3,06	6,75	0,28	0,07	1,38	0,27	0,51	41,11	179,66
	60-80	0,89	311,43	0,41	0,36	1,53	0,57	1,90	80,04	178,07
	80-100	6,62	110,64	0,47	0,27	1,96	0,64	1,56	66,82	169,27
CA2-10A [III]	0-20	1,39	78,97	0,91	0,73	3,52	6,83	1,38	54,78	152,93
	20-40	4,00	111,31	2,96	0,54	3,82	8,64	1,83	74,86	217,78
	40-60	3,44	65,33	1,06	0,58	2,95	4,24	1,47	60,68	200,97
CA2-10A [IV]	60-150	0,05	31,42	1,16	0,81	1,90	1,44	3,26	1,14	9,01
	180-260	0,04	18,30	0,76	0,77	1,58	0,48	3,08	1,11	5,19
CA2-11	0-20	3,46	15,13	0,56	0,15	1,33	1,10	1,04	50,58	231,07
	20-40	0,71	17,56	0,48	0,36	0,30	0,86	1,40	1,28	13,41
	40-60	0,06	13,61	0,49	0,37	0,30	0,85	1,44	0,64	11,65
CA2-12	0-20	12,18	44,97	0,26	0,13	2,31	0,47	0,92	53,78	175,35
	20-40	5,72	63,87	0,46	0,18	3,98	0,65	1,17	56,87	183,60
	40-60	211,86	107,84	2,21	0,25	30,89	20,31	2,17	241,05	286,08
	60-80	65,04	60,29	1,31	0,38	25,05	12,19	2,54	191,08	217,12
	80-100	107,77	115,26	1,90	0,35	30,87	17,35	2,60	248,96	234,97
	2,70 m	2,64	10,01	1,48	0,80	1,25	0,63	3,60	8,43	24,95
CA2-55 [IV]	160-200	0,02	9,97	0,37	0,26	0,60	0,46	1,03	0,36	2,86
	200-260	0,09	42,57	1,76	1,79	3,69	1,12	7,17	2,59	12,06
Área CA3										
CA3-16	0-5	3,53	46,30	0,88	0,50	1,61	6,00	0,80	25,33	181,63

Anexo A

CA3-17	0-20	0,59	31,93	0,36	1,92	0,92	2,09	1,34	5,08	31,56
	20-40	1,35	2,90	0,60	0,50	0,44	1,00	1,75	0,94	4,91
	40-50+	0,30	8,79	0,80	0,45	0,50	1,44	1,71	2,20	6,02
CA3-18	0-20	6,33	64,40	0,59	0,38	2,53	4,41	1,41	36,22	230,01
	20-40	3,73	74,16	0,69	0,38	2,52	5,90	1,45	35,88	234,13
	40-60	3,85	78,48	0,62	0,35	2,37	4,12	1,44	37,39	204,66
	60-80	2,22	73,22	1,55	0,45	4,18	7,44	1,61	45,13	160,11
	80-100	8,74	88,80	1,39	0,48	4,21	7,52	1,65	44,67	174,61
	1,20-1,50m	15,51	66,88	1,46	0,56	9,57	6,84	2,58	125,60	284,68
CA3-36	0-5	0,04	60,12	1,70	0,54	2,24	4,06	1,73	10,54	48,85
CA3-37	0-10	0,04	65,65	0,82	0,50	2,13	2,34	1,61	8,99	61,71
	10-20	1,66	65,53	2,68	0,54	2,23	8,72	1,49	28,64	73,39
	20-40	0,03	33,76	0,90	0,63	1,37	2,38	1,58	3,44	15,12
	40-50	0,02	19,14	2,11	0,59	1,18	5,41	1,33	2,77	9,76
CA3-38	0-10	0,06	127,91	1,31	0,71	5,42	3,92	2,27	17,50	64,35
	10-20	0,05	71,17	1,13	0,65	2,27	3,70	1,95	13,45	58,76
	20-30	0,58	92,82	1,11	0,61	4,10	4,02	1,97	16,27	69,33
	30-40	0,06	80,94	1,16	0,58	3,68	3,24	1,94	11,76	43,98
	40-50	0,06	77,69	1,06	0,67	2,54	3,45	1,98	10,80	43,38
	50-60	0,42	44,65	0,79	0,71	1,40	1,94	1,91	6,92	31,44
	60-80	0,06	45,10	0,95	0,64	1,91	2,52	1,86	7,40	31,13
	80-100	0,07	52,93	0,89	0,63	2,09	2,48	1,83	9,09	35,43
CA3-38 [III]	0-20	0,15	35,66	1,69	1,10	2,18	2,95	2,83	3,98	19,21
	20-40	5,22	39,48	1,34	0,86	2,19	2,83	2,55	8,70	43,02
	40-60	4,75	54,48	1,98	0,96	2,02	3,41	3,14	8,12	40,20
	60-80	0,07	64,69	1,34	0,74	2,32	3,61	2,21	11,22	49,34
	80-100	0,10	48,60	1,45	0,94	2,17	3,82	2,46	10,32	43,69
	1,20 m	3,93	53,66	1,50	0,87	2,56	3,69	2,70	9,16	45,92
CA3-39	0-5	2,20	92,12	0,79	0,53	4,39	4,38	1,87	40,53	179,00

Legenda:

Categorias de classificação do Fator de Enriquecimento	
< 2	Depleção ou Enriquecimento Mínimo
2-5	Enriquecimento Moderado
5-20	Enriquecimento Significativo
20-40	Enriquecimento Muito Elevado
> 40	Enriquecimento Extremamente Elevado

Tabela AII.2: Valores obtidos para o Índice de Geoacumulação nas aluviões.
(campanha de Setembro de 2013, Março de 2014 [III] e Setembro de 2014 [IV])

Amostra	Prof. (cm)	Índice de Geoacumulação (mg.kg ⁻¹)									
		As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Área CA1											
CA1-13	0-20	0,64	5,99	0,25	-1,01	1,10	0,23	1,33	0,91	3,31	5,97
	20-40	1,17	5,81	-0,12	-1,31	0,70	0,04	1,37	0,52	3,94	6,23
	40-60	1,83	5,80	-0,05	-1,18	0,74	0,26	2,33	0,57	4,10	6,37
	60-80	-0,06	8,13	0,07	-0,49	2,82	0,79	1,82	1,20	5,77	7,87
	80-100	3,21	7,32	0,15	-0,73	3,00	1,92	2,99	1,32	7,00	9,31
	2,50 m	3,46	4,84	1,23	-1,19	3,70	2,49	3,28	1,75	7,28	9,91
CA1-14	0-5	3,50	5,08	2,04	-1,24	2,21	0,88	4,41	1,33	6,19	8,86
	5-10	3,69	5,12	1,74	-1,62	2,62	1,46	4,96	1,46	6,79	9,27
	10-15	3,85	4,47	1,08	-2,98	2,49	1,73	4,09	1,04	6,89	9,55
	15-20	3,66	5,48	-0,06	-2,67	2,60	1,68	4,03	1,22	7,01	9,53
	20-40	5,89	5,02	-0,51	-2,26	3,10	1,43	3,56	1,20	7,31	9,36
	40-60	2,85	5,96	0,19	-0,79	1,52	0,59	1,57	1,48	5,31	8,16
	60-80	-3,84	5,13	0,54	-0,06	2,00	0,94	1,59	2,04	4,74	7,53
	80-100	-0,02	4,79	0,08	-0,50	2,45	0,99	1,71	1,52	5,64	8,00
CA1-14 Sed.	0-20	-3,84	6,35	-0,41	0,10	1,19	0,57	0,03	1,94	1,58	5,46
CA1-14 [III]	0-20	2,64	5,26	0,47	-0,67	2,75	-0,03	3,20	1,21	5,22	7,09
	20-40	3,00	5,00	0,86	-0,62	2,86	0,23	3,59	1,45	5,64	7,73
	40-60	2,95	4,46	0,34	-0,75	2,62	0,15	3,27	1,30	5,70	7,69
	60-80	3,31	5,02	0,35	-0,87	2,61	0,02	2,53	1,32	6,79	8,58
	80-100	0,97	5,28	0,18	-0,76	2,60	0,29	2,04	1,23	6,12	7,59
	100-120	-3,84	2,77	0,02	-0,74	1,47	-0,32	1,32	1,20	3,56	5,76
	1,30 m	3,18	6,47	1,76	-0,32	3,45	0,78	3,51	1,93	7,16	8,95
	1,40 m	2,51	5,67	0,75	-0,64	3,13	0,74	3,30	1,50	6,71	8,57
CA1-20	0-20	-3,84	3,80	1,11	-1,17	-1,25	0,31	0,84	0,68	1,90	3,08
	20-40	-3,84	1,19	0,81	-1,15	-1,46	-0,12	0,74	0,40	0,75	2,35
	40-60	-3,84	1,29	0,27	-1,05	-1,42	0,06	0,98	0,56	0,54	2,11
CA1-21	0-20	2,82	3,94	0,94	-1,20	-1,01	-0,05	1,09	0,43	1,72	3,85
	20-40	0,27	5,66	1,06	-0,97	-0,02	0,20	0,80	0,75	3,08	5,20
	40-60	-1,45	6,19	0,37	-0,70	1,06	0,44	0,41	1,00	4,37	6,01
	60-80	-3,84	6,62	0,41	-0,37	1,79	0,90	2,08	1,36	4,29	6,39
	80-100	2,79	6,76	0,45	-0,04	2,05	0,28	2,44	1,48	4,47	6,77
CA1-21 (lixivi)	0-20	0,63	9,31	0,34	-0,43	2,91	-0,22	1,23	0,98	3,73	5,07
	20-40	1,94	6,98	0,17	-0,17	1,94	0,60	0,96	1,49	4,29	6,39
	40-60	0,69	6,07	0,15	-0,24	1,42	0,41	1,25	1,22	3,81	5,92
CA1-22	0-5	0,76	6,50	-0,19	-0,75	1,68	0,56	2,17	1,28	4,70	6,88
	5-10	1,52	6,26	0,62	-0,42	1,25	0,49	2,16	1,00	4,01	6,42
	10-15	1,36	5,95	0,26	-0,83	0,80	0,21	1,36	0,74	3,37	6,01
	15-20	2,67	6,90	1,79	-0,38	1,45	0,66	2,04	1,57	5,11	6,61
	20-40	2,62	7,27	2,65	-0,54	1,93	0,85	2,49	1,43	5,57	8,36

Anexo A

	40-60	1,78	6,21	1,72	-0,90	1,11	0,29	1,55	0,93	4,35	6,36
	60-80	-3,84	6,52	0,89	-0,07	1,90	0,65	2,37	1,34	4,52	6,67
	80-100	2,52	7,14	1,55	-0,57	2,43	0,25	2,41	1,13	4,88	6,76
CA1-22 [III]	0-20	0,70	6,57	1,27	-0,36	2,14	0,07	2,31	1,33	4,00	6,48
	20-40	1,65	6,70	1,03	-0,31	2,19	0,23	2,23	1,41	4,54	6,70
	40-60	-3,84	7,08	1,21	-0,14	2,33	0,32	2,35	1,55	4,95	7,03
	60-80	-3,84	6,93	0,60	-0,16	2,51	0,40	2,54	1,46	5,81	7,43
	80-100	1,31	6,78	1,03	0,07	3,34	0,18	1,93	1,27	6,70	8,10
CA1-23	0-20	0,28	5,10	1,46	-0,93	-0,19	0,34	0,83	0,69	3,28	5,85
	20-40	1,80	5,80	0,99	-0,59	0,16	0,64	1,53	1,16	3,25	5,33
	40-60	0,15	5,82	0,22	-1,02	0,11	0,37	1,35	0,90	3,45	5,59
	60-80	-3,84	5,90	0,35	-0,28	1,43	0,66	1,78	1,25	4,08	6,32
	80-100	2,48	6,32	0,27	-0,29	2,07	0,85	2,07	1,43	5,26	7,54
CA1-23 [III]	0-5	0,73	5,46	0,54	-0,04	2,36	0,79	1,09	1,75	5,50	7,06
	5-10	-3,84	5,18	0,64	-0,11	1,82	0,43	1,81	1,62	3,52	5,79
	10-15	0,07	6,41	0,11	-0,40	1,96	0,14	1,52	1,13	4,05	6,13
	15-20	-3,84	5,61	-0,21	-0,59	1,71	0,17	1,20	0,97	4,29	6,38
	20-25	-3,84	6,42	0,15	-0,39	1,53	0,10	1,11	1,36	3,60	5,82
	25-30	-3,84	5,39	0,06	-0,60	1,66	0,14	0,91	1,11	4,41	6,40
	30-33	1,14	6,70	-1,02	-0,75	1,73	-0,14	-0,08	0,73	4,90	6,61
CA1-24 [III]	0-10	3,38	6,70	1,29	-0,04	3,00	0,59	3,57	1,89	6,67	8,41
CA1-26 [III]	0-5	4,35	1,18	2,00	-1,13	3,76	2,25	1,63	2,56	9,33	9,69
	5-10	3,72	3,30	1,91	-1,04	3,61	1,90	1,75	2,58	9,22	9,33
	10-15	4,95	2,45	2,29	-1,12	4,05	2,30	2,64	2,62	9,94	10,11
	15-20	4,53	1,67	2,22	-1,10	3,54	2,37	2,14	2,73	9,39	9,61
	20-25	2,59	5,03	0,66	-0,36	2,45	0,96	1,56	2,02	7,94	8,32
	25-30	0,21	3,59	0,44	-0,58	2,35	0,52	1,30	1,73	7,44	8,00
	30-35	0,92	3,61	0,86	-0,29	2,45	0,94	1,67	2,09	8,14	8,43
CA1-26 [III]	0-10	1,62	4,60	0,93	-0,88	3,83	2,22	0,42	2,07	9,10	9,53
CA1-26	0-20	0,88	5,73	1,19	0,41	2,59	1,89	3,58	2,00	6,33	8,84
CA1-27 [III]	0-5	1,14	-3,24	-0,28	0,23	0,63	-0,03	-0,41	1,87	-1,32	2,23
CA1-27	0-5	1,33	5,41	0,43	0,23	1,97	0,40	0,40	1,89	2,97	5,53
	5-10	-3,84	2,39	0,04	0,23	0,99	0,75	-0,09	1,91	1,42	4,29
	10-15	-3,84	-3,24	0,18	0,20	1,23	0,96	0,34	1,90	0,22	3,17
	15-20	-3,84	-3,24	0,62	0,34	1,27	0,74	1,13	2,12	0,46	2,80
	20-25	-3,84	2,68	0,39	0,36	1,20	0,55	0,50	2,19	2,01	3,99
	25-30	-3,84	0,93	-0,03	0,28	1,08	0,68	-0,20	1,97	0,33	3,10
	30-35	-3,84	-3,24	0,13	0,37	1,15	0,65	0,82	2,09	0,63	3,23
	35-40	-3,84	-3,24	0,15	0,36	0,87	0,40	0,10	2,03	-0,47	2,48
	40-43	-3,84	2,39	-0,01	0,39	0,83	0,22	0,08	2,05	-1,53	1,78
CA1-27A [III]	0-10	1,69	5,13	1,17	-0,27	1,99	0,93	3,31	1,27	6,33	8,83
CA1-28 [III]	0-5	3,06	6,73	1,57	-0,38	2,16	1,18	2,66	2,44	7,60	8,21
CA1-28	0-5	-3,84	-3,24	0,23	-0,13	0,48	-0,19	0,68	1,59	-0,73	3,01
	5-10	-3,84	-3,24	-0,19	-0,49	0,19	0,31	0,53	1,43	-0,36	2,99
	10-15	-3,84	2,40	0,36	0,11	0,94	-0,03	0,77	1,95	0,95	4,21
	15-20	-3,84	-3,24	-0,17	-0,12	0,36	-0,57	0,37	1,76	-0,51	2,62

Anexo A

	20-25	-3,84	2,70	-0,38	-0,14	-0,10	-0,79	-0,05	1,61	-1,89	0,86
	25-30	-3,84	-3,24	-0,26	0,01	-0,36	0,99	-0,30	1,77	-7,96	0,58
	30-35	-3,84	-3,24	0,00	-0,47	0,80	0,99	0,55	1,26	-0,03	0,85
	35-37	3,78	-3,24	-0,29	-0,49	1,19	0,09	0,62	1,25	0,06	0,50
	37-40	-3,84	-3,24	-0,19	-0,11	0,42	0,97	-0,05	1,70	-0,83	1,62
CA1-29	0-5	0,39	5,98	0,77	-0,20	2,09	-0,02	2,85	1,34	5,66	8,15
	5-10	-3,84	5,26	0,13	-0,38	1,04	0,01	1,48	0,92	3,62	6,41
	10-15	-3,84	5,62	1,79	-0,35	1,06	0,55	2,28	1,28	3,82	6,28
	15-20	-3,84	-3,24	0,18	-0,15	0,85	1,11	2,56	1,65	-0,42	4,78
	20-25	-3,84	-3,24	0,14	-0,29	0,46	0,15	2,04	1,55	-0,69	3,39
	25-30	-3,84	-3,24	-0,03	-0,17	0,53	0,27	1,88	1,59	-0,62	2,50
	30-35	-3,84	-3,24	0,04	-0,15	0,52	0,30	1,83	1,59	-0,33	1,70
	35-40	-3,84	-3,24	0,07	-0,22	0,49	0,31	2,09	1,57	-0,89	1,76
	40-43	-3,84	9,78	0,68	0,34	2,08	0,67	2,71	2,31	5,83	4,40
	43-46	-3,84	-3,24	0,55	-0,10	1,29	0,61	2,50	1,67	4,23	5,41
CA1-29 Sup [III]	0-10	-3,84	6,07	0,82	0,03	1,60	0,44	2,46	1,71	5,05	7,48
CA1-29 [III]	0-5	-0,19	6,34	0,63	-0,14	1,43	0,35	2,43	1,67	3,56	5,57
	5-10	-3,84	-3,24	0,34	-0,12	0,81	0,28	2,09	1,69	-0,24	1,73
	10-15	-3,84	-3,24	0,26	-0,22	0,84	0,19	2,62	1,67	-1,20	1,69
	15-20	-3,84	-3,24	0,36	0,10	0,97	0,44	2,90	1,87	-2,02	1,33
	20-25	-0,20	5,48	0,38	0,00	0,86	0,32	2,81	1,87	-1,09	1,25
	25-30	-3,84	-3,24	0,41	-0,06	0,89	0,31	2,74	1,83	-1,84	1,26
	30-35	-3,84	-3,24	0,41	0,03	0,98	0,59	2,70	1,88	-1,61	1,54
	35-41	-3,84	-3,24	0,50	0,06	0,94	0,38	3,07	1,87	-1,01	0,95
	41-46	-0,88	-3,24	-0,14	-0,28	0,41	-0,23	1,96	1,39	-1,05	0,28
	2,50 m	3,75	6,63	1,75	-0,12	3,35	1,06	4,56	1,73	7,92	9,37
CA1-30	0-20	0,73	2,52	0,45	0,44	1,11	0,82	2,54	2,15	0,19	3,47
	20-40	-3,84	-3,24	0,32	0,28	0,85	0,83	2,18	2,08	-0,38	2,54
CA1-31	0-20	-3,84	2,41	0,05	0,33	0,96	0,75	1,29	2,07	2,65	4,07
	20-40	-3,84	-3,24	-0,39	0,65	0,77	0,84	0,25	2,26	-1,24	2,26
	40-60	-3,84	-3,24	-0,12	0,41	0,55	1,34	0,53	2,06	-1,15	2,01
CA1-32 [III]	0-20	3,98	7,38	0,96	0,04	3,03	0,85	3,18	1,88	6,56	8,94
CA1-32	0-10	2,97	6,75	0,48	-0,35	1,94	1,02	2,47	1,18	5,96	8,07
	10-20	-3,84	6,62	0,21	-0,29	1,68	0,94	1,66	1,48	5,09	7,46
	20-30	-3,84	7,09	0,74	-0,21	1,96	1,07	2,65	1,45	5,41	7,81
	30-40	-3,84	6,38	0,48	-0,18	1,63	0,84	1,71	1,39	4,78	6,93
	40-50	-3,84	6,41	0,21	-0,19	1,76	0,58	1,82	1,46	5,09	6,93
	50-60	3,71	7,35	0,86	-0,36	2,80	1,32	3,09	1,49	6,67	8,58
	60-70+	2,07	7,19	0,79	-0,18	2,81	1,29	3,28	1,47	6,78	8,56
CA1-33	0-20	3,59	5,50	1,30	-0,35	3,15	2,18	3,00	2,08	8,25	9,85
	20-40	4,75	5,30	1,72	-0,18	3,67	2,66	3,49	2,18	8,80	10,25
	40-60	3,34	5,09	1,43	-0,63	3,30	2,25	3,35	1,96	8,20	9,92
CA1-34	0-20	4,35	5,95	0,38	-0,42	2,67	0,74	2,92	1,53	6,24	8,09
	20-40	-3,84	3,23	-0,34	-0,62	1,13	0,48	1,21	1,18	5,48	6,29
	40-60	-3,84	3,50	-0,25	-0,76	1,14	0,47	1,52	1,17	5,52	6,48

Anexo A

	60-80	-3,84	2,80	-0,45	-0,69	0,45	-0,01	0,69	0,92	3,82	5,21
	80-100	-3,84	2,33	-0,64	-0,77	0,57	0,11	0,63	1,03	4,01	5,39
CA1-35	0-10	-3,84	3,95	-0,38	-0,88	0,28	-0,07	0,52	0,56	1,91	4,12
	10-20	-3,84	3,43	-0,52	-1,00	-0,05	-0,44	-0,14	0,51	1,24	3,36
	20-30	-3,84	0,77	-0,61	-1,21	-0,19	-1,09	-0,23	0,39	-0,91	1,66
	30-40	-3,84	0,65	-0,49	-0,92	0,04	-0,88	0,02	0,63	-0,52	1,80
	40-50	-3,84	1,84	-0,49	-1,06	-0,20	-0,45	-0,21	0,53	0,29	2,45
	50-60	-3,84	1,23	-0,75	-1,15	-0,33	-0,45	-0,66	0,49	-0,70	1,69
	60-80	-3,84	1,52	-1,07	-1,14	-0,31	-0,64	-0,79	0,38	0,34	2,33
	80-100	-3,84	0,45	-0,80	-0,96	-0,13	-0,37	-0,55	0,65	-0,14	2,13
CA1-35 [III]	0-20	1,36	0,97	-0,21	-1,02	0,11	-0,87	0,15	0,60	-0,10	2,74
	20-40	-3,84	0,24	-0,43	-0,98	-0,15	-0,86	-0,30	0,68	0,00	2,47
	40-60	-3,84	2,35	-0,29	-0,93	0,06	-0,96	0,07	0,52	0,87	3,40
	60-80	-3,84	-0,32	-0,69	-0,96	-0,18	-0,82	-0,55	0,65	-0,78	1,74
	80-100	1,53	1,84	-0,74	-0,99	-0,04	-0,77	-0,57	0,64	-0,80	1,62
CA1-47	0-5	-3,84	6,10	0,70	0,45	1,29	0,73	2,52	2,19	1,77	2,93
	5-10	-3,84	5,99	0,85	0,44	1,43	0,90	2,81	2,33	1,77	3,19
	10-15	-3,84	4,79	0,16	0,07	0,89	0,38	2,25	1,83	2,08	2,94
	15-20	3,16	4,98	0,06	0,20	0,85	0,36	2,02	1,77	1,71	3,20
	20-25	-3,84	3,81	0,40	0,12	1,06	0,72	2,78	1,99	0,34	1,60
	25-30	-3,84	3,62	0,37	0,26	0,96	0,68	2,51	2,01	1,08	1,10
	30-35	-3,84	4,62	-0,10	-0,24	0,54	0,19	1,67	1,70	1,57	1,31
	35-40	-3,84	3,12	0,58	0,03	1,07	0,81	2,89	2,02	-0,09	1,27
	40-42	-3,84	3,23	0,40	0,12	1,05	0,78	2,51	1,95	1,07	2,33
	42-45	-3,84	3,44	0,47	0,17	1,00	0,84	2,60	2,05	-0,72	1,08
CA1-48 [III]	0-20	0,32	5,91	0,10	0,01	1,07	-0,03	1,43	1,00	3,83	5,84
	20-40	-3,84	6,81	0,63	-0,41	1,76	-0,12	2,79	1,10	4,42	6,45
	40-60	-3,84	5,75	0,21	-0,58	1,69	-0,15	1,76	0,95	4,51	6,56
	60-80	2,63	5,52	0,25	-0,74	2,34	0,00	1,08	1,18	5,38	6,95
	80-100	1,51	4,89	0,46	-1,10	1,66	-0,41	1,60	0,68	5,27	6,51
CA1-51 [III]	0-20	3,97	7,79	1,60	0,76	3,54	1,73	4,22	1,96	8,23	9,70
CA1-52 [III]	0-20	3,86	6,01	0,97	-1,21	3,47	2,08	3,99	1,89	8,87	9,67
CA1-53 [III]	0-20	4,89	4,31	1,83	-1,14	3,35	1,98	3,41	2,28	9,42	9,61
CA1-53 [III]	0-5	4,81	4,75	2,01	-1,43	3,31	2,26	3,22	2,44	9,62	9,75
	5-10	4,84	3,07	2,37	-1,45	3,08	2,23	3,22	2,70	9,52	9,95
	10-15	5,23	3,52	2,10	-1,37	3,53	2,26	2,89	2,59	9,68	9,68
	15-20	5,07	3,12	1,94	-1,50	3,41	2,64	3,42	2,64	9,67	9,74
	20-25	5,03	2,55	1,88	-1,44	3,33	2,22	3,78	2,29	9,71	9,23
	25-30	3,70	4,70	1,29	-0,43	3,16	1,32	3,22	2,17	8,81	8,67
	30-35	3,01	3,57	1,25	-0,46	3,09	0,97	2,75	2,05	8,27	8,13
	35-40	4,40	3,99	1,83	-0,75	3,73	1,67	2,55	2,34	9,02	8,71
	40-45	2,76	3,88	1,43	-0,44	3,09	1,00	2,71	2,05	8,42	8,29
	45-50	2,44	3,47	1,54	-0,51	2,51	0,99	2,52	2,07	8,50	8,33
50-55	5,13	4,92	2,30	-0,56	2,53	1,96	2,23	1,31	6,89	9,21	
CA1-53 [III]	0-10	3,50	4,57	1,22	-0,83	3,13	2,09	3,32	1,73	8,39	9,68
CA1-56 [IV]	100-160	1,97	9,81	1,64	0,56	4,61	0,52	1,65	2,95	5,39	6,28

Anexo A

	160-300	-3,84	7,67	0,87	-0,31	2,96	-0,55	1,08	1,97	1,49	3,64
CA1-57 [IV]	0-20	0,48	8,58	1,86	0,23	3,23	0,02	2,08	2,42	5,17	7,26
	20-40	-0,23	7,41	1,23	-0,22	2,65	-0,44	0,67	1,57	3,99	5,63
	40-60	-0,45	6,89	0,80	-0,36	2,17	0,38	-0,05	1,31	3,73	5,12
	60-80	3,29	8,50	1,15	-0,18	3,32	-0,62	2,62	1,93	5,25	7,04
	80-100	3,87	8,69	1,70	-0,26	3,97	0,58	2,97	2,26	6,44	8,01
Área CA2											
CA2-10 Sulfatos	0-5	-3,84	7,55	2,48	-10,81	-0,91	-4,30	4,42	3,22	3,41	9,63
CA2-10	0-20	4,31	7,97	-0,20	-0,78	1,71	0,85	0,50	1,72	6,11	9,52
	20-40	4,10	3,72	0,32	-1,34	1,38	2,40	-0,05	1,46	8,07	10,53
	40-60	4,73	3,95	0,65	-1,12	1,34	2,48	0,53	1,90	8,17	10,70
	60-80	2,79	5,62	0,55	-0,22	3,36	2,86	1,44	1,92	7,92	10,21
	80-100	3,25	5,94	0,94	-0,65	3,10	2,84	1,14	2,00	8,18	10,35
	2,40 m	3,43	7,37	-0,62	-0,99	2,66	2,10	0,22	1,49	7,09	9,84
CA2-10 (lixivi)	0-20	3,54	7,44	0,85	0,43	3,08	2,10	1,37	1,95	7,59	9,70
	20-40	4,46	4,73	0,35	0,38	3,38	2,99	1,12	2,03	7,82	10,47
	40-60	4,51	5,65	1,07	-0,95	3,36	2,90	0,99	1,92	8,26	10,38
	60-80	0,95	9,40	-0,15	-0,36	1,74	1,12	0,31	2,05	7,44	8,60
	80-100	4,07	8,13	0,25	-0,54	2,31	1,34	0,69	1,99	7,40	8,74
CA2-10A [III]	0-20	1,42	7,25	0,80	0,49	2,76	0,94	3,71	1,40	6,72	8,20
	20-40	2,55	7,35	2,11	-0,34	2,48	0,55	3,66	1,42	6,77	8,31
	40-60	2,79	7,04	1,09	0,21	2,57	1,01	3,09	1,57	6,93	8,66
CA2-10A [IV]	60-150	-3,84	5,56	0,80	0,28	1,52	0,59	1,11	2,29	0,77	3,76
	180-260	-3,84	5,10	0,50	0,53	1,57	0,91	-0,15	2,53	1,06	3,28
CA2-11	0-20	2,69	4,82	0,07	-1,82	1,31	0,90	1,03	0,96	6,56	8,76
	20-40	-0,15	4,48	-0,70	-1,14	-1,38	0,35	0,13	0,83	0,70	4,09
	40-60	-3,84	4,04	-0,76	-1,15	-1,45	0,28	0,04	0,80	-0,37	3,82
CA2-12	0-20	5,18	7,07	-0,37	-1,35	2,78	1,57	0,47	1,45	7,32	9,03
	20-40	4,13	7,61	0,50	-0,87	3,61	1,62	1,00	1,84	7,45	9,14
	40-60	9,05	8,07	2,47	-0,71	6,27	1,32	5,66	2,44	9,23	9,48
	60-80	7,39	7,28	1,75	-0,02	6,01	1,36	4,97	2,71	8,94	9,13
	80-100	8,12	8,22	2,30	-0,14	6,32	1,37	5,49	2,75	9,33	9,25
	2,70 m	1,66	3,58	0,83	-0,07	0,58	0,26	-0,40	2,11	3,34	4,90
CA2-55 [IV]	160-200	-3,84	5,47	0,71	0,19	1,42	2,15	1,02	2,20	0,68	3,66
	200-260	-3,84	5,09	0,50	0,52	1,56	-0,32	-0,16	2,53	1,05	3,28
Área CA3											
CA3-16	0-5	3,15	6,87	1,15	0,33	2,02	1,33	3,92	1,00	6,00	8,84
CA3-17	0-20	-0,15	5,61	-0,84	1,55	0,49	0,61	1,68	1,03	2,96	5,59
	20-40	0,53	1,63	-0,63	-0,91	-1,09	0,10	0,09	0,90	0,00	2,39
	40-50+	-1,52	3,37	-0,10	-0,91	-0,78	0,23	0,76	1,00	1,37	2,82
CA3-18	0-20	3,13	6,47	-0,29	-0,95	1,80	0,46	2,61	0,96	5,64	8,31
	20-40	2,42	6,73	-0,02	-0,89	1,85	0,52	3,08	1,06	5,68	8,39
	40-60	2,54	6,89	-0,11	-0,94	1,84	0,59	2,63	1,11	5,82	8,27
	60-80	2,14	7,18	1,63	-0,15	3,06	0,99	3,89	1,67	6,49	8,31
	80-100	3,89	7,23	1,23	-0,31	2,83	0,76	3,67	1,48	6,24	8,21

Anexo A

	1,20-1,50m	4,41	6,52	1,01	-0,38	3,71	0,45	3,23	1,82	7,43	8,61
CA3-36	0-5	-3,84	6,79	1,65	0,00	2,04	0,88	2,90	1,67	4,28	6,49
CA3-37	0-10	-3,84	6,88	0,57	-0,16	1,94	0,85	2,07	1,53	4,01	6,79
	10-20	2,13	7,43	2,82	0,52	2,56	1,40	4,52	1,97	6,24	7,59
	20-40	-3,84	6,22	0,99	0,46	1,59	1,14	2,39	1,80	2,92	5,06
	40-50	-3,84	5,75	2,56	0,73	1,73	1,49	3,93	1,90	2,96	4,78
CA3-38	0-10	-3,84	7,17	0,56	-0,32	2,61	0,18	2,15	1,35	4,30	6,18
	10-20	-3,84	6,52	0,55	-0,26	1,55	0,37	2,26	1,33	4,12	6,25
	20-30	-0,63	6,68	0,29	-0,57	2,18	0,15	2,15	1,12	4,17	6,26
	30-40	-3,84	6,65	0,52	-0,49	2,19	0,31	2,01	1,27	3,87	5,77
	40-50	-3,84	6,39	0,19	-0,48	1,45	0,11	1,89	1,09	3,54	5,55
	50-60	-1,58	5,16	-0,67	-0,82	0,16	-0,32	0,63	0,61	2,47	4,65
	60-80	-3,84	5,61	0,05	-0,53	1,05	0,12	1,45	1,01	3,00	5,08
	80-100	-3,84	5,64	-0,25	-0,76	0,98	-0,09	1,22	0,79	3,10	5,06
CA3-38 [III]	0-20	-3,84	4,10	-0,30	-0,92	0,07	-1,06	0,50	0,44	0,93	3,20
	20-40	2,03	4,95	0,07	-0,58	0,77	-0,36	1,14	0,99	2,76	5,07
	40-60	1,36	4,88	0,10	-0,94	0,13	-0,88	0,88	0,76	2,14	4,44
	60-80	-3,84	5,95	0,36	-0,49	1,15	-0,06	1,79	1,08	3,42	5,56
	80-100	-3,84	5,12	0,05	-0,57	0,64	-0,48	1,45	0,82	2,89	4,97
	1,20 m	1,53	5,30	0,14	-0,65	0,91	-0,45	1,43	0,99	2,75	5,07
CA3-39	0-5	2,18	7,57	0,71	0,13	3,18	1,04	3,17	1,94	6,38	8,53

Legenda:

Categorias de Classificação do Índice de Geoacumulação	
< 0	Não Contaminado
0-1	Não Contaminado a moderadamente Contaminado
1-2	Moderadamente contaminado
2-3	Moderadamente a altamente contaminado
3-4	Altamente contaminado
4-5	Altamente a extremamente contaminado
> 5	Extremamente contaminado

Tabela AII.3: Valores de pH, Eh e condutividade obtidos, para a amostra CA1-33, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.

		pH							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA1-33 (1 g/L)	Superior	4,44	6,61	6,90	6,53	2,70	6,22	3,20	3,91
	Inferior	4,07	6,76	6,32	6,26	6,09	5,62	4,76	3,27
CA1-33 (3 g/L)	Superior	3,50	6,88	7,10	6,72	4,11	3,00	3,33	3,23
	Inferior	6,52	6,97	7,04	6,57	3,64	3,37	3,22	6,38
CA1-33 (7 g/L)	Superior	5,79	6,89	6,79	2,54	2,56	3,06	5,79	6,34
	Inferior	6,71	6,17	7,05	2,13	2,07	3,25	4,43	6,42
CA1-33 (Branco)	Superior	6,70	6,48	2,94	3,05	2,50	3,41	2,85	3,61
	Inferior	6,65	6,73	3,01	4,72	5,96	4,18	3,51	3,19
		Eh (mV)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA1-33 (1 g/L)	Superior	554	477	276	288	464	253	384	685
	Inferior	431	425	273	466	296	234	375	640
CA1-33 (3 g/L)	Superior	417	169	188	185	346	445	399	449
	Inferior	354	163	193	161	384	411	412	131
CA1-33 (7 g/L)	Superior	235	141	161	487	459	423	224	124
	Inferior	234	103	160	506	445	463	288	121
CA1-33 (Branco)	Superior	246	205	278	497	683	486	568	158
	Inferior	232	208	291	449	611	477	539	166
		Condutividade ($\mu\text{s/cm}$)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA1-33 (1 g/L)	Superior	2060	1150	1380	1540	1930	960	1100	1630
	Inferior	916	834	706	1540	900	859	916	925
CA1-33 (3 g/L)	Superior	1360	815	835	950	1010	1550	1180	1030
	Inferior	600	697	549	564	748	931	1010	760
CA1-33 (7 g/L)	Superior	1130	879	1980	2090	2040	1310	866	830
	Inferior	858	729	1420	4050	433	1100	783	752
CA1-33 (Branco)	Superior	932	977	1250	1300	2420	1120	1530	960
	Inferior	671	418	980	743	1050	960	1030	379

Tabela AII.4: Valores de pH, Eh e condutividade obtidos, para a amostra CA2-10, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.

		pH							
		Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA2-10 (1 g/L)	Superior	5,21	5,84	5,07	2,76	3,91	3,00	2,95	3,35
	Inferior	-	5,64	4,61	2,60	3,90	3,25	3,99	3,44
CA2-10 (3 g/L)	Superior	-	6,28	6,13	2,57	4,19	4,08	3,26	4,04
	Inferior	-	5,93	4,91	2,45	1,84	3,98	3,42	2,95
CA2-10 (7 g/L)	Superior	5,94	6,10	6,23	2,63	3,08	3,02	2,98	3,21
	Inferior	5,91	5,79	6,23	2,25	2,53	3,77	3,25	4,38
CA2-10 (Branco)	Superior	2,57	2,93	2,72	2,77	2,72	3,20	3,05	3,63
	Inferior	2,57	3,64	4,78	3,45	3,06	3,07	3,70	3,60
		Eh (mV)							
		Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA2-10 (1 g/L)	Superior	385	100	207	383	322	369	402	359
	Inferior	-	202	217	411	358	410	419	451
CA2-10 (3 g/L)	Superior	-	51	130	385	290	407	430	152
	Inferior	-	76	174	390	440	436	458	286
CA2-10 (7 g/L)	Superior	262	129	134	395	314	383	472	282
	Inferior	230	147	167	457	399	417	489	128
CA2-10 (Branco)	Superior	226	552	545	643	627	594	182	569
	Inferior	331	487	503	580	584	524	202	574
		Condutividade (µs/cm)							
		Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA2-10 (1 g/L)	Superior	3000	7260	7730	8640	6950	2720	4430	4310
	Inferior	-	8010	5850	9630	7160	7470	7650	8200
CA2-10 (3 g/L)	Superior	-	6150	4840	5270	7960	7190	9570	9280
	Inferior	-	10100	6630	10100	11100	8290	9000	8865
CA2-10 (7 g/L)	Superior	9600	4920	5270	6130	3960	7720	7930	7300
	Inferior	8000	8080	7700	8200	9380	8790	9100	8530
CA2-10 (Branco)	Superior	5190	3590	6710	5880	5780	4210	6650	6730
	Inferior	7870	4030	2780	5530	7050	6480	6180	6360

Tabela AII.5: Valores de pH, Eh e condutividade obtidos, para a amostra CA2-10, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.

		pH							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA3-18 (1 g/L)	Superior	4,31	6,56	6,78	2,55	4,54	2,74	3,73	6,29
	Inferior	5,79	6,73	6,87	2,87	5,51	3,19	3,08	3,61
CA3-18 (3 g/L)	Superior	5,81	6,65	6,91	2,19	4,33	4,30	2,93	6,38
	Inferior	6,71	6,86	7,07	2,40	3,37	3,74	3,71	6,55
CA3-18 (7 g/L)	Superior	5,27	6,65	6,97	2,24	2,47	3,08	3,79	5,19
	Inferior	6,04	6,79	6,95	2,28	2,68	3,52	3,13	6,37
CA3-18 Branco	Superior	4,65	6,69	5,22	2,36	3,75	3,48	3,41	3,90
	Inferior	6,43	6,70	2,32	2,69	4,19	3,15	3,31	3,77
		Eh (mV)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA3-18 (1 g/L)	Superior	360	171	206	424	296	393	419	306
	Inferior	339	179	213	475	282	479	489	442
CA3-18 (3 g/L)	Superior	348	133	159	487	387	336	417	121
	Inferior	331	138	160	490	455	420	401	126
CA3-18 (7 g/L)	Superior	273	64	147	454	445	381	396	131
	Inferior	255	95	149	457	459	430	502	127
CA3-18 Branco	Superior	343	213	258	527	538	522	528	575
	Inferior	298	196	449	522	460	541	531	580
		Condutividade ($\mu\text{s/cm}$)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA3-18 (1 g/L)	Superior	2400	2960	3170	4300	2170	3700	1240	2040
	Inferior	2350	2560	2440	3070	2330	2850	2640	2440
CA3-18 (3 g/L)	Superior	2940	3000	2770	5550	3410	1420	3000	1910
	Inferior	2020	2420	2500	4190	2630	1850	1250	2500
CA3-18 (7 g/L)	Superior	2830	2850	2330	4130	2590	2070	1870	1780
	Inferior	1990	2200	1580	4210	4010	2860	3270	2630
CA3-18 Branco	Superior	3430	2340	3260	3810	2820	1440	2960	2390
	Inferior	2720	2790	4610	2780	2870	2500	2720	3180

Tabela AII.6: Teores em arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco totais obtidos nas águas intersticiais recolhidas periodicamente, para a amostra CA1-33, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.

(A vermelho encontram-se os valores obtidos, por elemento, superiores aos considerados padrão pela COPAM 2011).

		As (mg/l)								Cd (mg/l)							
		Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA1-33 (1 g/L)	Superior	0,002	<0,001	0,003	0,002	0,020	0,048	0,019	0,036	0,178	0,040	0,064	0,076	0,241	0,109	0,069	0,104
	Inferior	0,008	0,005	0,011	0,022	0,003	0,047	0,018	0,035	0,096	0,038	0,047	0,088	0,154	0,067	0,078	0,085
CA1-33 (3 g/L)	Superior	0,107	<0,001	<0,001	0,002	0,029	0,040	0,042	0,053	0,170	0,013	0,022	0,021	0,117	0,078	0,097	0,061
	Inferior	0,003	0,014	0,002	0,002	0,018	0,016	0,043	0,036	0,050	0,043	0,039	0,040	0,060	0,042	0,037	0,032
CA1-33 (7 g/L)	Superior	0,005	0,002	0,010	0,015	0,029	0,029	0,027	0,011	0,117	0,020	0,180	0,089	0,097	0,090	0,059	0,015
	Inferior	0,042	0,003	<0,001	0,003	0,043	0,021	0,029	0,044	0,070	0,070	0,078	0,095	0,064	0,080	0,090	0,054
CA1-33 (Branco)	Superior	0,045	0,010	0,009	0,004	0,054	0,060	0,036	0,023	0,121	0,026	0,047	0,055	0,146	0,098	0,091	0,127
	Inferior	0,077	0,026	0,040	0,040	0,027	0,044	0,019	0,044	0,109	0,099	0,004	0,020	0,004	0,080	0,093	0,086
		Co (mg/l)								Cr (mg/l)							
		Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA1-33 (1 g/L)	Superior	0,028	0,032	0,021	0,030	0,084	0,049	0,067	0,040	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Inferior	0,028	0,023	0,019	0,043	0,074	0,075	0,068	0,037	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CA1-33 (3 g/L)	Superior	0,035	0,021	0,028	0,048	0,069	0,049	0,092	0,083	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Inferior	0,027	0,021	0,031	0,025	0,048	0,074	0,093	0,054	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CA1-33 (7 g/L)	Superior	0,030	0,027	0,042	0,041	0,023	0,082	0,062	0,059	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Inferior	0,026	0,028	0,044	0,047	0,047	0,026	0,049	0,058	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

CA1-33	Superior	0,029	0,020	0,024	0,022	0,059	0,043	0,035	0,093	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
(Branco)	Inferior	0,036	0,030	0,030	0,033	0,040	0,040	0,035	0,036	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
		Cu (mg/l)								Fe (mg/l)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA1-33	Superior	0,431	0,021	0,017	0,016	0,026	0,021	0,020	0,018	0,065	0,589	1,093	0,313	3,042	0,837	1,513	0,869
(1 g/L)	Inferior	0,318	0,010	0,001	0,137	0,134	0,021	0,018	0,012	0,067	0,322	0,201	1,345	0,603	0,440	0,147	0,145
CA1-33	Superior	0,110	0,082	0,039	0,051	0,108	0,077	0,031	<0,001	0,070	0,450	1,073	1,255	1,710	0,839	2,819	0,333
(3 g/L)	Inferior	0,093	0,082	0,043	0,062	0,082	0,051	0,020	<0,001	0,071	0,349	0,371	1,318	1,660	1,301	2,017	0,268
CA1-33	Superior	0,065	0,006	0,024	0,165	0,051	<0,001	<0,001	<0,001	0,164	0,260	0,772	1,952	0,643	1,337	0,922	0,201
(7 g/L)	Inferior	0,056	0,010	0,017	0,136	0,123	0,010	<0,001	<0,001	0,029	0,813	0,196	9,632	9,584	0,817	0,139	0,088
CA1-33	Superior	0,054	0,056	0,030	0,077	0,155	0,044	0,055	0,041	0,388	0,053	0,068	0,079	0,644	0,482	0,196	0,085
(Branco)	Inferior	0,074	0,120	0,033	0,062	0,075	0,054	0,069	0,051	0,213	0,051	0,019	0,081	0,068	0,117	0,112	0,069
		Mn (mg/l)								Ni (mg/l)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA1-33	Superior	0,031	0,660	0,313	0,413	1,779	1,615	2,063	0,628	0,034	<0,001	<0,001	<0,001	0,116	0,041	0,060	0,075
(1 g/L)	Inferior	0,027	0,696	0,893	2,756	4,904	3,964	2,046	1,087	0,046	0,001	<0,001	0,008	0,052	0,058	0,049	0,049
CA1-33	Superior	0,113	1,206	2,680	3,722	5,388	6,097	9,633	8,790	0,020	<0,001	<0,001	<0,001	0,048	0,022	0,052	0,054
(3 g/L)	Inferior	0,019	0,684	0,893	1,476	2,055	3,915	7,359	5,357	0,022	<0,001	<0,001	<0,001	0,047	0,060	0,050	0,040
CA1-33	Superior	0,168	0,319	2,542	1,270	1,457	3,824	6,240	0,857	0,034	<0,001	0,019	<0,001	0,021	0,065	0,036	0,057
(7 g/L)	Inferior	0,005	0,448	2,757	1,874	2,859	1,220	5,505	0,650	0,021	0,005	0,008	<0,001	0,041	0,023	0,050	0,051
CA1-33	Superior	0,067	0,013	0,058	0,129	0,503	0,535	0,553	0,608	0,012	<0,001	<0,001	0,014	0,069	0,050	0,043	0,059
(Branco)	Inferior	0,324	0,032	0,025	0,051	0,073	0,070	0,193	0,887	0,012	<0,001	<0,001	<0,001	0,029	0,038	0,053	0,038

		Pb (mg/l)								Zn (mg/l)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA1-33 (1 g/L)	Superior	0,289	0,232	0,199	0,229	0,251	0,070	0,190	0,191	33,829	20,020	7,597	24,433	25,955	13,861	14,530	9,762
	Inferior	0,252	0,289	0,238	0,200	0,204	0,094	0,084	0,245	24,771	17,031	12,327	31,531	19,728	12,143	15,378	8,219
CA1-33 (3 g/L)	Superior	0,301	0,283	0,184	0,165	0,137	0,184	0,188	0,137	30,630	9,227	5,125	8,038	14,023	9,378	5,436	5,585
	Inferior	0,306	0,254	0,217	0,259	0,125	0,111	0,145	0,020	17,373	4,304	4,403	5,576	8,567	5,400	5,610	3,586
CA1-33 (7 g/L)	Superior	0,282	0,255	0,202	0,190	0,267	0,192	0,054	0,020	30,442	11,643	24,882	13,814	19,275	14,291	5,297	1,450
	Inferior	0,299	0,269	0,242	0,252	0,111	0,101	0,069	0,018	24,750	8,815	23,874	47,151	27,510	15,020	15,834	1,077
CA1-33 (Branco)	Superior	0,217	0,239	0,285	0,313	0,245	0,164	0,194	0,212	26,300	14,641	20,717	10,513	35,223	12,741	16,871	18,531
	Inferior	0,254	0,218	0,202	0,196	0,142	0,208	0,242	0,209	17,747	8,841	10,484	5,073	10,001	17,530	18,585	17,985

Legenda:

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)														
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,500	0,010	-	0,005	0,005	0,050	2,000	2,450	-	-	0,400	-	0,020	0,010	1,050

Tabela AII.7: Teores em arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco totais obtidos nas águas intersticiais recolhidas periodicamente, para a amostra CA2-10, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.

(A vermelho encontram-se os valores obtidos, por elemento, superiores aos considerados padrão pela COPAM 2011)

		As (mg/l)								Cd (mg/l)							
		Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA2-10 (1 g/L)	Superior	0,019	0,002	<0,001	0,002	0,052	0,012	0,009	<0,001	5,312	1,924	1,573	2,001	2,041	0,446	1,293	0,787
	Inferior	0,095	0,002	0,002	0,003	< 0,001	0,028	0,026	0,033	3,824	2,506	0,986	2,925	1,686	1,643	2,036	2,482
CA2-10 (3 g/L)	Superior	0,019	<0,001	0,002	<0,001	< 0,001	0,012	0,050	0,057	3,421	0,967	0,826	0,754	2,144	2,028	2,483	1,943
	Inferior	0,095	0,002	0,048	0,048	0,023	0,022	0,040	0,012	3,824	2,016	1,608	2,771	2,290	2,194	2,528	2,392
CA2-10 (7 g/L)	Superior	0,030	0,002	0,004	0,003	0,004	< 0,001	0,053	0,020	3,819	0,994	0,917	1,152	0,452	1,817	2,386	0,135
	Inferior	0,095	0,003	0,016	<0,001	0,021	< 0,001	0,026	0,006	3,796	2,176	2,505	3,037	1,918	2,427	3,423	0,033
CA2-10 (Branco)	Superior	0,009	0,027	0,004	0,007	0,058	0,022	0,049	0,011	1,131	0,440	1,009	1,128	1,743	1,062	1,080	0,743
	Inferior	0,095	0,055	0,004	0,003	0,069	0,017	0,016	0,040	2,364	0,480	1,734	2,020	2,021	1,624	1,703	1,567
		Co (mg/l)								Cr (mg/l)							
		Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA2-10 (1 g/L)	Superior	0,689	0,409	0,355	0,478	0,573	0,149	0,298	0,211	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Inferior	0,577	0,400	0,202	0,499	0,355	0,336	0,374	0,432	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
CA2-10 (3 g/L)	Superior	0,481	0,154	0,166	0,177	0,501	0,421	0,468	0,358	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Inferior	0,577	0,294	0,285	0,487	0,401	0,406	0,541	0,397	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
CA2-10 (7 g/L)	Superior	0,563	0,164	0,173	0,206	0,084	0,305	0,402	0,055	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Inferior	0,531	0,291	0,331	0,419	0,351	0,398	0,528	0,046	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
CA2-10 (Branco)	Superior	0,190	0,073	0,166	0,192	0,340	0,225	0,168	0,134	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Inferior	0,401	0,091	0,260	0,329	0,344	0,259	0,260	0,231	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
		Cu (mg/l)								Fe (mg/l)							

		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA2-10 (1 g/L)	Superior	0,632	0,035	0,072	0,911	0,179	0,031	0,082	0,029	<0,001	18,962	15,912	15,522	21,956	17,952	4,982	7,912
	Inferior	0,209	0,126	0,129	0,345	0,719	0,206	0,245	0,136	<0,001	1,748	20,263	0,217	5,997	2,797	0,217	0,485
CA2-10 (3 g/L)	Superior	0,401	0,022	0,014	0,210	0,028	0,302	0,488	0,128	0,093	1,981	16,624	22,196	32,107	0,631	3,085	0,331
	Inferior	0,209	<0,001	0,071	0,259	0,345	0,152	0,146	0,078	<0,001	2,280	18,555	15,205	3,444	0,164	0,588	0,800
CA2-10 (7 g/L)	Superior	0,298	0,004	0,007	0,074	0,024	0,009	0,206	<0,001	0,066	4,736	12,254	15,884	11,801	12,118	0,675	0,050
	Inferior	0,072	0,067	0,124	0,604	0,249	0,190	0,272	<0,001	0,132	3,864	0,503	3,825	9,991	0,467	0,532	0,022
CA2-10 (Branco)	Superior	0,273	0,207	0,195	0,220	0,309	0,119	0,295	0,235	0,119	0,185	0,091	0,605	0,722	0,464	0,350	0,134
	Inferior	0,727	0,159	0,175	0,364	0,243	0,229	0,172	0,290	0,203	0,070	0,061	0,180	0,216	0,307	0,134	0,359
Mn (mg/l)										Ni (mg/l)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA2-10 (1 g/L)	Superior	58,229	28,452	22,358	16,521	47,341	10,362	26,029	16,978	1,442	0,660	0,526	0,659	0,701	0,205	0,429	0,274
	Inferior	44,586	34,886	15,845	34,500	32,468	25,385	39,619	40,035	1,268	0,839	0,310	1,050	1,909	0,622	0,768	0,872
CA2-10 (3 g/L)	Superior	40,550	11,876	13,244	12,123	46,875	38,589	47,193	1,690	0,996	0,265	0,272	0,237	0,652	0,706	0,821	0,620
	Inferior	44,586	27,967	19,184	18,831	44,632	37,034	49,216	30,298	1,268	0,573	0,461	0,854	0,721	0,685	0,811	0,734
CA2-10 (7 g/L)	Superior	46,321	13,210	12,456	21,351	9,076	27,339	45,332	0,560	1,178	0,261	0,304	0,351	0,146	0,552	0,760	0,075
	Inferior	45,654	24,543	20,932	9,609	32,098	37,227	56,022	0,386	1,173	0,591	0,661	0,920	0,508	0,753	1,001	0,043
CA2-10 (Branco)	Superior	17,099	5,844	11,650	18,069	24,886	14,826	13,751	12,042	0,368	0,150	0,310	0,352	0,629	0,385	0,359	0,263
	Inferior	33,102	5,524	14,079	22,766	31,790	21,425	24,058	20,585	0,880	0,145	0,558	0,687	0,689	0,555	0,593	0,503
Pb (mg/l)										Zn (mg/l)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA2-10 (1 g/L)	Superior	1,335	0,908	1,233	1,873	0,777	0,580	1,204	0,925	1086,975	463,788	348,625	153,958	630,505	80,056	277,749	20,386
	Inferior	1,441	0,862	0,823	1,298	1,138	0,949	0,951	1,119	813,227	598,541	200,158	617,770	505,096	274,308	563,533	65,357
CA2-10	Superior	1,268	0,981	0,890	0,826	0,281	0,785	1,575	0,665	748,753	197,817	172,489	159,015	662,651	463,750	571,887	37,312

(3 g/L)	Inferior	1,441	1,094	1,273	2,223	1,491	0,760	0,779	0,833	813,227	477,801	304,245	159,106	778,375	457,426	430,876	46,457
CA2-10	Superior	0,915	0,835	0,780	0,831	0,159	0,542	1,137	0,075	834,005	229,372	201,508	11,642	112,876	330,939	544,967	1,356
(7 g/L)	Inferior	1,335	1,301	1,344	1,588	1,222	0,731	1,226	0,023	825,667	424,402	367,519	54,413	524,321	480,578	665,790	0,980
CA2-10	Superior	1,555	1,772	1,816	1,081	2,178	1,765	1,169	1,466	325,277	116,798	225,583	296,724	312,677	204,316	220,047	233,869
(Branco)	Inferior	2,511	2,533	1,767	1,369	1,400	1,707	2,739	2,708	652,729	132,231	150,020	481,666	463,789	328,585	351,023	293,544

Legenda:

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)															
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	
3,500	0,010	-	0,005	0,005	0,050	2,000	2,450	-	-	0,400	-	0,020	0,010	1,050	

Tabela AII.8: Teores em arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco totais obtidos nas águas intersticiais recolhidas periodicamente, para a amostra CA3-18, resultantes do ensaio experimental de aplicação de nanopartículas.

(A vermelho encontram-se os valores obtidos, por elemento, superiores aos considerados padrão pela COPAM 2011)

		As (mg/l)								Cd (mg/l)							
		Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injecção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA3-18	Superior	0,007	<0,001	0,020	0,040	0,001	0,033	0,032	0,049	2,487	1,563	2,995	1,756	1,428	1,494	0,253	0,638
(1 g/L)	Inferior	0,002	0,005	0,017	0,017	0,018	0,035	0,015	0,015	2,194	2,001	1,536	2,693	1,835	1,650	1,865	1,821
CA3-18	Superior	0,048	0,001	0,003	0,003	0,002	0,010	0,018	0,045	2,557	1,773	2,072	2,060	1,640	0,418	1,344	0,681
(3 g/L)	Inferior	0,137	0,002	0,003	0,002	0,022	0,001	0,011	0,002	2,072	1,493	1,590	2,592	1,719	1,101	0,348	0,670
CA3-18	Superior	0,002	0,002	0,005	0,003	0,009	0,000	0,006	0,022	2,636	0,769	0,944	0,967	0,456	0,343	0,960	0,028
(7 g/L)	Inferior	0,003	<0,001	0,001	<0,001	0,006	0,012	0,049	0,001	2,484	1,159	0,758	1,796	1,422	1,877	2,579	0,011

CA3-18	Superior	0,003	0,097	0,002	0,003	0,003	0,007	0,054	0,037	3,198	0,885	2,365	1,844	1,834	1,304	1,687	1,772
Branco	Inferior	0,003	0,006	0,017	0,011	0,006	0,028	0,022	0,021	2,250	1,179	2,310	1,892	2,392	1,657	1,878	1,862
		Co (mg/l)								Cr (mg/l)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA3-18	Superior	0,030	0,039	0,067	0,151	0,144	0,182	0,056	0,173	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
(1 g/L)	Inferior	0,030	0,036	0,031	0,022	0,073	0,127	0,058	0,127	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CA3-18	Superior	0,023	0,031	0,042	0,060	0,050	0,049	0,093	0,082	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
(3 g/L)	Inferior	0,049	0,045	0,045	0,068	0,105	0,045	0,084	0,069	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CA3-18	Superior	0,032	0,032	0,031	0,075	0,044	0,097	0,083	0,037	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
(7 g/L)	Inferior	0,032	0,031	0,029	0,077	0,117	0,083	0,091	0,040	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CA3-18	Superior	0,032	0,030	0,044	0,050	0,024	0,107	0,078	0,037	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Branco	Inferior	0,037	0,019	0,037	0,033	0,089	0,061	0,039	0,040	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
		Cu (mg/l)								Fe (mg/l)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA3-18	Superior	0,077	0,006	0,033	0,254	0,074	0,018	0,001	0,001	0,165	0,785	0,667	2,729	5,718	17,588	0,137	0,334
(1 g/L)	Inferior	0,041	0,013	0,015	0,401	0,086	0,056	0,164	0,001	0,017	0,019	0,444	0,608	0,207	0,480	0,127	0,234
CA3-18	Superior	0,088	0,006	0,013	0,400	0,077	0,102	0,002	0,001	0,028	0,122	0,217	1,622	1,694	1,505	4,632	0,933
(3 g/L)	Inferior	0,075	0,020	0,014	0,432	0,035	0,022	0,001	0,001	0,007	0,026	0,520	0,571	0,407	0,270	1,298	0,877
CA3-18	Superior	0,050	0,001	0,039	0,200	0,045	0,001	0,001	0,001	0,029	0,412	1,531	13,792	7,992	7,159	1,148	1,021
(7 g/L)	Inferior	0,072	0,001	0,039	0,431	0,150	0,099	0,011	0,001	0,047	0,195	0,166	2,096	2,164	0,516	0,292	1,022
CA3-18	Superior	0,058	0,013	0,389	0,359	0,275	0,116	0,155	0,090	0,048	0,065	0,096	0,241	0,172	0,215	0,238	0,069
Branco	Inferior	0,096	0,001	0,650	0,312	0,149	0,065	0,030	0,012	0,024	0,044	0,245	0,379	0,201	0,193	0,231	0,085
		Mn (mg/l)								Ni (mg/l)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas

CA3-18	Superior	2,080	3,010	8,161	15,187	21,902	20,125	5,230	27,318	0,078	0,003	0,055	0,034	0,072	0,099	0,059	0,074
(1 g/L)	Inferior	0,826	1,551	1,635	2,215	9,910	19,432	6,023	12,775	0,056	0,028	0,023	0,051	0,073	0,091	0,078	0,111
CA3-18	Superior	2,928	2,808	4,447	5,547	6,610	4,537	10,781	14,550	0,060	0,017	0,035	0,044	0,061	0,045	0,098	0,059
(3 g/L)	Inferior	7,160	6,101	4,043	8,641	9,836	8,289	5,006	1,176	0,048	0,024	0,023	0,066	0,093	0,038	0,064	0,061
CA3-18	Superior	0,776	1,181	2,103	4,453	2,121	8,693	15,711	15,022	0,042	0,011	0,018	0,018	0,037	0,071	0,077	0,043
(7 g/L)	Inferior	2,022	2,024	2,625	10,035	23,636	26,086	24,563	0,682	0,031	0,013	<0,001	0,036	0,070	0,050	0,109	0,030
CA3-18	Superior	1,010	0,387	0,970	0,985	0,604	0,662	1,207	0,155	0,073	0,014	0,053	0,042	0,058	0,105	0,124	0,036
Branco	Inferior	3,336	0,025	0,480	0,278	0,382	0,381	0,092	0,299	0,045	0,016	0,041	0,031	0,123	0,073	0,077	0,060
		Pb (mg/l)								Zn (mg/l)							
		Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas	Pré-injeção	24 horas	48 horas	72 horas	1 semana	2 semanas	4 semanas	8 semanas
CA3-18	Superior	0,503	0,456	0,387	0,328	0,241	0,385	0,069	0,040	52,074	25,035	56,063	48,662	26,291	31,216	14,585	8,135
(1 g/L)	Inferior	0,915	0,641	0,598	0,143	0,089	0,141	0,156	0,155	47,362	42,560	33,595	34,997	43,504	20,242	41,290	16,041
CA3-18	Superior	0,497	0,229	0,343	0,317	0,095	0,114	0,149	0,031	53,942	33,059	31,630	34,233	41,238	18,103	33,400	6,228
(3 g/L)	Inferior	0,601	0,402	0,399	0,301	0,267	0,077	0,069	0,015	40,516	25,688	27,044	4,587	37,650	16,014	4,417	2,006
CA3-18	Superior	0,329	0,351	0,367	0,310	0,175	0,105	0,087	0,025	31,926	18,085	25,240	4,959	15,520	9,277	25,470	5,652
(7 g/L)	Inferior	0,498	0,432	0,445	0,456	0,221	0,088	0,131	<0,001	44,107	22,782	11,531	4,681	39,809	23,483	37,750	0,531
CA3-18	Superior	0,352	0,379	0,427	0,129	0,132	0,220	0,154	0,233	49,975	20,833	23,149	60,730	34,480	35,669	30,957	38,391
Branco	Inferior	0,615	0,565	0,358	0,291	0,161	0,274	0,393	0,378	43,995	21,137	57,227	40,297	47,036	28,287	36,431	28,176

Legenda:

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)														
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,500	0,010	-	0,005	0,005	0,050	2,000	2,450	-	-	0,400	-	0,020	0,010	1,050

Tabela AII.9: Teores em arsênio, cádmio, cobalto, crômio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco totais obtidos nas amostras compósitas das águas intersticiais recolhidas no início e no final do ensaio experimental de injeção de nanopartículas para as três amostras analisadas.

(A vermelho encontram-se os valores obtidos, por elemento, superiores aos considerados padrão pela COPAM 2011)

As (mg/l)								
Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final
CA1-33 (1 g/L)	0,005	0,001	CA2-10 (1 g/L)	0,057	0,003	CA3-18 (1 g/L)	0,004	0,001
CA1-33 (3 g/L)	0,055	0,001	CA2-10 (3 g/L)	0,057	0,001	CA3-18 (3 g/L)	0,093	0,001
CA1-33 (7 g/L)	0,023	0,001	CA2-10 (7 g/L)	0,062	0,001	CA3-18 (7 g/L)	0,003	0,001
CA1-33 (Branco)	0,061	0,001	CA2-10 (Branco)	0,052	0,001	CA3-18 (Branco)	0,003	0,001
Cd (mg/l)								
Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final
CA1-33 (1 g/L)	0,137	0,081	CA2-10 (1 g/L)	4,568	0,813	CA3-18 (1 g/L)	2,340	1,382
CA1-33 (3 g/L)	0,110	0,041	CA2-10 (3 g/L)	3,622	2,699	CA3-18 (3 g/L)	2,315	1,184
CA1-33 (7 g/L)	0,093	0,041	CA2-10 (7 g/L)	3,808	2,134	CA3-18 (7 g/L)	2,560	1,868
CA1-33 (Branco)	0,115	0,040	CA2-10 (Branco)	1,748	1,359	CA3-18 (Branco)	2,724	1,438
Co (mg/l)								
Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final
CA1-33 (1 g/L)	0,028	0,016	CA2-10 (1 g/L)	0,633	0,297	CA3-18 (1 g/L)	0,030	0,028
CA1-33 (3 g/L)	0,031	0,049	CA2-10 (3 g/L)	0,529	0,422	CA3-18 (3 g/L)	0,036	0,063
CA1-33 (7 g/L)	0,028	0,054	CA2-10 (7 g/L)	0,547	0,318	CA3-18 (7 g/L)	0,032	0,036
CA1-33 (Branco)	0,032	0,015	CA2-10 (Branco)	0,296	0,191	CA3-18 (Branco)	0,035	0,019
Cu (mg/l)								
Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final
CA1-33 (1 g/L)	0,375	0,044	CA2-10 (1 g/L)	0,420	0,123	CA3-18 (1 g/L)	0,059	0,068
CA1-33 (3 g/L)	0,102	0,028	CA2-10 (3 g/L)	0,305	0,474	CA3-18 (3 g/L)	0,081	0,050
CA1-33 (7 g/L)	0,061	0,023	CA2-10 (7 g/L)	0,185	0,190	CA3-18 (7 g/L)	0,061	0,142
CA1-33 (Branco)	0,064	0,019	CA2-10 (Branco)	0,500	0,214	CA3-18 (Branco)	0,077	0,098
Fe (mg/l)								
Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final
CA1-33 (1 g/L)	0,066	0,048	CA2-10 (1 g/L)	0,001	3,117	CA3-18 (1 g/L)	0,091	0,037
CA1-33 (3 g/L)	0,070	0,020	CA2-10 (3 g/L)	0,047	0,467	CA3-18 (3 g/L)	0,017	0,020
CA1-33 (7 g/L)	0,096	0,015	CA2-10 (7 g/L)	0,099	0,102	CA3-18 (7 g/L)	0,038	0,104
CA1-33 (Branco)	0,301	0,007	CA2-10 (Branco)	0,161	0,098	CA3-18 (Branco)	0,036	0,018
Mn (mg/l)								
Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final
CA1-33 (1 g/L)	0,029	0,339	CA2-10 (1 g/L)	51,407	27,937	CA3-18 (1 g/L)	1,453	11,503
CA1-33 (3 g/L)	0,066	12,703	CA2-10 (3 g/L)	42,568	34,257	CA3-18 (3 g/L)	5,044	29,603
CA1-33 (7 g/L)	0,086	12,874	CA2-10 (7 g/L)	45,988	32,123	CA3-18 (7 g/L)	1,399	1,502

CA1-33 (Branco)	0,196	0,319	CA2-10 (Branco)	25,101	19,022	CA3-18 (Branco)	2,173	0,177
Ni (mg/l)								
Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final
CA1-33 (1 g/L)	0,040	0,025	CA2-10 (1 g/L)	1,355	0,324	CA3-18 (1 g/L)	0,067	0,042
CA1-33 (3 g/L)	0,021	0,021	CA2-10 (3 g/L)	1,132	1,080	CA3-18 (3 g/L)	0,054	0,040
CA1-33 (7 g/L)	0,027	0,023	CA2-10 (7 g/L)	1,175	0,638	CA3-18 (7 g/L)	0,036	0,075
CA1-33 (Branco)	0,012	0,019	CA2-10 (Branco)	0,624	0,498	CA3-18 (Branco)	0,059	0,041
Pb (mg/l)								
Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final
CA1-33 (1 g/L)	0,271	0,111	CA2-10 (1 g/L)	1,388	0,750	CA3-18 (1 g/L)	0,709	0,060
CA1-33 (3 g/L)	0,304	0,031	CA2-10 (3 g/L)	1,355	1,267	CA3-18 (3 g/L)	0,549	0,036
CA1-33 (7 g/L)	0,290	0,020	CA2-10 (7 g/L)	1,125	0,648	CA3-18 (7 g/L)	0,414	0,094
CA1-33 (Branco)	0,235	0,041	CA2-10 (Branco)	2,033	0,892	CA3-18 (Branco)	0,484	0,055
Zn (mg/l)								
Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final	Amostra	Inicial (Média)	Final
CA1-33 (1 g/L)	29,300	31,957	CA2-10 (1 g/L)	950,101	309,307	CA3-18 (1 g/L)	49,718	35,870
CA1-33 (3 g/L)	24,001	8,852	CA2-10 (3 g/L)	780,990	610,141	CA3-18 (3 g/L)	47,229	24,658
CA1-33 (7 g/L)	27,596	9,205	CA2-10 (7 g/L)	829,836	546,192	CA3-18 (7 g/L)	38,016	48,646
CA1-33 (Branco)	22,023	17,001	CA2-10 (Branco)	489,003	444,873	CA3-18 (Branco)	46,985	39,998

Legenda:

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)				
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)
3,500	0,010	-	0,005	0,005
Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)
0,050	2,000	2,450	-	-
Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,400	-	0,020	0,010	1,050

Anexo B

Página

Anexo BI - Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade nas Águas Intersticiais (AI). 632

Anexo BII - Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade nas Aluviões. 631

Anexo BIII – Tomografia Eléctrica. 639

**Anexo BI - Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade nas
Águas Intersticiais (AI).**

	Página
Figura BI.1: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – As.	624
Figura BI.2: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Cd.	625
Figura BI.3: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Cu.	626
Figura BI.4: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Mn.	627
Figura BI.5: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Ni.	628
Figura BI.6: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Pb.	629
Figura BI.7: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Zn.	630

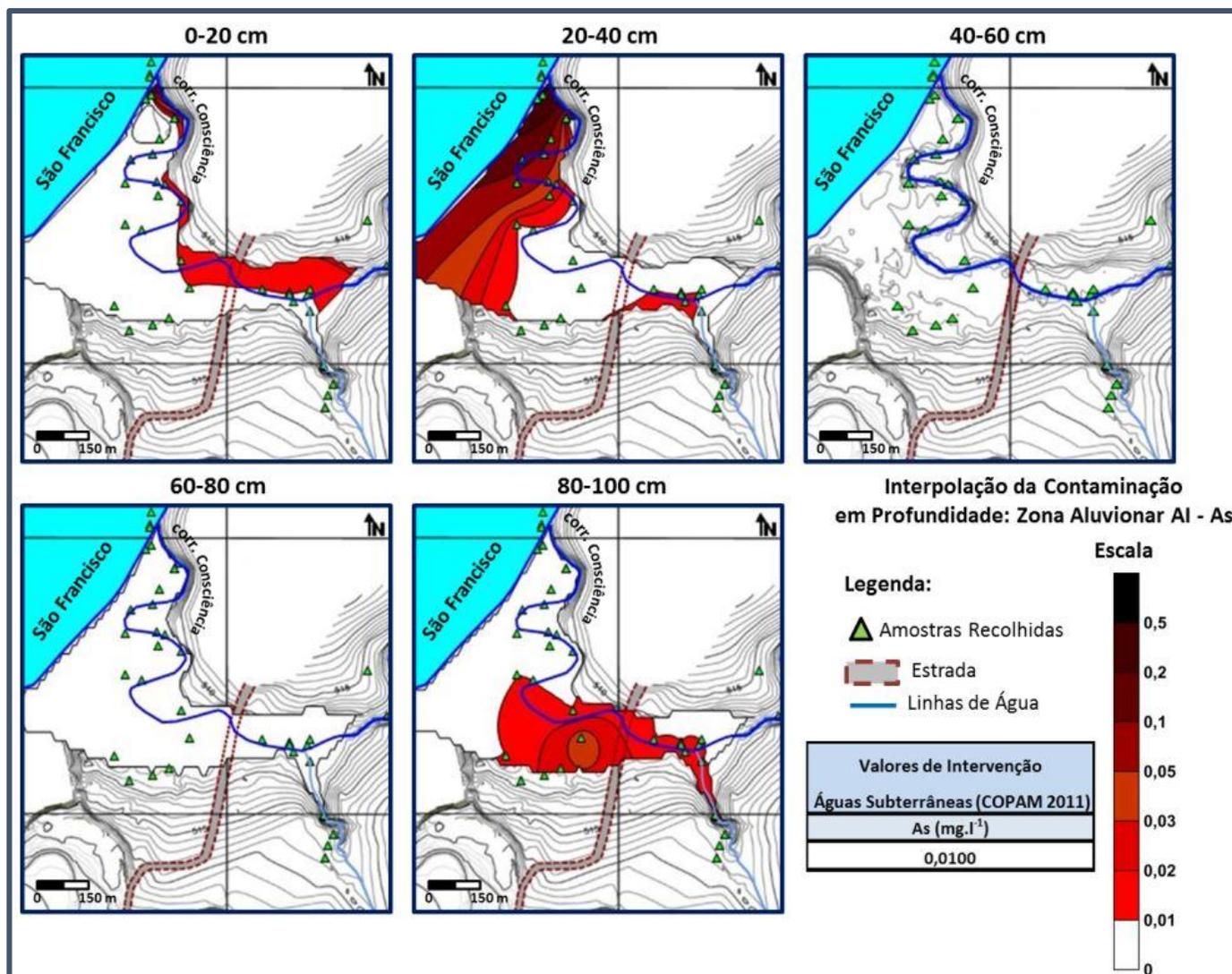


Figura BI.1: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – As.

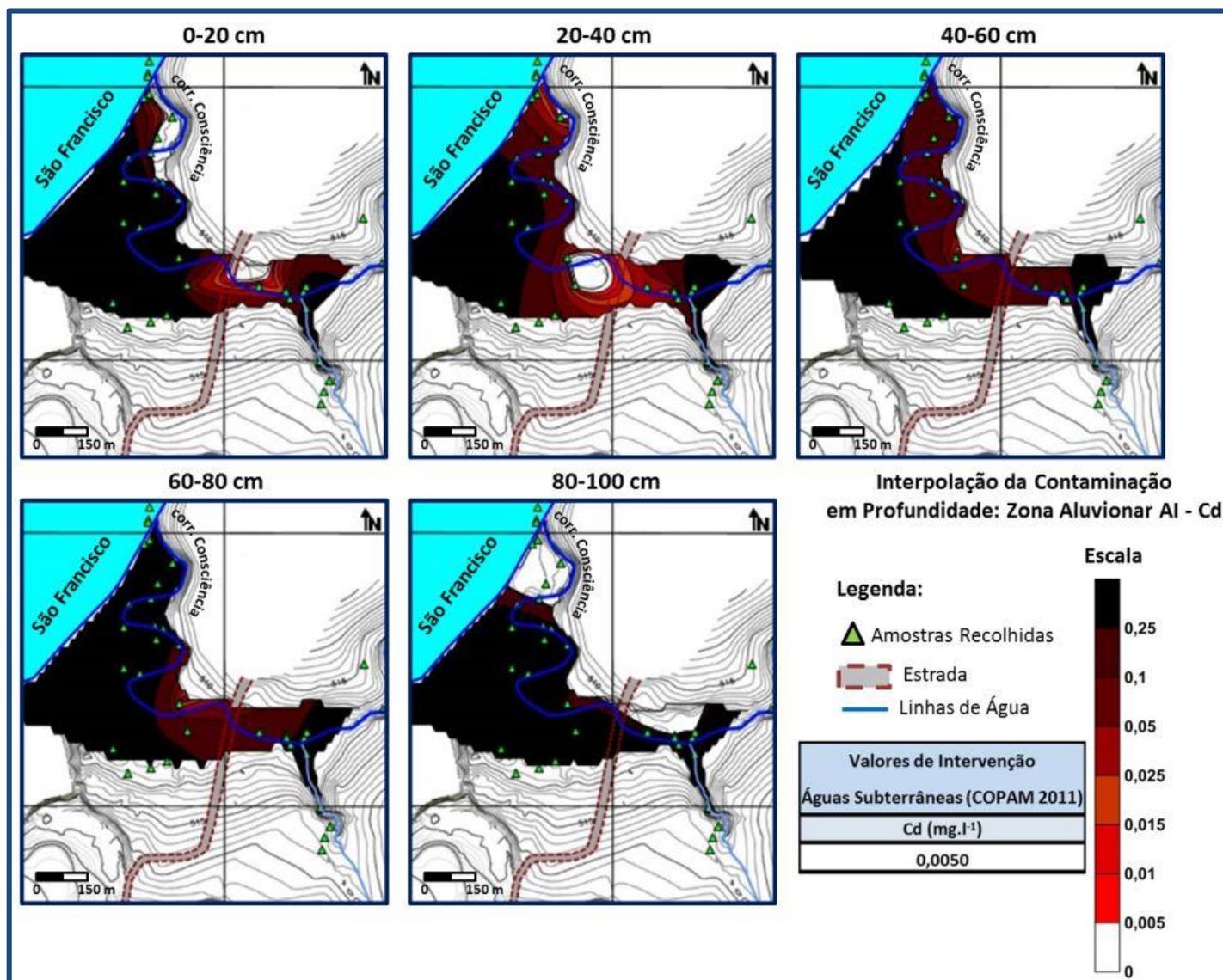


Figura BI.2: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Cd.

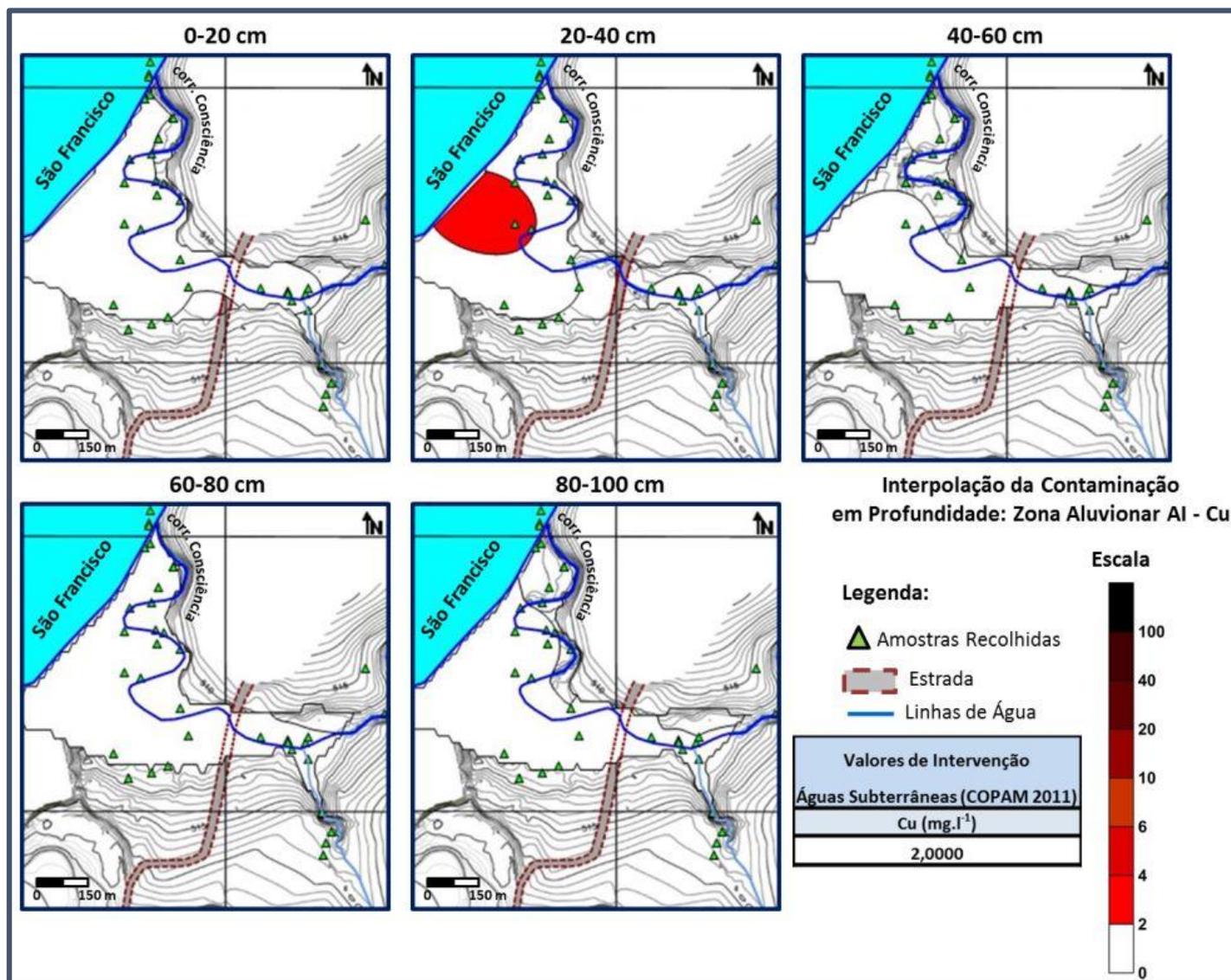


Figura BI.3: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Cu.

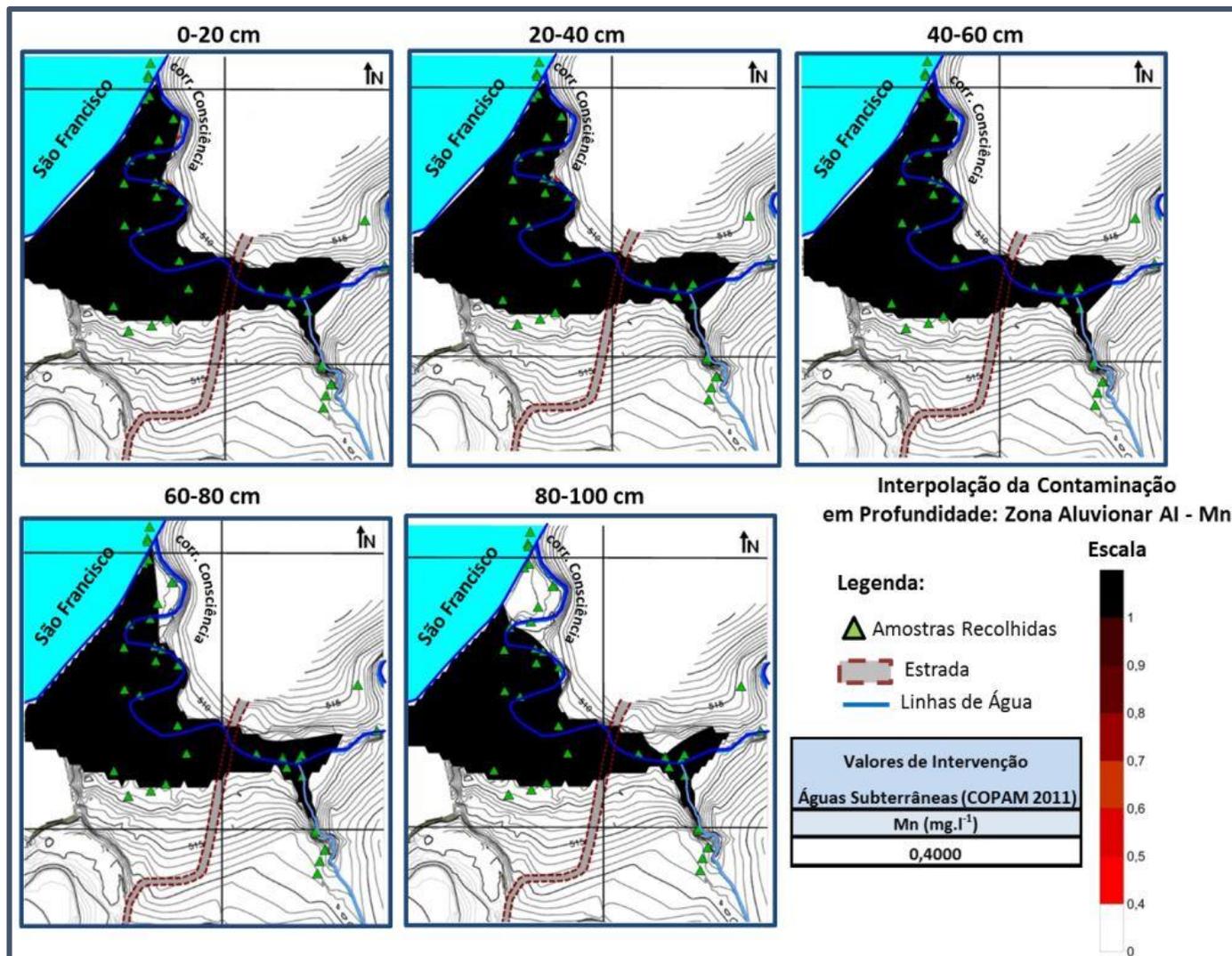


Figura BI.4: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Mn.

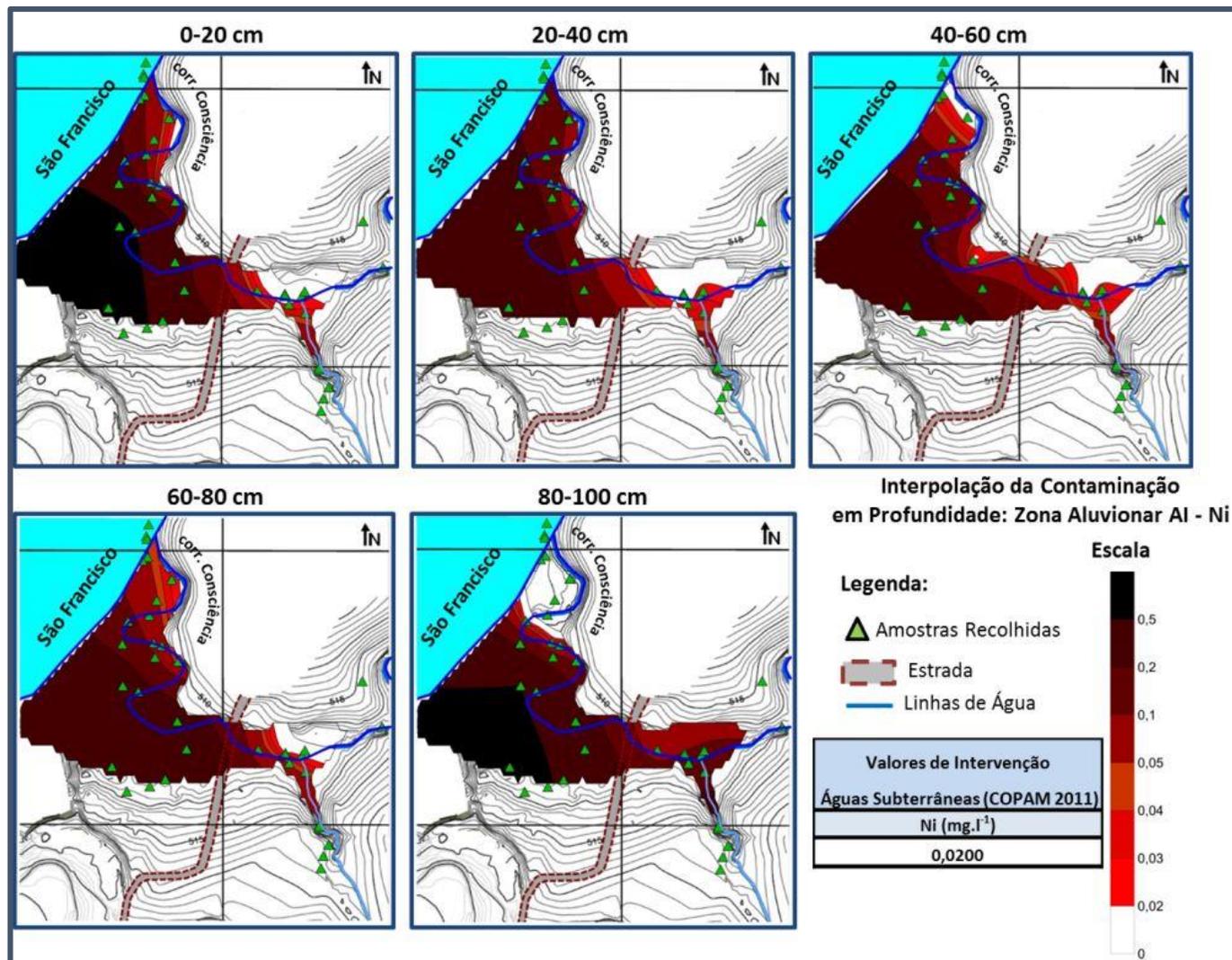


Figura BI.5: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Ni.

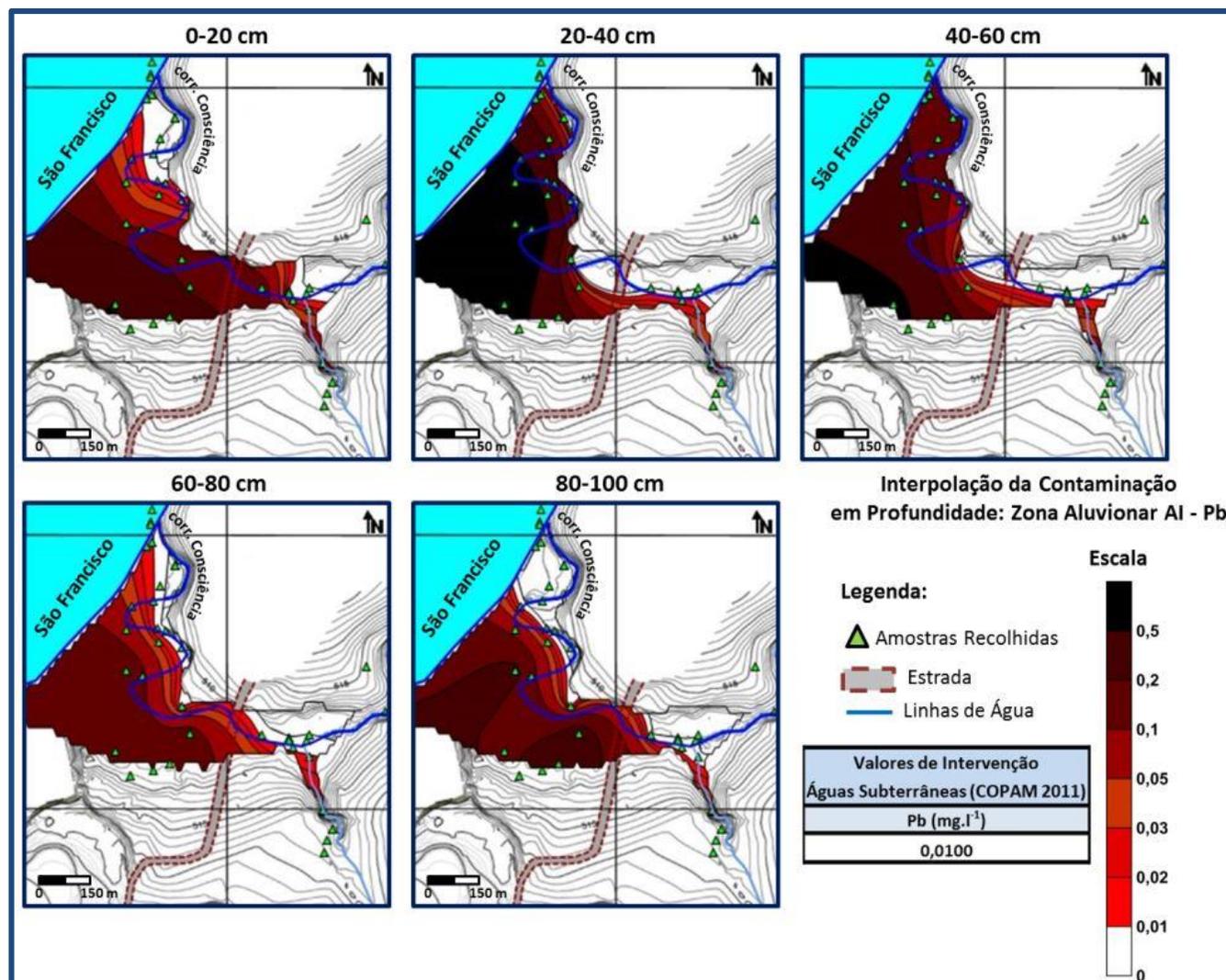


Figura BI.6: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Pb.

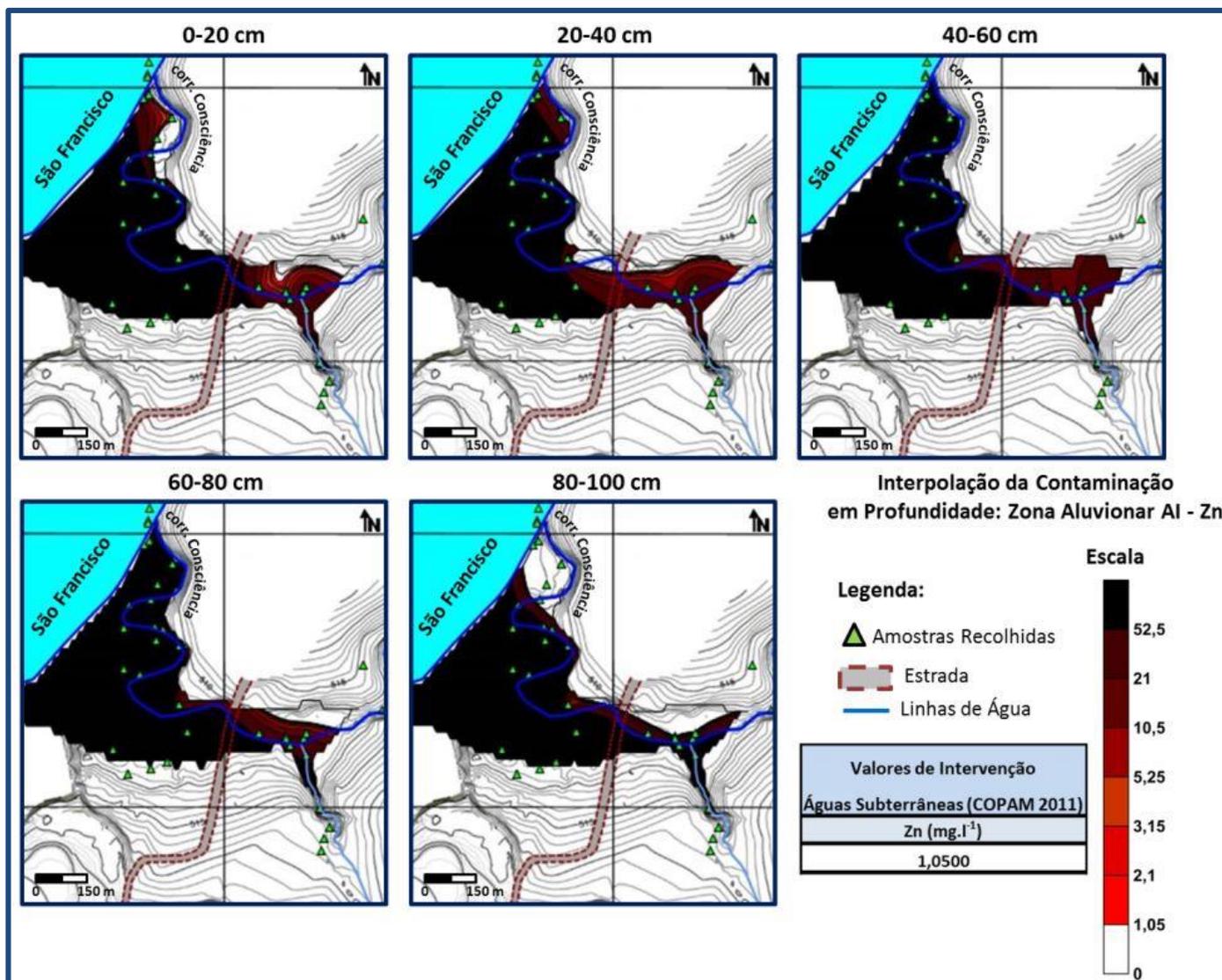


Figura BI.7: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar AI – Zn.

**Anexo BII - Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade nas
Aluviões. (AR – *Aqua Regia*)**

	Página
Figura BII.1: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. <i>Aqua Regia</i> – As.	632
Figura BII.2: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. <i>Aqua Regia</i> – Cd.	633
Figura BII.3: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. <i>Aqua Regia</i> – Cr.	634
Figura BII.4: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. <i>Aqua Regia</i> – Cu.	635
Figura BII.5: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. <i>Aqua Regia</i> – Ni.	636
Figura BII.6: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. <i>Aqua Regia</i> – Pb.	637
Figura BII.7: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. <i>Aqua Regia</i> – Zn.	638

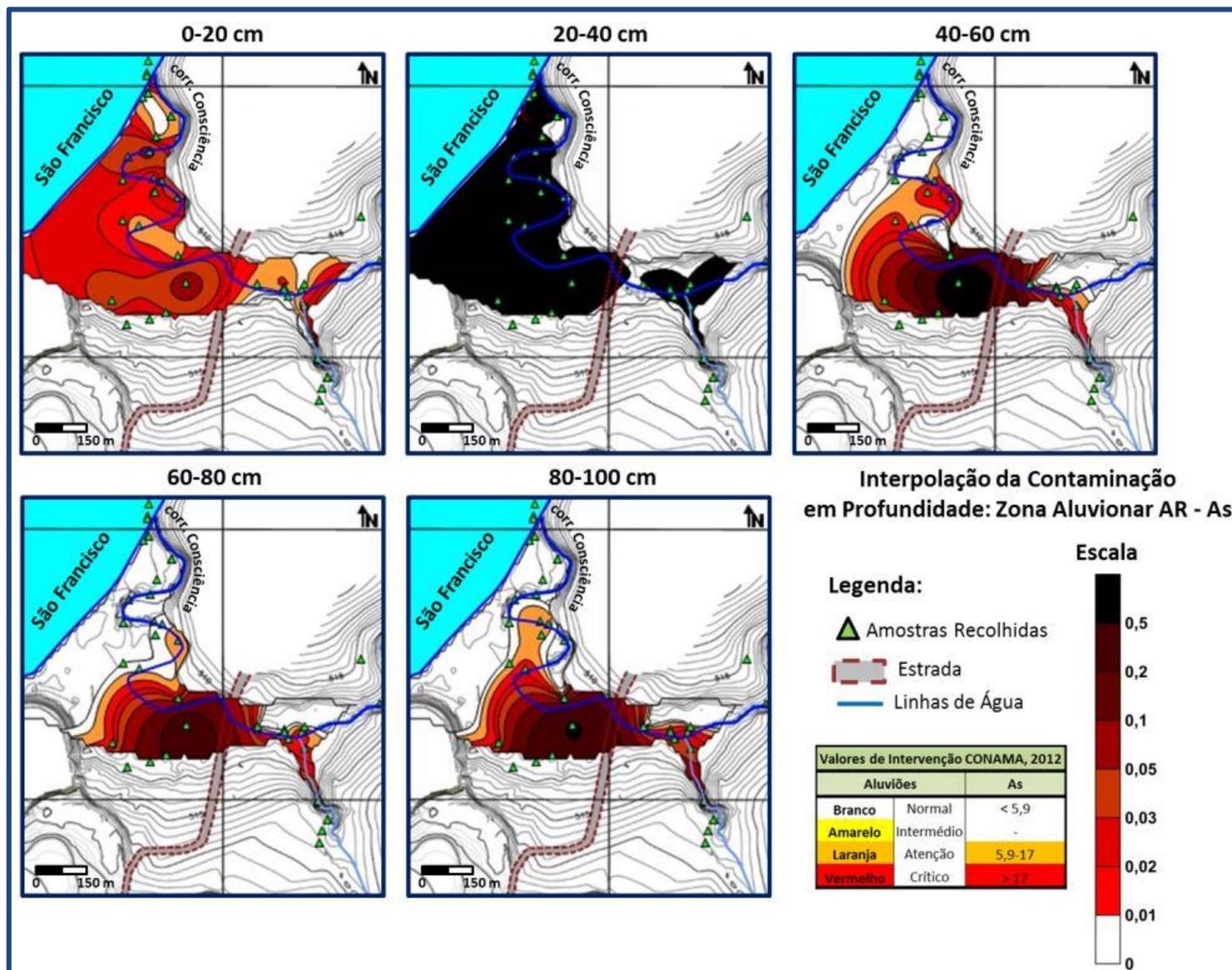


Figura BII.1: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. *Aqua Regia* – As.

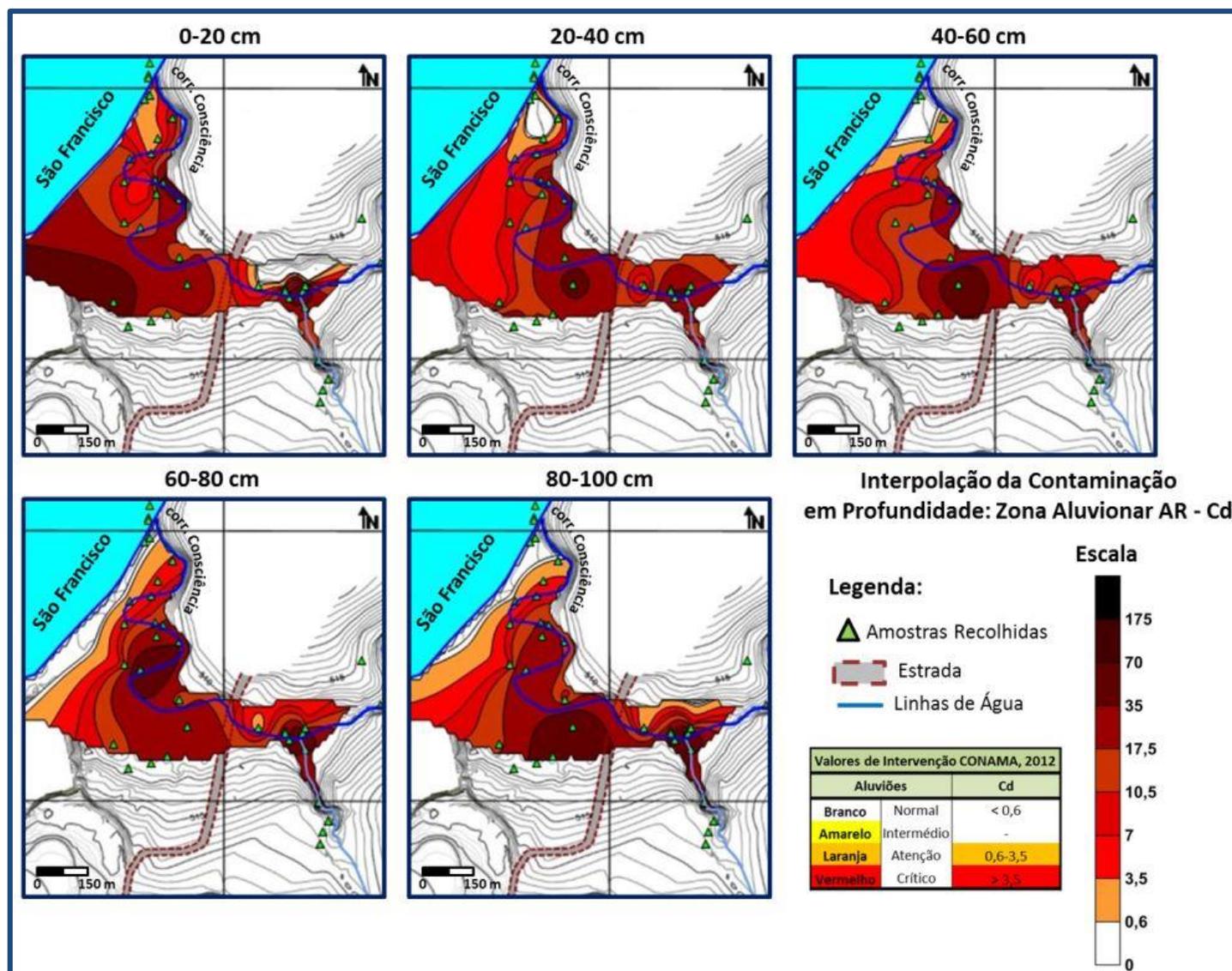


Figura BII.2: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. *Aqua Regia* – Cd.

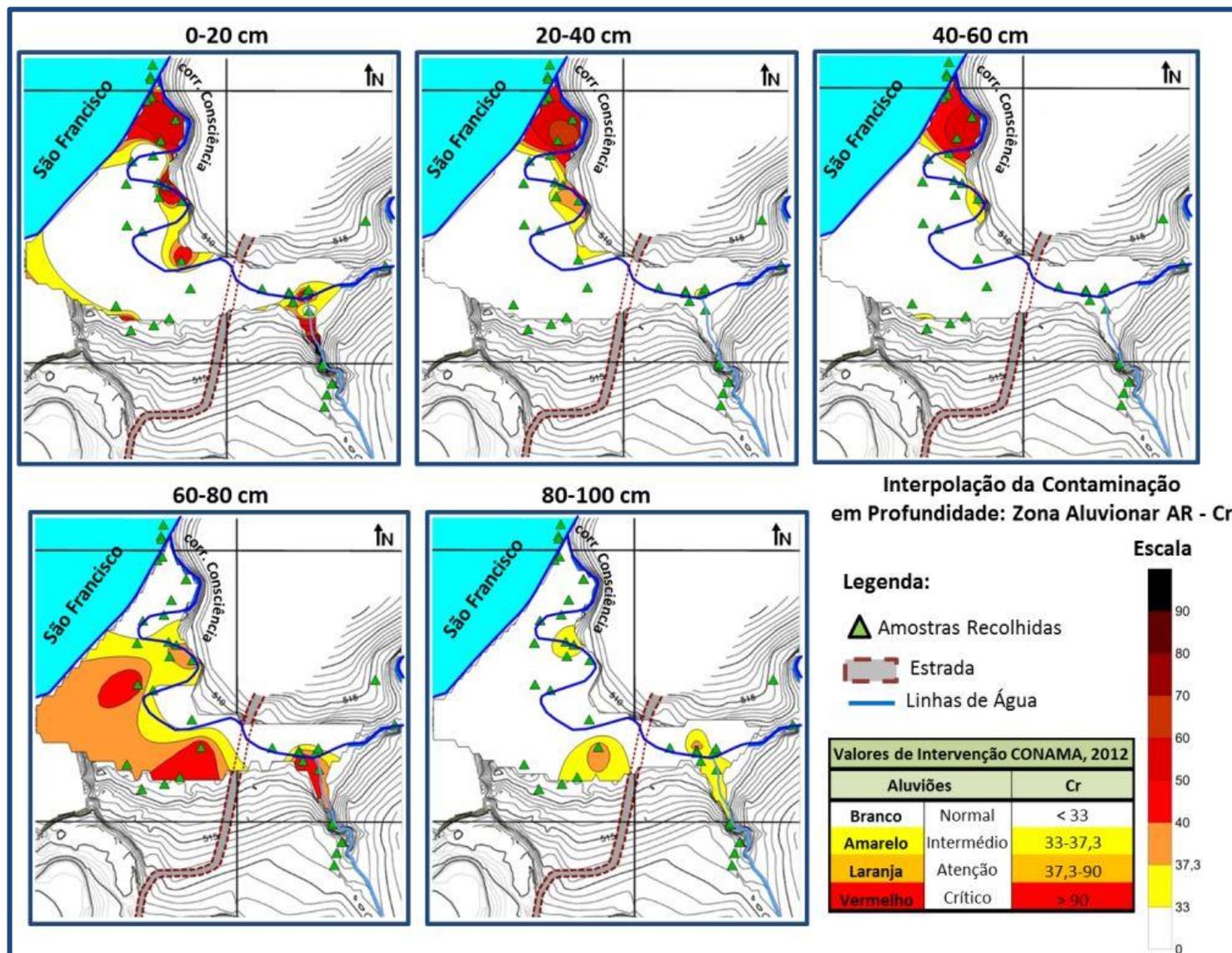


Figura BII.3: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. *Aqua Regia* – Cr.

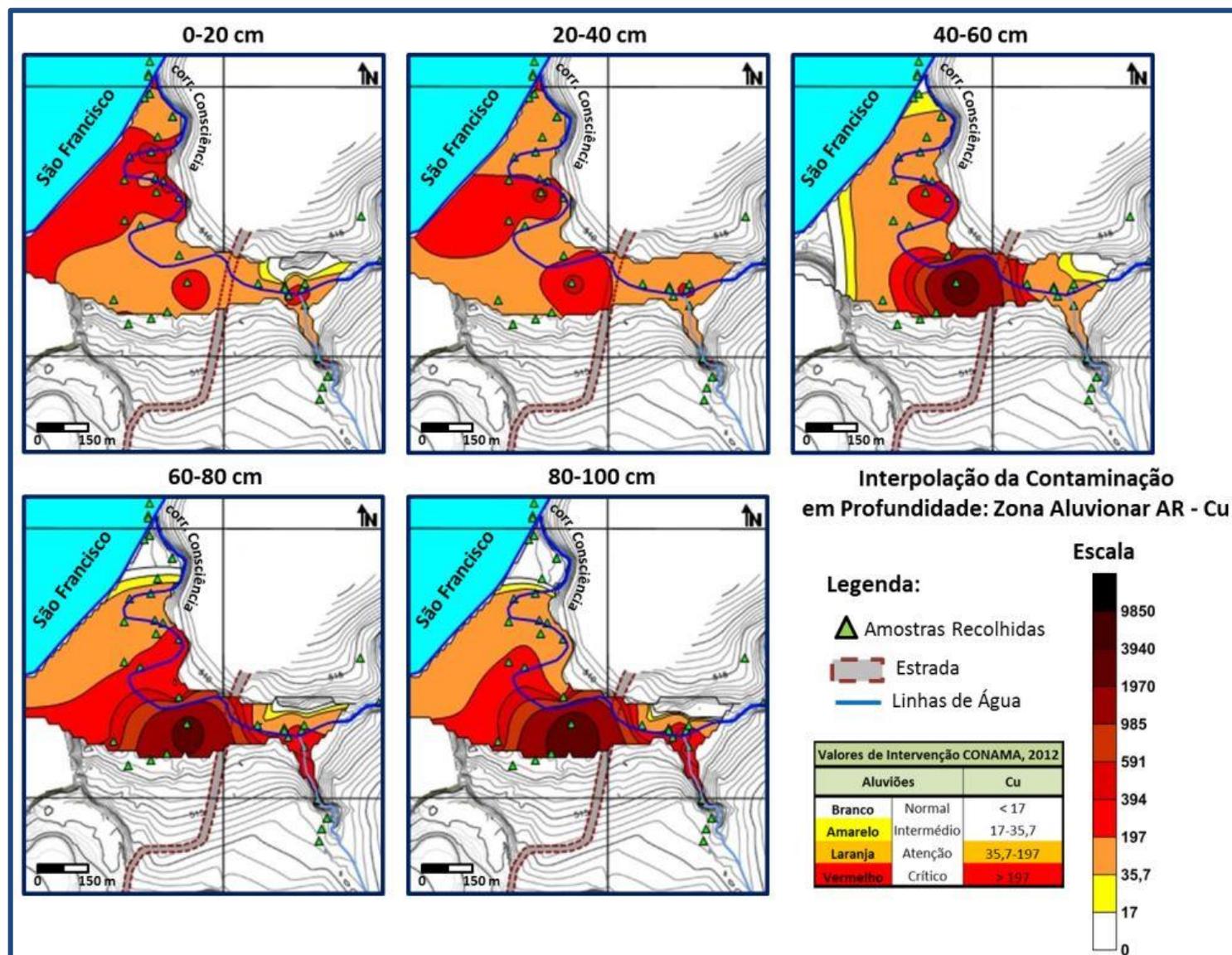


Figura BII.4: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. *Aqua Regia* – Cu.

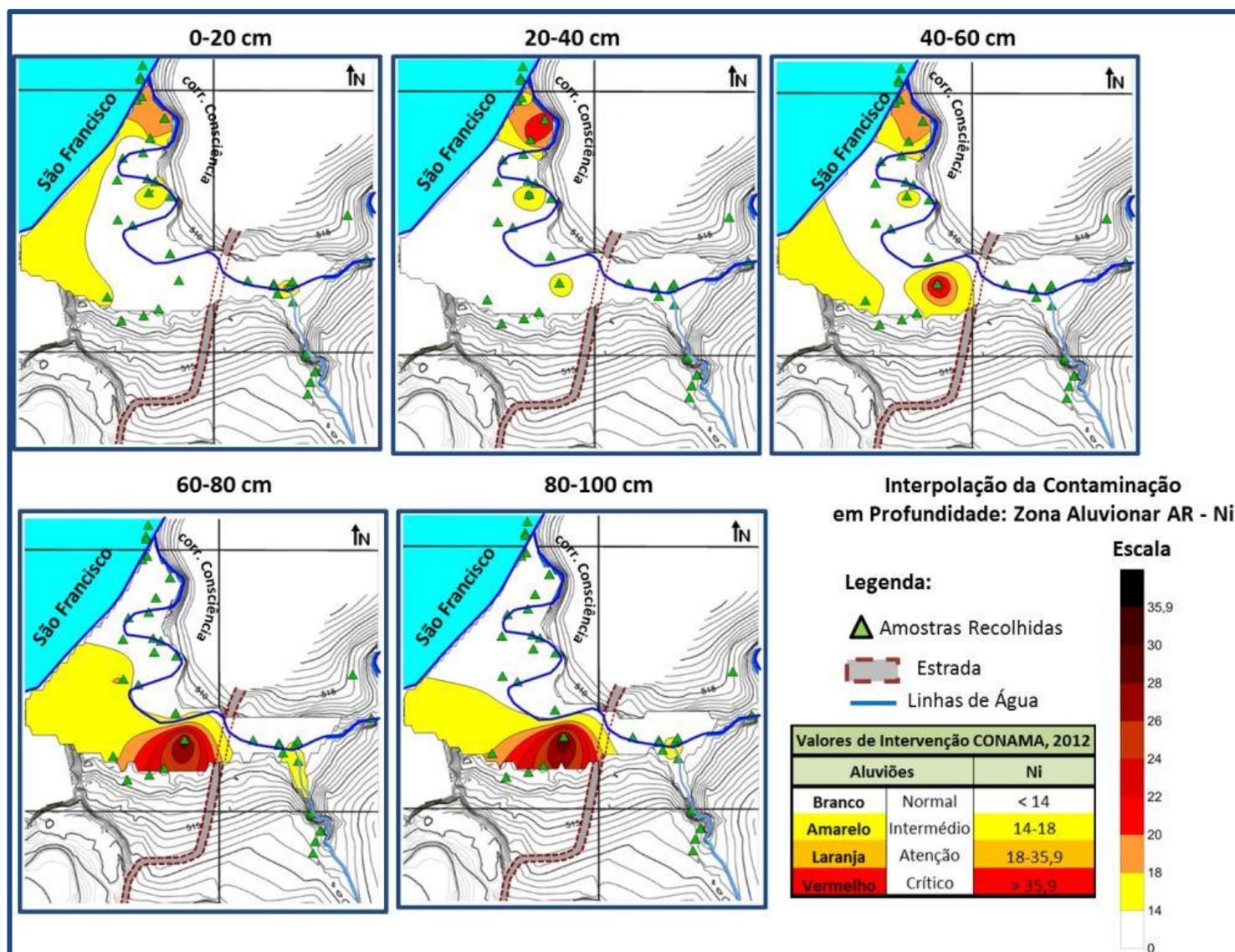


Figura BII.5: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. *Aqua Regia* – Ni.

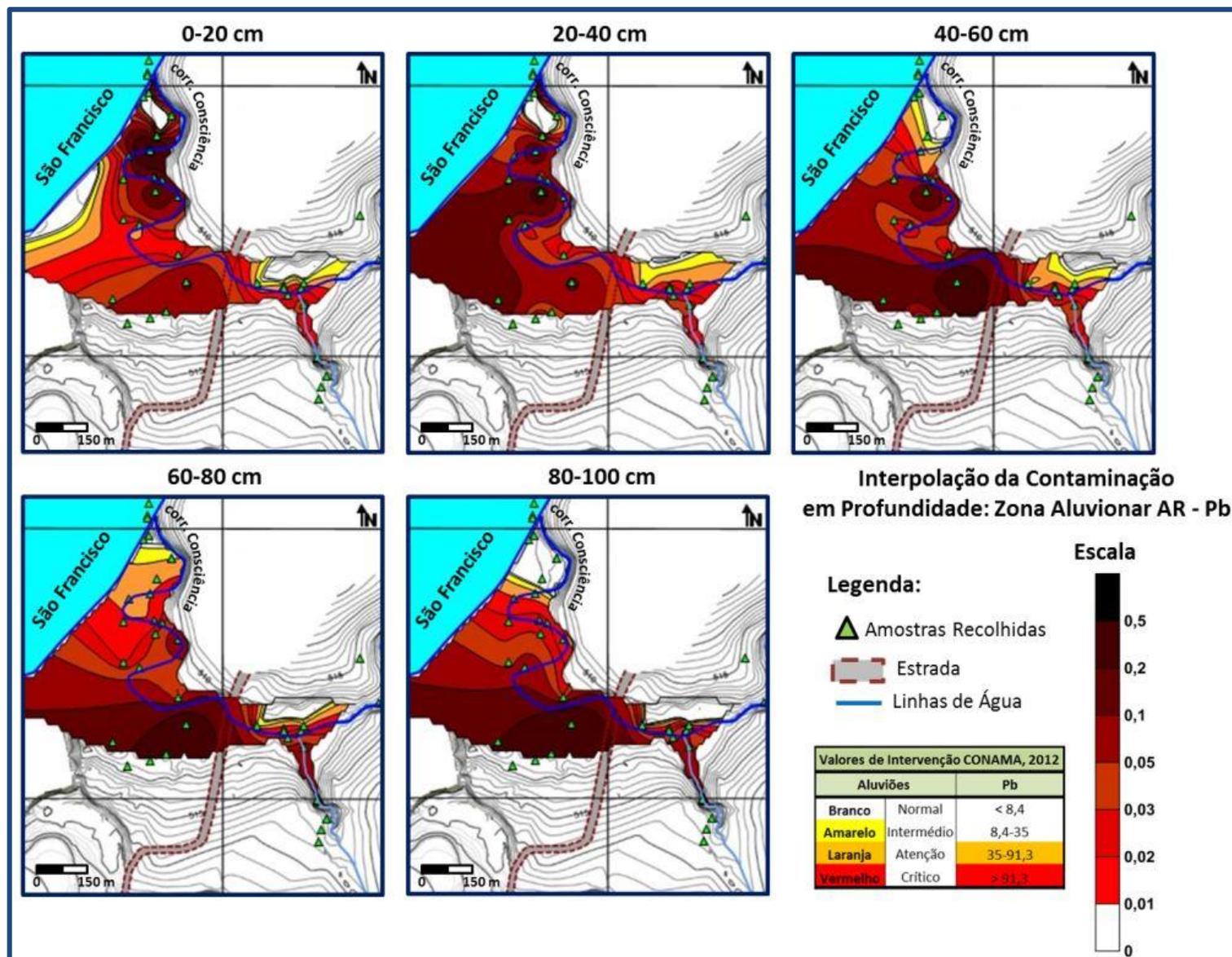


Figura BII.6: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. *Aqua Regia* – Pb.

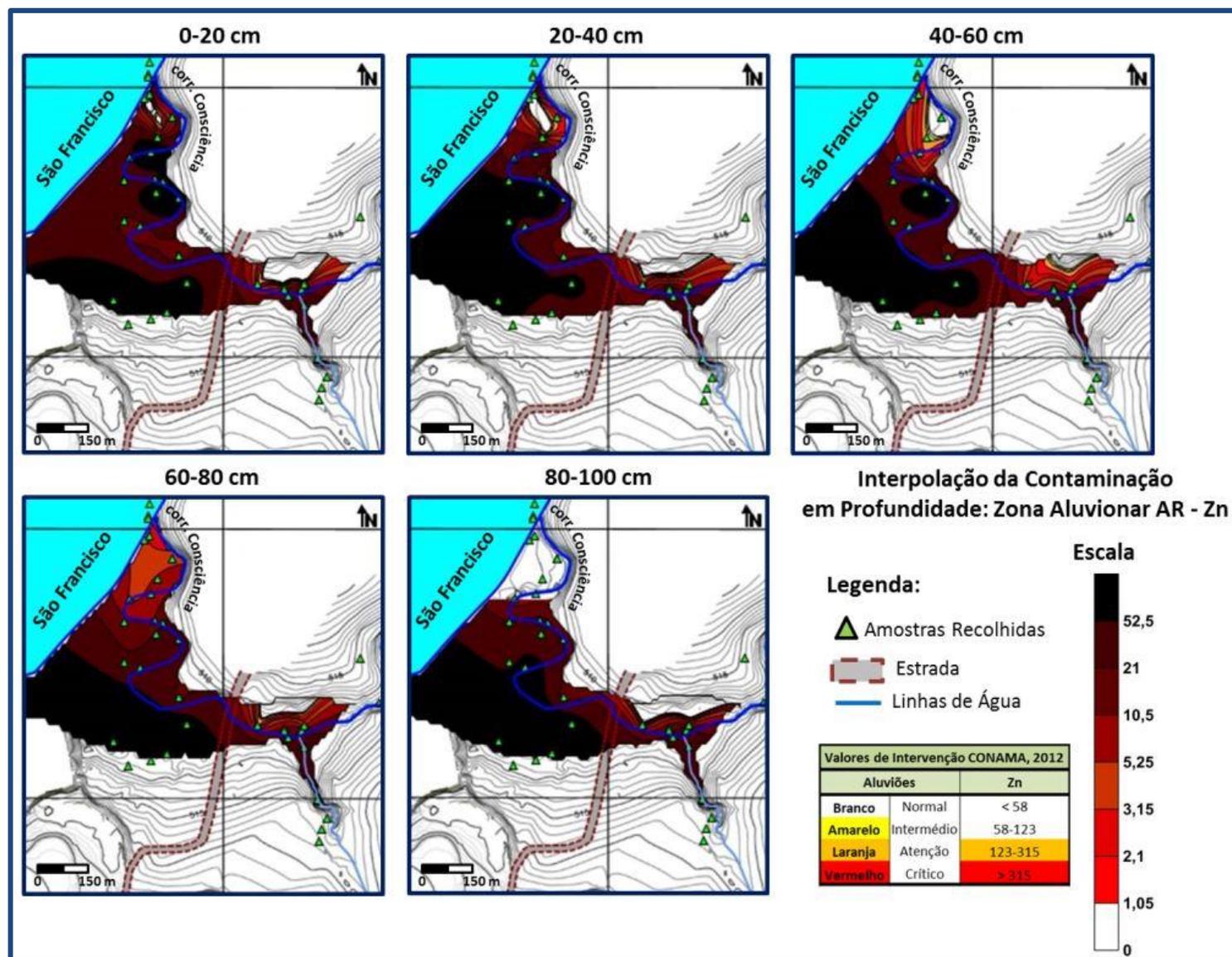


Figura BII.7: Distribuição Espacial da Contaminação em Profundidade: Zona Aluvionar Dig. *Aqua Regia* – Zn.

Anexo BIII – Tomografía Eléctrica

	Página
Figura BIII.1: Modelo de Tomografía Eléctrica obtenido para el perfil 2.	640
Figura BIII.2: Modelo de Tomografía Eléctrica obtenido para el perfil 3.	641
Figura BIII.3: Modelo de Tomografía Eléctrica obtenido para el perfil 4.	642
Figura BIII.4: Modelo de Tomografía Eléctrica obtenido para el perfil 5.	643

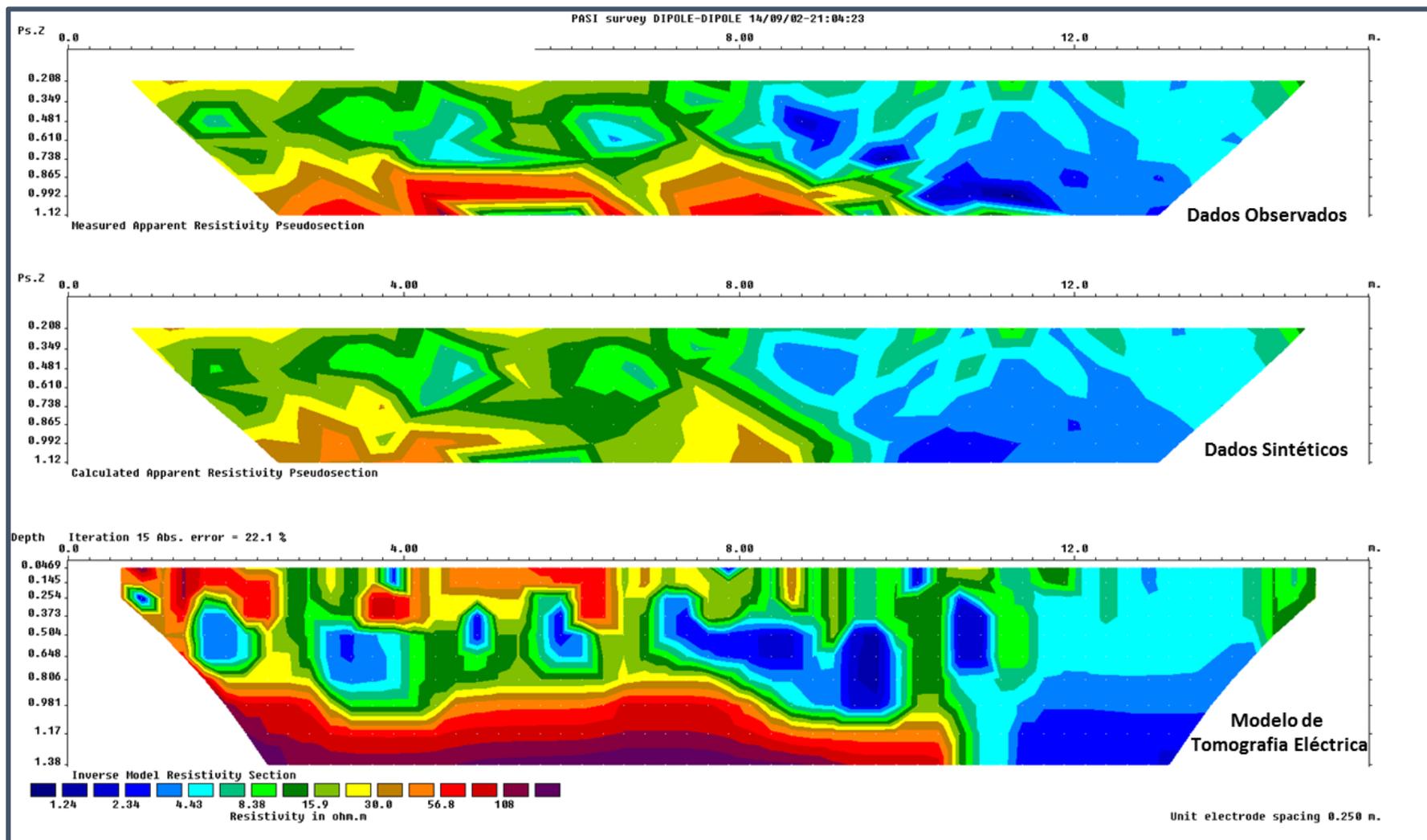


Figura BIII.1: Modelo de Tomografia Eléctrica obtido para o perfil 2.

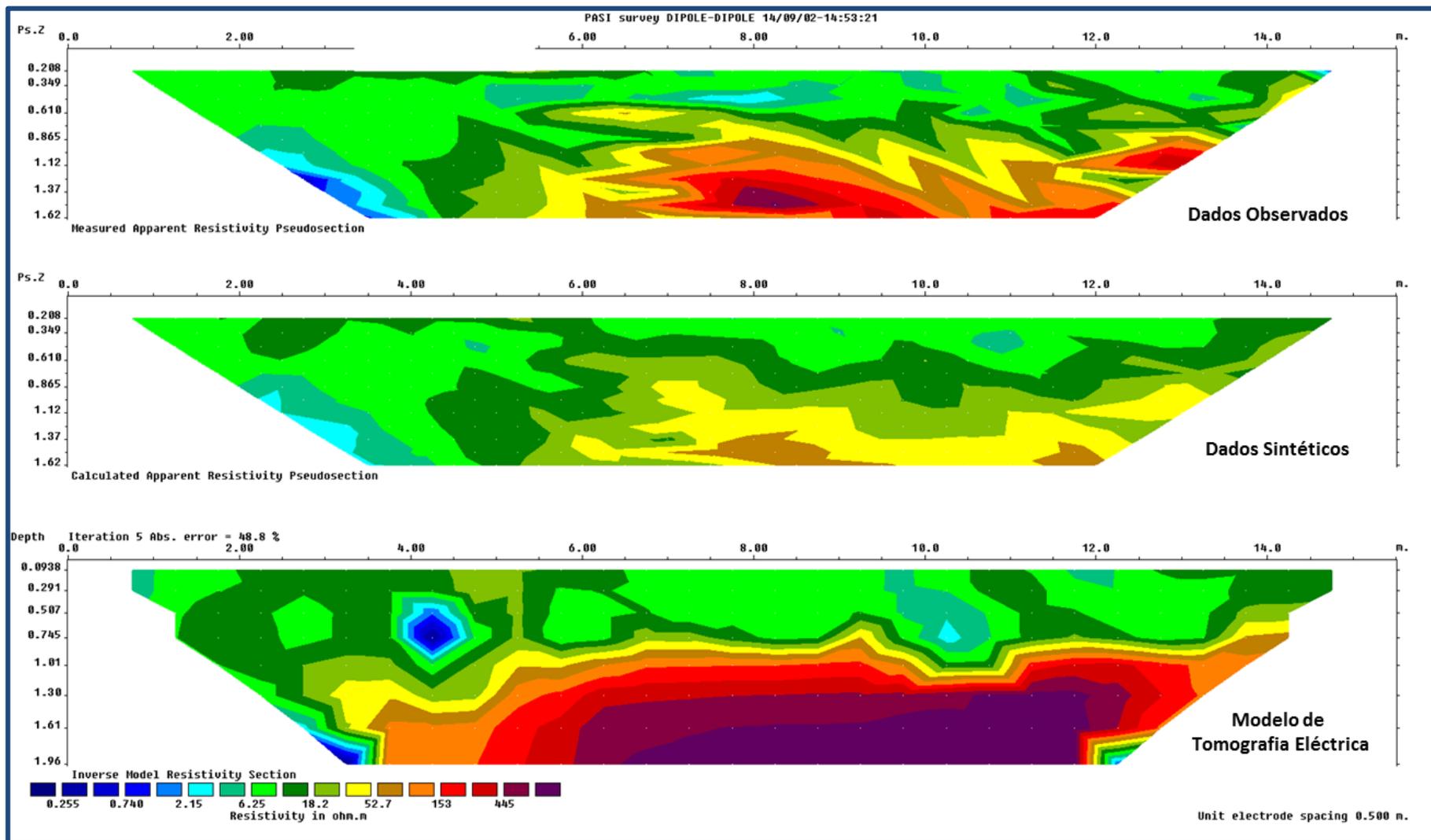


Figura BIII.2: Modelo de Tomografia Eléctrica obtido para o perfil 3.

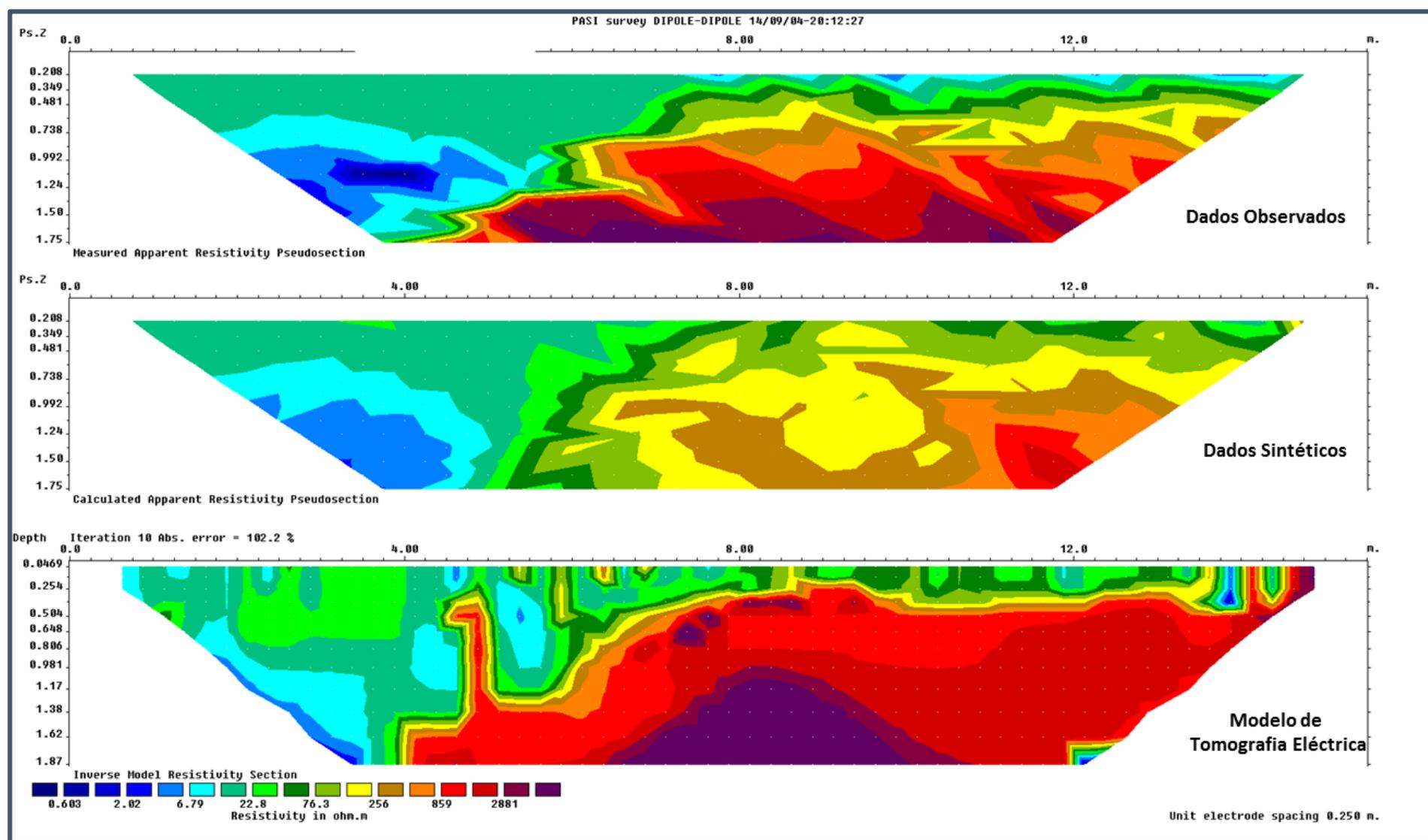


Figura BIII.3: Modelo de Tomografia Eléctrica obtido para o perfil 4.

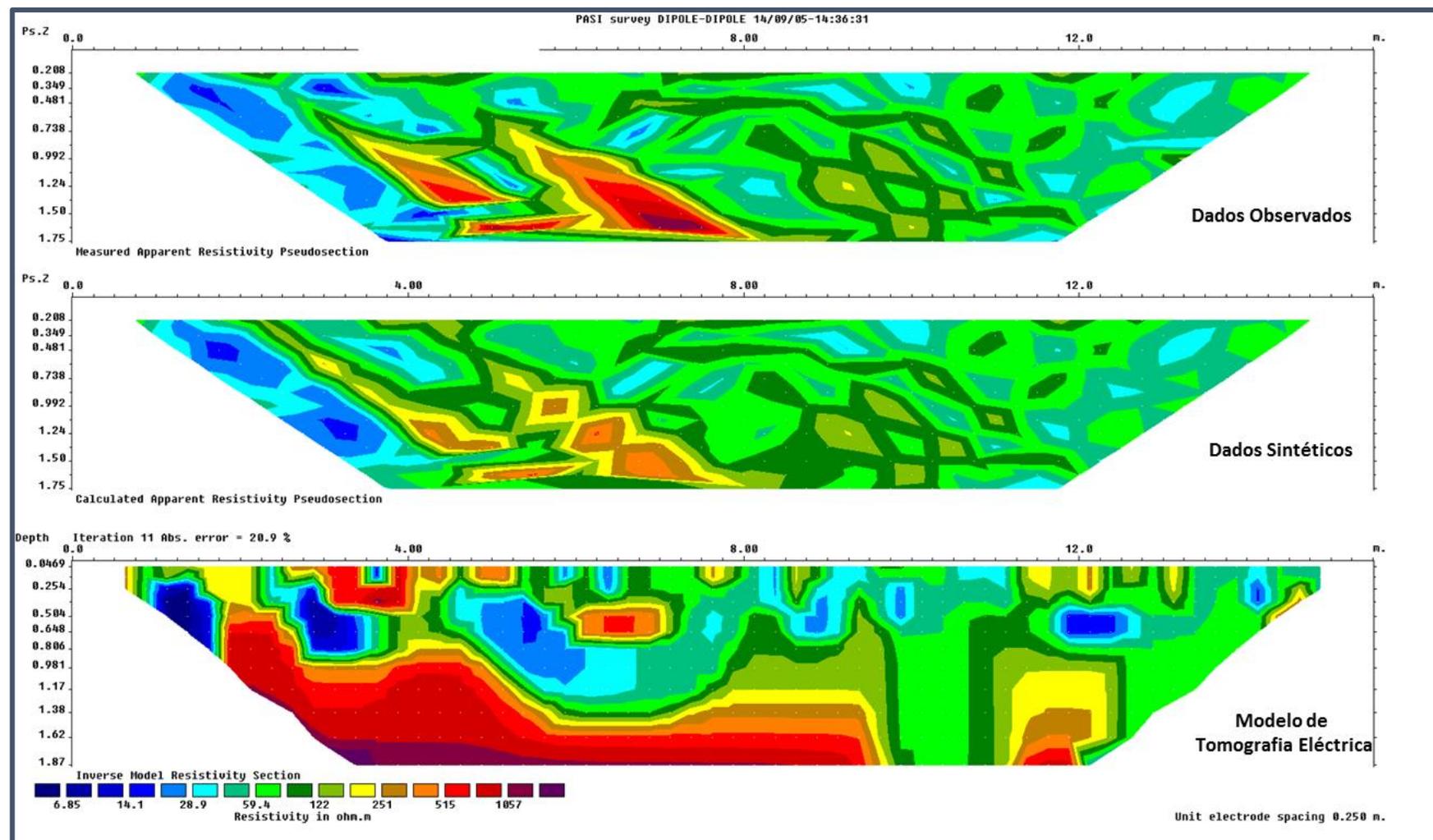


Figura BIII.4: Modelo de Tomografia Eléctrica obtido para o perfil 5.



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO
E FORMAÇÃO AVANÇADA

Contactos:

Universidade de Évora

Instituto de Investigação e Formação Avançada - IIFA

Palácio do Vimioso | Largo Marquês de Marialva, Apart. 94

7002-554 Évora | Portugal

Tel: (+351) 266 706 581

