

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



A geoquímica de solos e sedimentos de corrente na prospecção de mineralizações sulfuretas no sector NE da Zona Sul Portuguesa

Filipa Alexandra Diamantino da Luz

Mestrado em Geologia Económica
(Especialização em Prospecção Mineral)

2011

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



A geoquímica de solos e sedimentos de corrente na prospecção de mineralizações sulfuretadas no sector NE da Zona Sul Portuguesa

Filipa Alexandra Diamantino da Luz

Orientador: António Mateus (FCUL)

Co-orientador: João X. Matos (LNEG)

Mestrado em Geologia Económica
(Especialização em Prospecção Mineral)

2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) pela disponibilização da base de dados trabalhada neste estudo, pelo livre acesso a todas as referências necessárias e pelo acolhimento no Centro de Estudos Geológicos e Mineiros (Beja) que, através das trocas de experiências profissionais, me permitiu a construção de um trabalho sólido.

Realço um agradecimento muito especial aos meus orientadores, o Professor Dr. António Mateus e o Dr. João X. Matos, que à sua maneira me ensinaram e proporcionaram uma aprendizagem (científica e pessoal) sem igual, demonstrando disponibilidade contínua, mas também um sentido crítico muito apurado, permitindo assim o meu crescimento e maturidade científica. Em parte, a eles devo a cuidada orientação e resultado final deste trabalho. Obrigado.

À minha família que me encorajou desde sempre a seguir os meus sonhos e a lutar por eles; por todos os esforços que realizaram para que este sonho se tornasse possível e sobretudo pela confiança diária no meu trabalho.

Ao João pelos dias roubados a trabalhar, pela paciência nos dias mais complicados, por fins-de-semana e saídas que ficaram por fazer, e sobretudo pela compreensão e sorrisos sempre presentes, um obrigado enorme. Agora já podemos pegar na mochila e ir. Vamos lá? 22*

“Porque o essencial é invisível aos olhos...” agradeço a todos os amigos que me rodeiam e que entre sorrisos, silêncios, sermões e parvoíces me incentivaram e acreditaram em mim desde sempre, com menção especial:

À Isabel Agostinho por dias e noites de verão de volta da tese e porque fomos e seremos companheiras, amigas e mais do que isso, cúmplices. Mais ninguém percebe aquelas gargalhadas gigantes e os cabelos ao vento.

Aos meus amorosos, Fábio, Catarina Grilo e Marco que se tornaram num pilar importante na minha vida, dando-me força e inspiração a cada pequeno sorriso trocado.

Ao Pedro Mocho e Inês Pereira por toda a verdadeira amizade, sermões nos momentos certos e espírito crítico. A eles e à Sofia Pereira pela revisão de texto.

Por fim, e não menos importante, a todos aqueles que fizeram parte deste mestrado. Entre colegas e professores, agradeço a partilha de experiências e momentos durante este ano e meio de vida.

Aos meus pais que me proporcionaram a concretização deste sonho!

Aos sorrisos partilhados 22*

*“Eles não sabem, nem sonham,
que o sonho comanda a vida,
que sempre que um homem sonha
o mundo pula e avança
como bola colorida
entre as mãos de uma criança.”*

Antônio Gedeão

Índice

	página
Resumo	
Abstract	
1- Introdução	1
2- Enquadramento Geológico	4
3- Metodologias	31
4- Geoquímica de Solos: Análise de Dados	43
5- Geoquímica de Sedimentos de Corrente: Análise de Dados	91
6- Discussão	113
7- Conclusão	120
8- Referências	122
Anexos	

Resumo

A Zona Sul Portuguesa (SPZ) é uma grande unidade tectono-estratigráfica do Orógeno Varisco e inclui uma das maiores mineralizações de sulfuretos maciços conhecida como Faixa Piritosa Ibérica (FPI).

Várias campanhas de exploração foram organizadas no norte da área de FPI, incluindo o Antiforma do Pulo do Lobo em solos e sedimentos de corrente. O grande volume de dados geoquímicos deste sector ZSP está armazenado nas bases de dados do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

O objectivo deste estudo é definir e consolidar uma metodologia adequada para a criação e o tratamento sistemático de uma base de dados, testando-a e validando-a. Esta análise pretende identificar e caracterizar as anomalias associadas às suas características geológicas intrínsecas e ao mesmo tempo, distingui-las da dispersão resultante em torno do da actividade extractiva da região. Poderá ser muito útil para as empresas de prospecção. O presente trabalho utilizou uma base de dados de geoquímica de solos e sedimentos de corrente, analisando o conteúdo em Cu, Zn e Pb resultantes de campanhas de amostragem nos anos 60 e 90, respectivamente Serviço de Fomento Mineiro e RioTinto Artezia. A população amostral mostra uma distribuição heterogénea e assimétrica. Após a verificação do comportamento multifractal, avaliou-se as variações da relação “log área vs log concentração” e calculou-se os valores de fundo regional e local no sector NE da FPI e Antiforma Pulo do Lobo. Os valores de fundo local diferem de acordo com as características geológicas das áreas em estudo e com a proximidade a centros mineiros. Foi possível distinguir três possibilidades para explicar os conteúdos anómalos nos três metais em estudo. A utilização dos sedimentos de corrente provou ser muito útil, discriminando não apenas domínios anómalos de carácter regional, mas também local.

Esta metodologia, utilizando os dados de geoquímica de solos e sedimentos de corrente, mostra-se bastante promissora para futuros projectos de prospecção e pesquisa mineral.

Palavras chave: geoquímica de solos, sedimentos de corrente, prospecção mineral

Abstract

The South Portuguese Zone (SPZ), a major tectono-stratigraphic unit of the Variscan Orogen, includes one of the largest volcanogenic massive sulphide metallogenic provinces, known as the Iberian Pyrite Belt (IPB).

Several exploration campaigns were organized in the northern of the IPB area including the Pulo do Lobo Antiform concerning soils and stream sediments sampling programs. The large volume of geochemical data about this SPZ sector is stored in the databases of Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

The aim of this study is to define and consolidate a suitable methodology for the establishment and systematic processing of a data base, testing and validating it. The goal of this analysis is to identify and characterize the associated anomalies for their intrinsic geological characteristics and at the same time distinguish them from the resulting dispersion around the old mining workings. Projects outputs can be very useful to the exploration companies.

Current research work related with soil geochemistry, consider the contents of Cu, Zn and Pb, of the soil samples, analyzed in the 60's and 90's by the Portuguese Geological Survey and Rio Tinto Company. They showed a heterogeneous and an asymmetric distribution. Throughout the values variations analysis from relation "log area vs log concentration" was possible to calculate the regional background thresholds in the NE of the IPB and in the Pulo do Lobo Antiform, excluding the São Domingos mine (Py, Cu) and surroundings: Cu = 26ppm, Zn = 50ppm and Pb = 22ppm. The local background thresholds differ according to the geological characteristics of the studied areas and proximity to the old mining area. It's possible to distinguish three possibilities to explain local thresholds. The use of stream sediments proved to be a very useful tool, detailing not only abnormalities of regional and local character.

This methodology, the geochemical soil and stream sediment, appears to be quite promising for future exploration and research projects.

Keywords: soil geochemistry, stream sediments, mineral exploration

1.Introdução

A Zona Sul Portuguesa (ZSP), uma das principais unidades tectono-estratigráficas dos Variscidas Ibéricos, inclui uma das maiores províncias metalogenéticas mundiais de sulfuretos maciços vulcanogénicos, conhecida como Faixa Piritosa Ibérica (FPI) (Carvalho, 1979; Oliveira, 1990). Esta tem sido objecto de sucessivas campanhas de prospecção e pesquisa mineral, bem como de diversas actividades extractivas, desde tempos remotos.

A nível regional é comum dividir a FPI nos ramos Norte e Sul. O primeiro ramo estende-se desde Palma (Alcácer do Sal) abarcando os terrenos paleozóicos cobertos pelos sedimentos Cenozóicos da Bacia do Sado até à Mina de S. Domingos e incorpora sucessões parautóctones e autóctones, do Complexo Vulcano Sedimentar (CVS), para além de domínios alóctones onde o CVS integra várias escamas tectónicas em conjunto com metassedimentos do Grupo Filito-Quartzítico (GFQ) (e.g. Oliveira et al., 2006; Matos et al., 2008). O ramo sul é constituído essencialmente por estruturas em antiforma em posição autóctone, como o anticlinal do Pomarão e Rosário. O anticlinal do Pomarão é o local onde a sequência estratigráfica, característica da FPI se encontra melhor exposta em Portugal (e.g. Oliveira et al 1990,2006).

As áreas abrangidas pelo presente estudo sobrepõem-se à zona NE da FPI (sequência alóctone) e ao Antiforma do Pulo do Lobo. Neste domínio da FPI, diversas campanhas de prospecção e pesquisa mineral foram realizadas, envolvendo vários levantamentos (geológicos, geoquímicos, geofísicos). Nas últimas décadas, os trabalhos realizados por vários serviços do estado (Serviço de Fomento Mineiro – SFM, Instituto Geológico e Mineiro – IGM) e empresas concessionárias conduziram a um grande volume de informação. A compilação e tratamento sistemático desta informação permitem estruturar uma importante base de dados cuja utilidade se revela em diversas vertentes, como a delimitação de anomalias (novas ou redefinição de outras já conhecidas) com potencial interesse económico e também na produção de mapas de vulnerabilidade geoquímica.

O presente estudo pretende encontrar uma metodologia adequada à construção e tratamento sistemático de parte dos dados disponíveis, testando-a e validando-a, para posteriormente proceder à interpretação conjunta e integrada da informação compilada de acordo com critérios uniformes. Através desta análise pretende-se identificar e caracterizar as anomalias associadas a características geológicas intrínsecas, distinguindo estas das que resultam da dispersão em torno de antigas explorações mineiras (nomeadamente aquelas que evidenciam a drenagem ácida, bem como a que resulta da instabilidade natural ou artificial de escombrelas).

Deste modo, o objectivo primordial do trabalho consiste em identificar os critérios que levam à delimitação e caracterização de fundos e anomalias geoquímicas com base no tratamento de resultados analíticos multi-elementares para solos e sedimentos de corrente no domínio NE da FPI e Antiforma do Pulo do Lobo visando: (i) a distinção de anomalias intrínsecas às formações geológicas das que se relacionam com produtos relacionados com actividade mineira da região; e (ii) a caracterização de aspectos peculiares apresentados por anomalias associadas a drenagem ácida, resíduos e infra-estruturas mineiras, que se revelam importantes na (re) definição de políticas de ordenamento do território (vulnerabilidade geoquímica).

O trabalho realizou-se em diferentes etapas. A primeira foi desenvolvida na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) e centrou-se na compilação e síntese dos diferentes dados multi-elementares patentes no LNEG, oriundos de campanhas de prospecção do Serviço de Fomento Mineiro e da Sociedade Mineira Rio Arzezia (SMRA); durante este processo foi também adquirida informação geológica, geoquímica e mineira com o objectivo de caracterizar os contextos favoráveis ao desenvolvimento de halos geoquímicos. A segunda etapa, realizada no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) – Pólo de Beja, teve como finalidade o reconhecimento e a caracterização do contexto geológico das várias redes de amostragem de solos e sedimentos de corrente utilizados neste estudo; esta informação foi tratada (georeferenciada) em ambiente SIG (ArcGis[®]). O trabalho começou por uma análise global do banco de dados disponível, conduzindo à selecção dos ficheiros de dados/informações a serem subsequentemente examinadas com base: (i) no tratamento estatístico descritivo; (ii) modelação de semi-variogramas; (iii) teste ao carácter multifractal; (iv) cálculo de valores de fundo (regional e local) para posterior análise da anisotropia das distribuições de concentração; e (v) produção de mapas geoquímicos de concentração. Por fim, procedeu-se à interpretação conjunta e integrada dos dados e resultados obtidos, procurando responder às questões acima referidas e validando a metodologia seguida com base na confrontação dos resultados com as observações de terreno efectuadas em duas missões de campo. No tratamento dos dados foram consideradas 18458 amostras (solos e sedimentos) distribuídas por 6 subáreas (Albernoa, Serra Branca, Alvares, Mina de Chança, Chança N e Mina de S.Domingos) e por diferentes campanhas de amostragem, representadas na figura nº1.

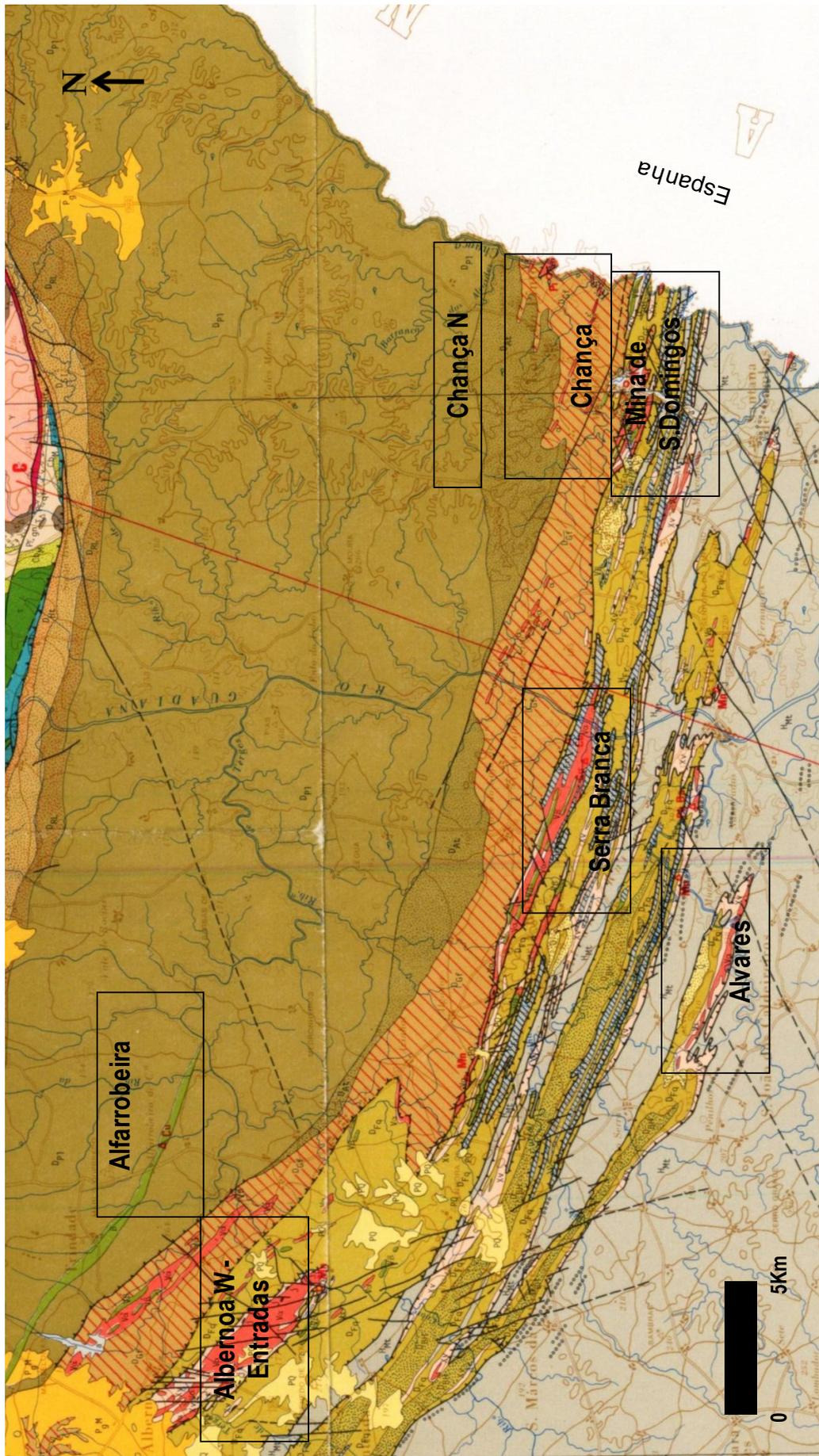


Fig. 1 - Distribuição espacial dos grandes domínios geológicos do sector NE da ZSP (Adaptado do mapa geológico de Portugal, Folha 8, à escala 1:200.000).

2. Enquadramento Geológico

A área em estudo localiza-se a Norte da vila de Mértola e estende-se ao longo da faixa Albernoa, Serra Branca e Mina de S.Domingos, sobreposta ao ramo Norte da FPI, parte da unidade geotectónica denominada Zona Sul Portuguesa (ZSP). A maioria da área apresenta solos pouco espessos e/ou esqueléticos, com predomínio do horizonte C, e os principais relevos são determinados pela erosão diferencial, destacando-se as formações de natureza quartzítica. A rede de drenagem encontra-se bem desenvolvida, sendo comuns os tributários de 2ª e 3ª ordem; os rios Guadiana e Chança são os principais cursos fluviais, com drenagem de norte para sul e pluviosidade pouco intensa.

A ZSP subdivide-se em quatro grandes domínios geológicos que, de norte para sul, tomam as designações seguintes: (1) Terreno do Pulo do Lobo; (2) Faixa Piritosa Ibérica; (3) Grupo Flysh do Baixo Alentejo (GFBA) e (4) Zona SW de Portugal (Antiforma da Bordeira e Aljezur) (Oliveira, 1990; Oliveira et al., 2006). O mapa patente na figura 2 mostra a distribuição espacial destes grandes domínios e principais estruturas que os afectam.

O Terreno do Pulo do Lobo é um dos domínios que ocorre a S do Complexo Ofiolítico Beja-Acebuches (COBA) e a N da FPI. Estruturalmente, é delimitado a N pelo cavalgamento Ferreira-Ficalho e a S pelo cavalgamento do Pulo do Lobo. Este grande domínio geológico corresponde, grosso modo, a uma estrutura em antiforma, essencialmente constituído por formações metassedimentares detríticas (e.g. Oliveira, 1990; Quesada, 1994) que, localmente, contém intercalações de metavulcanitos félsicos e máficos (geralmente com dimensões volumétricas reduzidas); os metavulcanitos máficos apresentam uma assinatura geoquímica do tipo N-MORB (Munhá, 1983; Quesada et al 1994 *in* Fonseca 2005). No seio do Terreno Pulo do Lobo, a natureza siliciosa dos fluidos hidrotermais expelidos durante e após a deformação expressa-se através de vários conjuntos de filonetes, veios e filões de quartzo de exsudação. No Terreno do Pulo do Lobo distinguem-se, da base para o topo, as seguintes formações: *Fm* do Pulo do Lobo; Grupo Ferreira-Ficalho que engloba as *Fms* de Ribeira de Limas, Santa Iria e Horta da Torre e o Grupo Chança que contém as *Fms* da Atalaia, Gafo e Represa; a Tabela 1 sintetiza as características particulares de cada formação (Oliveira et al., 2006; Pereira et al., 2008).

Tabela 1– Características particulares das formações constituintes do Terreno Pulo do Lobo.
(Adaptado de Oliveira et al., 1986 a ; Oliveira et al. 2006, Pereira et al. 2007, 2008).

Designação das formações		Geologia e Deformação
Fm do Pulo do Lobo		Filitos e metaquartzitos com intercalações de rochas metavulcânicas. Filonetes e veios de quartzo de exsudação síncronos da deformação tectónica intensa e polifásica (três episódios de deformação).
Grupo Ferreira - Ficalho	Fm Ribeira de Limas	Xistos negros, metagrauvaques e metaquartzovaques.
	Fm St Iria	Sequência do tipo <i>flysh</i> constituída por xistos argilosos e metagrauvaques.
	Fm Horta da Torre	Xistos negros, metassiltitos, metaquartzovaques e quartzitos. A sequência metassedimentar apresenta vestígios de bioturbação.
Grupo Chança	Fm da Atalaia	Filitos deformados (informação pouco detalhada).
	Fm do Gafo	Sequência do tipo "flysh" constituída por metagrauvaques, metapelitos e metassiltitos finamente estratificados. Esta sequência é cortada por filões de diabase/pórfiros siliciosos anteriores à primeira fase de deformação.
	Fm Represa	Sucessão de metagrauvaques e metaquartzovaques alternados com xistos e metassiltitos siliciosos. Transição entre xistos esverdeados e tipo "borra de vinho", estes últimos enriquecidos em Fe e Mn.

O domínio da Faixa Piritosa Ibérica (FPI) é constituído por duas unidades litoestratigráficas fundamentais:

- Grupo Filito – Quartzítico (GFQ)
- Complexo Vulcano – Sedimentar (CVS)

A FPI foi afectada por metamorfismo de muito baixo grau. Este grau metamórfico intensifica-se para norte, desde a fácies da prenite – pumpeleite até à fácies dos xistos verdes. Caracteriza-se por apresentar uma paragénese mineral rica em actinolite – pumpeleite e actinolite – epidoto. Como o grau metamórfico é relativamente baixo, as texturas primárias encontram-se bem preservadas (Munhá, 1976).

O GFQ forma a base detrítica da FPI e apresenta uma espessura superior a 200 m (base não é conhecida) (e.g. Oliveira et al., 2005); é constituído essencialmente por filitos, quartzitos, metagrauques e xistos com lenticulas e nódulos de metacalcário na parte superior desta unidade. Esta unidade está datada do Devónico inferior por amonóides, conodontes e palinóforos (e.g. Boogard, 1967; Oliveira et al, 1994 *in* Pereira et al, 2007). As datações permitiram compreender o carácter diacrónico do GFQ em relação ao CVS; isto é, ocorreu contemporaneidade de sedimentação pelo menos durante o Devónico superior (e.g. Oliveira et al, 2006).

O CVS data do Devónico superior ao Viseano, com base em diversos estudos de geocronologia e palinologia (e.g. Pereira et al, 2007) e incorpora vários episódios de vulcanismo bimodal, com dominância de riólitos, dacitos, basaltos e, com menos expressão, andesitos. Intercalados nesta sequência vulcânica encontram-se argilitos negros e siltitos e em menor quantidade quartzovaques e sedimentos siliciosos (metajaspes e metachertes); na parte superior deste complexo ocorrem xistos borra de vinho. A espessura desta unidade varia entre 10 m e mais de 1000 m (e.g. Pereira et al, 2007).

A formação de Mértola (cobertura *flysh* sobre a FPI) é constituída por alternâncias centimétricas a métricas de metagrauque que alternam com xistos argilosos e siltitos, e ainda níveis de conglomerados e raros depósitos de torrentes de lamias intercalados na sucessão. Os metagrauques apresentam estruturas sedimentares características de turbiditos (e.g. Oliveira, 1983).

A zona NE da FPI é constituída por uma sequência de cavalgamentos que se sobrepõem aos dobramentos flexurais (vergentes para SW) com orientações preferenciais WNW – ESE a NW – SE. Tardamente desenvolvem-se zonas de falha (desligamentos) com direcções N – S a NE – SW, algumas das quais reactivadas no período Eo Alpino.

2.1) Ocorrências primárias de sulfuretos maciços

As duas principais ocorrências primárias de sulfuretos maciços na zona NE da FPI, encontram-se marcadas no mapa geológico patente na Fig.2; ambas se situam a E, próximas da fronteira com Espanha. Observam-se também diversas ocorrências de Fe e Mn associadas às rochas do CVS.

A mina de S.Domingos corresponde a um jazigo constituído por uma única massa subvertical de pirite com orientação E – W e largura de 80 m que se estende por 560 m. O stockwork adjacente ao corpo mineralizado é composto por veios centimétricos e finos de pirite numa matriz siliciosa. A associação mineral principal é constituída por pirite, esfalerite, calcopirite, galena, arsenopirite e alguns sulfossais. O minério encontra-se hospedado em rochas vulcânicas félsicas e máficas e xistos negros do CVS. A meteorização deste depósito originou um importante chapéu de ferro, intensamente explorado na época romana. A alteração supergénica do mesmo, encontra-se materializada por uma vasta rede de veios e fracturas preenchidas por óxidos de Fe. A região da Mina de S.Domingos é dominada por carreamentos com direcção WNW – ESE a NW – SE evidenciando movimento sinistrotóro. Tardiamente ocorre um sistema de fracturas com as direcções N – S, N40°E e W – E, onde localmente se encontram com quartzo, alunite e barite. (Matos et al, 2006).

A Mina de Chança é um pequeno jazigo de pirite maciça com rara calcopirite e esfalerite; a meteorização intensa dos sulfuretos maciços aflorantes conduziu ao desenvolvimento de um chapéu de ferro constituído por hematite, limonite, goethite e sílica. Este jazigo encontra-se dividido pelo Rio Chança, sendo a parte portuguesa aflorante no Cerro das Minas. A sequência encaixante é síncrona da mineralização e faz parte do CVS. Estas litologias registam efeitos de forte alteração hidrotermal que é contemporânea da deformação dos sulfuretos maciços, sob a forma de clorite e quartzo-sericite (in Alvarenga et al, 2002). A componente estrutural desta região apresenta falhas com direcções WNW – ESE cortadas posteriormente por cavalgamentos e falhas de direcção variável entre N – S a NW – SE.

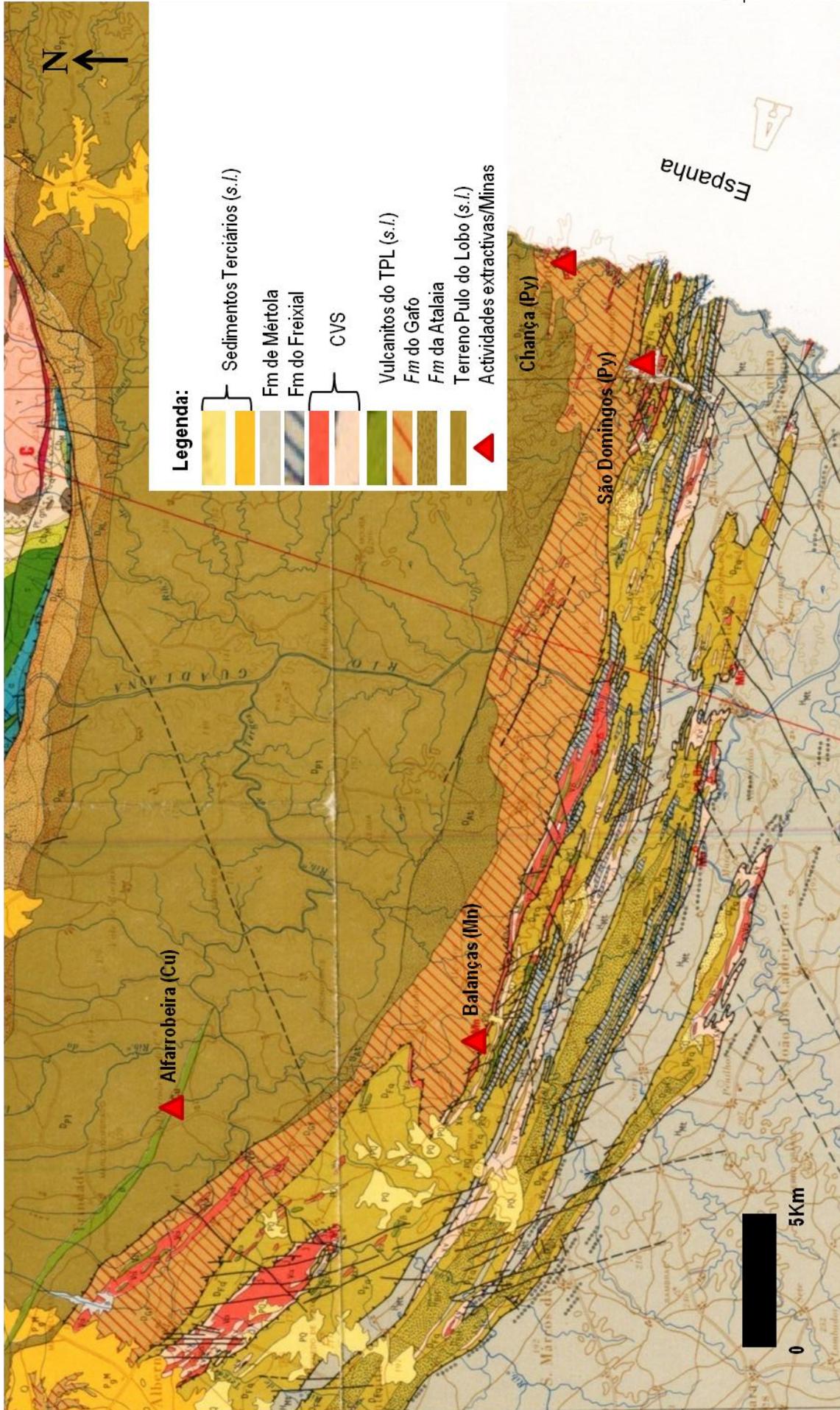


Fig. 2 - Distribuição espacial dos grandes domínios geológicos do sector NE da ZSP (Adaptado do mapa geológico de Portugal, Folha 8, à escala 1:200.000).

2.2) Geologia de detalhe de cada sub-área em estudo

2.2.1) Albernoa W – Entradas

A subárea de Albernoa situa-se a cerca de 20 km a S da cidade de Beja, próximo da vila de Albernoa. Geologicamente, sobrepõem-se ao contacto entre a ZSP e o Terreno do Pulo do Lobo. O antiforma de Albernoa tem direcção NW – SE (como se observa na figura 3), vergência para SE e mergulho para SW. Esta estrutura é cortada posteriormente por falhas com direcções variáveis entre N – S e NNW – SSE. Tal como em todo o sector NE da FPI, o estilo de deformação é caracterizado por empilhamentos tectónicos. O núcleo do antiforma de Albernoa é constituído por rochas metavulcânicas (riodacitos) cobertas por xistos borra de vinho; geometricamente sobrejacentes a esta sequência ocorrem filitos e quartzitos do grupo PQ (Oliveira et al., 2005). Subconcordantes com a xistosidade ocorrem fendas de tracção com direcção N30°W.

2.2.2) Alfarrobeira

A subárea de Alfarrobeira situa-se no Terreno Pulo do Lobo. (Oliveira et al., 1992). As sondagens realizadas pela Sociedade Mineira Rio Artezia (SMRA) intersectam dois tipos de sequências litológicas principais. A primeira integra vulcanitos de composição máfica a intermédia, com bandas anqueríticas de cor avermelhada, onde se observam filonetes de hematite e goethite; a segunda inclui xistos pelíticos de cor cinzenta. O contacto entre as duas sequências ocorre por falha. Observa-se também, uma sequência alternada de bandas siltíticas e venulações de quartzo. Nesta subárea ocorre um dique de composição dolerítica e brechas cimentadas com quartzo, pirite e alguma pirrotite.

As observações de campo permitiram adicionar algumas informações às relatadas nos relatórios de prospecção e pesquisa da área «Serra Branca», atribuída à SMRA entre 1996 e 1999 (mapa patente na figura 4). O encaixante de composição metassedimentar (Terreno Pulo do Lobo) apresenta indícios de alteração hidrotermal intensa; localmente verifica-se a presença de alunite. No seio desta sequência metassedimentar ocorrem veios/filões de quartzo + pirite ± calcopirite ± arsenopirite com direcção N20°W. Ainda na mesma subárea, observaram-se pequenos cabeços (semelhantes a chapéus de ferro) muito alterados, onde se identificou arsenopirite. Estas observações são compatíveis com a existência de explorações mineiras artesanais de pequena dimensão.

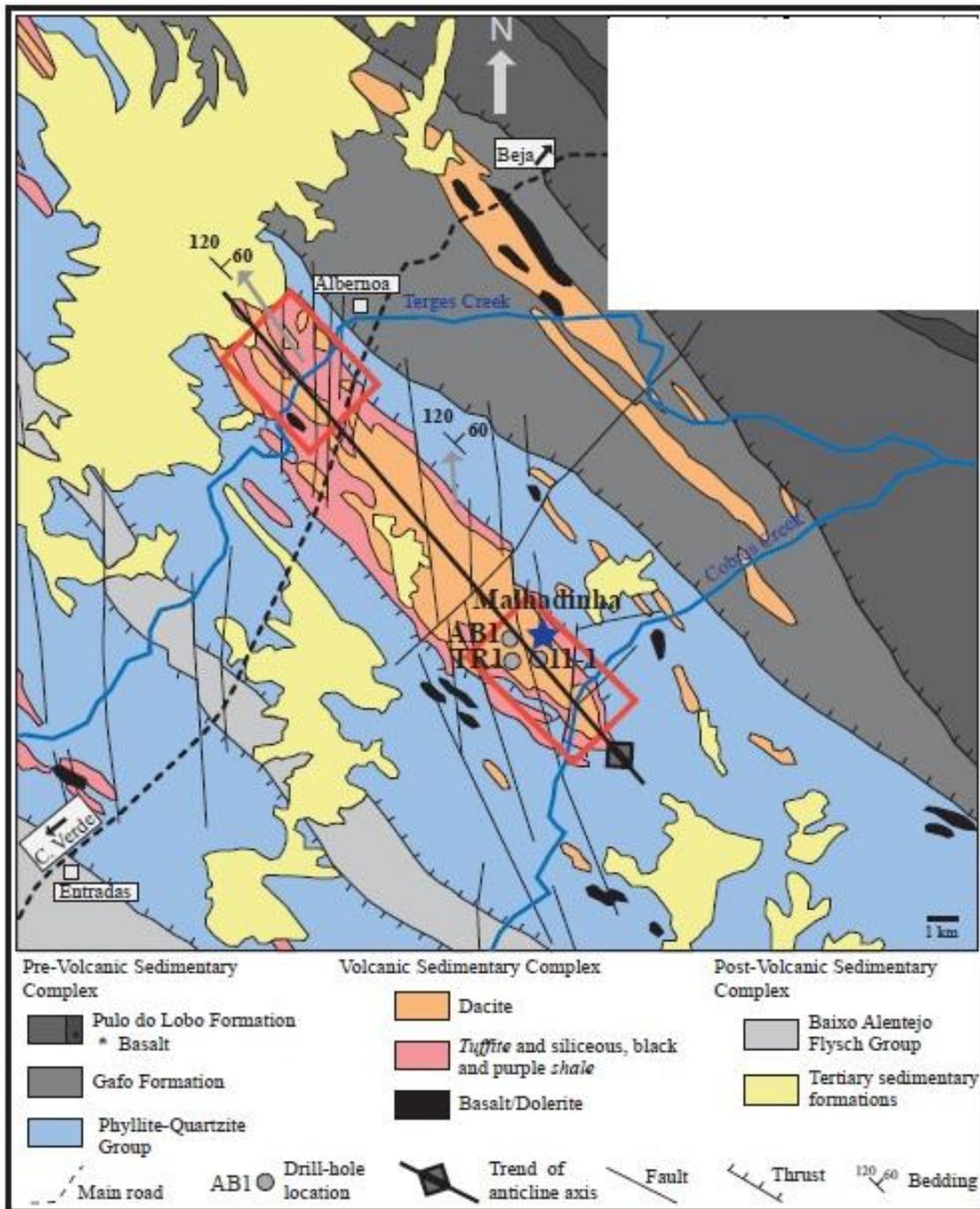


Fig. 3- Mapa geológico simplificado da subárea de Albernoa (Rosa, C. 2004).



Estampa 1: **A)** Fendas de tracção (330°) subconcordantes com a xistosidade (xistos GFQ), a SW de Albernoa; **B)** Evidência de movimentos N – S, com critério de movimentação direito, em xistos negros alterados com xistos de cor semelhante aos xistos “borra de vinho”; **C)** Paisagem envolvente da subárea de Albernoa W – Entradas; **D)** Encostos das fendas de tracção ricos em óxidos e hidróxidos de Fe; **E)** Alternância de metagrauwaques e xistos com diferentes colorações.

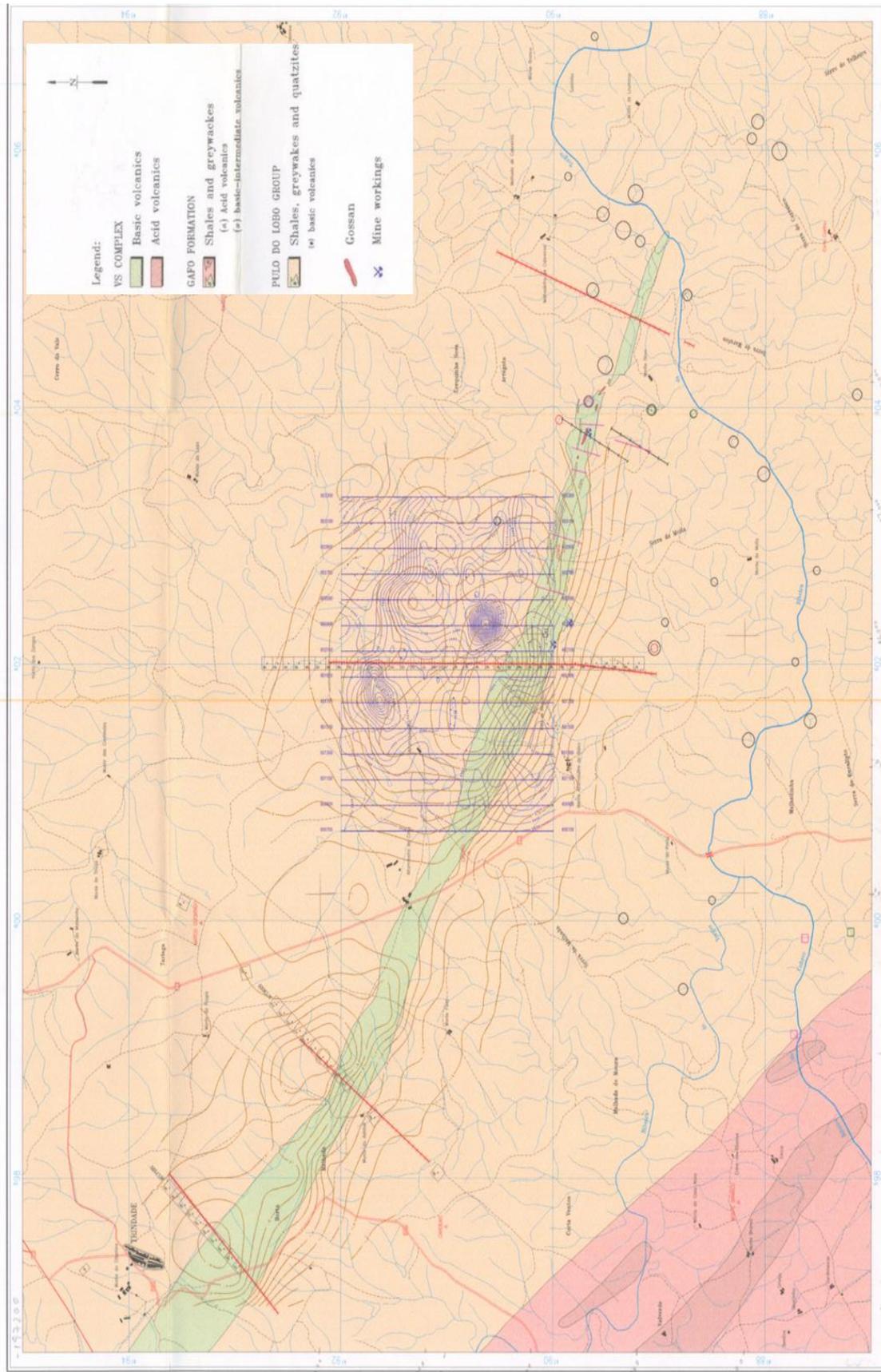


Fig. 4º - Mapa Geológico da subárea de Alfarrrobeira (SMRA, 1996-99)



Estampa 2: **A)** Aspecto da geomorfologia da área mineira de Alfaroqueira (Cu); **B)** Poço mineiro abandonado na mina de Alfaroqueira (Cu); **C e D)** Blocos de chapéu de ferro; **D)** óxidos e hidróxidos de Fe em evidência, no cabeço do chapéu de ferro; **E)** Veios quartzo + pirite ± calcopirite ± arsenopirite com direcção N20°W; **F)** Pormenor de um filão de quartzo com a presença de sulfuretos; **G)** Encaixante metassedimentar com indícios de alteração intensa; localmente verifica-se a presença de alunite; **H)** Alteração hidrotermal intensa no seio do encaixante metassedimentar.

2.2.3) Serra Branca

O sector de Serra Branca localiza-se a 20 km a N de Mértola e pertence ao alinhamento N da FPI, constituído essencialmente por rochas vulcânicas. Este anticlinal tem direcção WNW – ESE e eixo mergulhante para ESSE, como se pode observar na figura 5.

A NW, o antiforma de Serra Branca é composto por metavulcanitos félsicos e máficos (na sua maioria espilitos); sobrejacentes a esta sequência de vulcânicas ocorrem xistos siliciosos e xistos “borra de vinho”. Os turbiditos da formação Freixial cobrem as anteriores sequências com uma espessura de aproximadamente 200 m (Rosa, 2004). Nas referências bibliográficas (e.g. Rosa, 2004) descreve-se um pequeno chapéu de ferro na cota mais alta de Serra Branca; as observações de campo corroboram a existência do mesmo. Observaram-se adicionalmente rochas vulcânicas muito alteradas hidrotermalmente (sericitização) com veios e fracturas preenchidos por óxidos e hidróxidos de ferro [especularite (?) / goethite (?)] + calcopirite.

A empresa SMRA através de sondagens reconheceu um stockwork, que se prolonga por pelo menos 2 km de extensão e é limitado a tecto por um nível de metatufos porfíricos, ricos em hematite. Identificou-se ainda, a W da estrada 510 (Vale Covo), um halo de alteração argilítico – sericitica intensa afectando uma sequência de metatufos félsicos com vénulas e disseminações de sulfuretos oxidados.

2.2.4) Alvares

A subárea de Alvares situa-se a cerca de 20km a W da vila de Mértola, sobrepondo-se, na sua essência, às formações do “Culm”, como é expresso na figura 6. Estruturalmente, esta subárea de Alvares (Pero da Vinha), corresponde a um sinforma; no núcleo está preservado o alóctone, com subtracção de alguns horizontes, como por exemplo o flanco N do sinclinal de Pero da Vinha (Oliveira e Silva, 2007) O CVS caracteriza-se por uma sequência de metatufos e metalavas rio-dacíticas, metafelsitos, xistos siliciosos, “borra de vinho” e negros contendo nódulos de Fe e Mn. O contacto entre o “Culm” e a sequência do CVS/GFQ faz-se por cavalgamento, dando origem a um relevo de dureza, constituído por quartzitos.

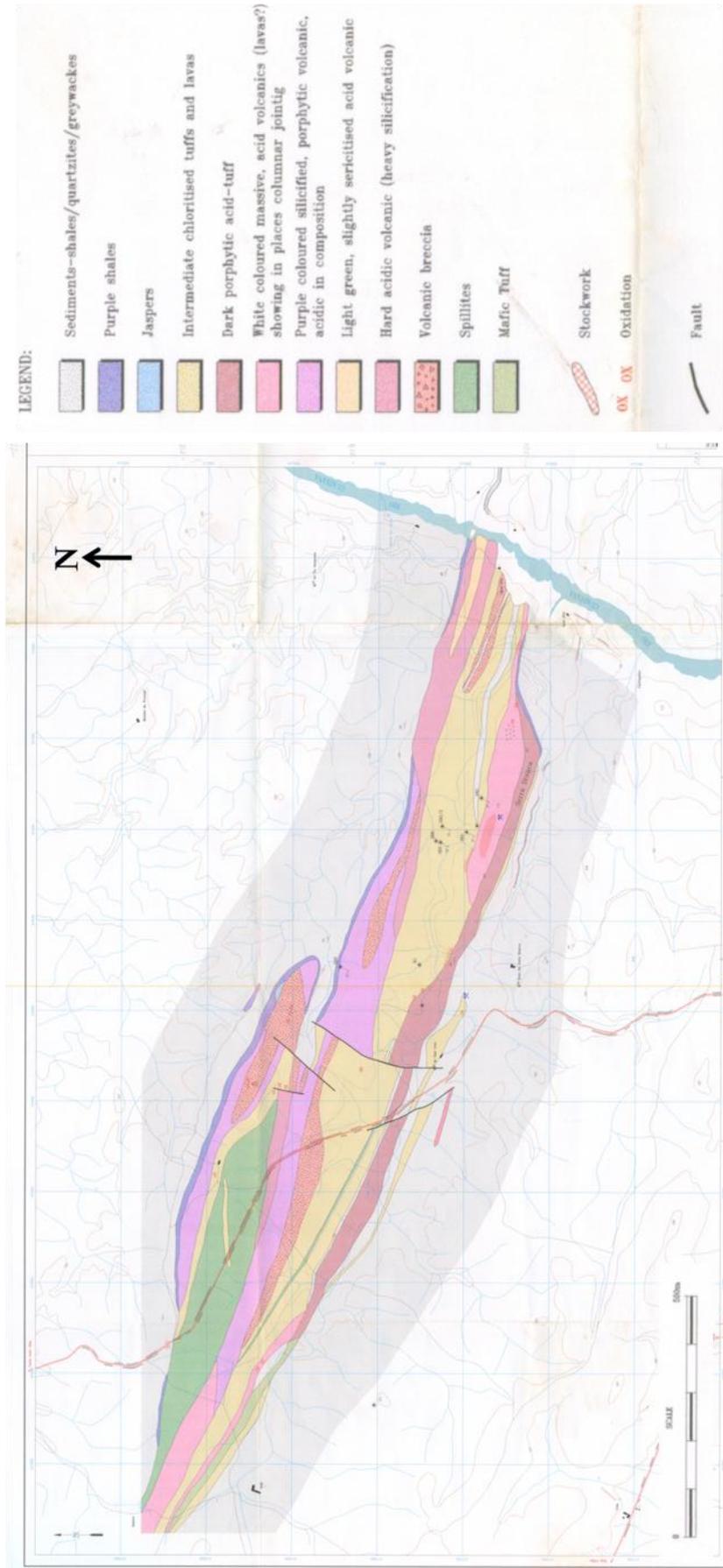
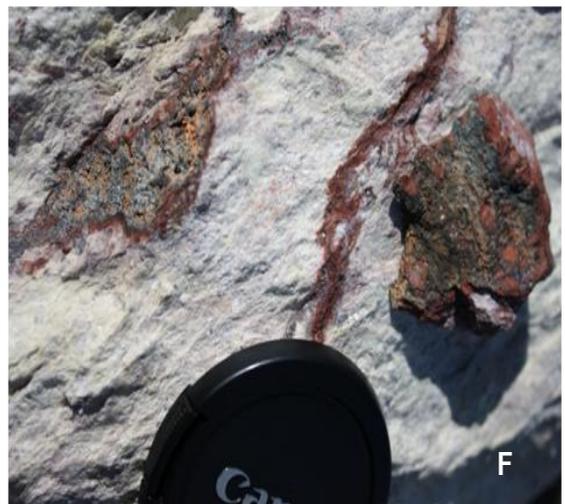


Fig. 5 - Mapa geológico da subárea de Serra Branca (SMRA, 1996-1999).



Estampa 3 – A) e B) Paisagem envolvente e geomorfologia da subárea de Serra Branca; C) Rocha metavulcânica félsica pouco alterada; D) Rocha metavulcânica cortada por filonetes de óxidos e hidróxidos de Fe, de origem hidrotermal; E) Óxidos em metavulcanitos félsicos; F) Rocha metavulcânica cortada por filonetes de óxidos e hidróxidos de Fe, de origem hidrotermal

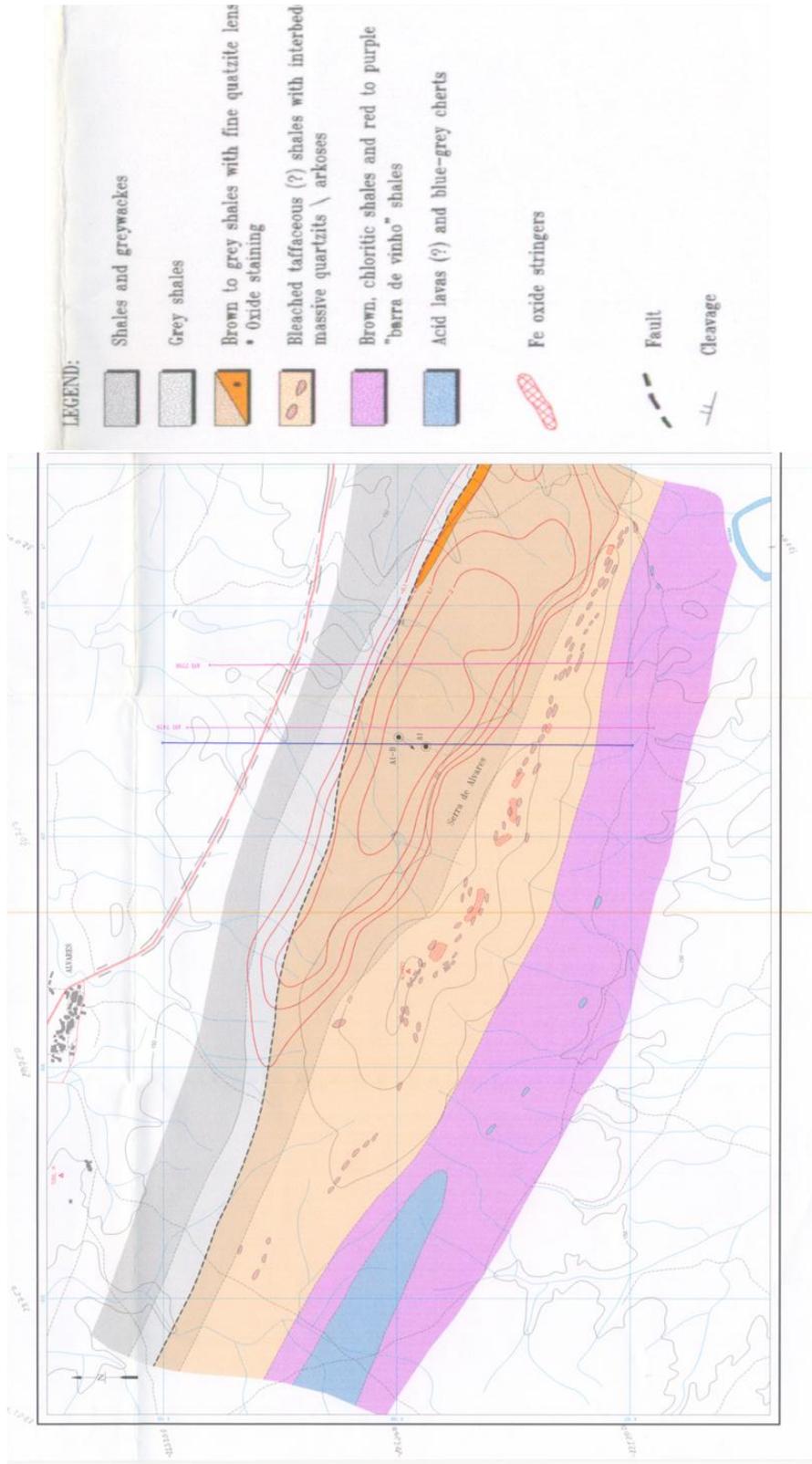


Fig. 6 – Mapa geológico de detalhe da subárea de Alvares (SMRA, 1996-1999)

2.2.5) Chança

A Mina de Chança é um pequeno jazigo de pirite maciça com rara calcopirite e esfalerite. À superfície é visível o chapéu de ferro constituído por hematite, limonite, goetite e sílica, como se pode observar na figura 7. Este jazigo encontra-se dividido pelo Rio Chança sendo a parte portuguesa aflorante no Cerro das Minas. As rochas encaixantes são contemporâneas da mineralização e fazem parte do CVS da FPI. Estas litologias registam efeitos de forte alteração hidrotermal contemporânea da deformação dos sulfuretos maciços, sob a forma de clorite e quartzo-sericite (*in Alvarenga et al 2002*).

As observações de campo permitiram observar no seio da formação do Gafo, fendas de tracção subconcordantes com a xistosidade preenchidas por quartzo (normalmente endurecido) onde ocorrem sulfuretos finamente disseminados.

A norte da zona de Chança situa-se a formação do Pulo do Lobo. Esta apresenta fendas de tracção preenchidas por quartzo endurecido com “boxworks” e, ocasionalmente, sulfuretos, como pirite ± calcopirite.

2.2.6) Mina de S.Domingos

O mapa da geologia de detalhe da subárea da Mina de S.Domingos encontra-se representado na figura 8 A subárea da Mina de S.Domingos situa-se 17 km a NE da vila de Mértola. Geologicamente situa-se no sector NE da FPI, a cerca de 5 kms da fronteira com Espanha.

Nesta mina, como já foi referido, a massa mineralizada aflorante é constituída essencialmente por pirite. A associação mineralógica deste jazigo é constituída por esfalerite, calcopirite, galena e arsenopirite. Os teores médios de metais: 1.25 wt% e 2 – 3 wt% para o Cu e Zn, respectivamente (Carvalho, 1971 *in* Oliveira e Matos, 2004; Matos et al., 2006). Os halos de alteração hidrotermal materializam-se por forte cloritização, silicificação e sericitização.

A sequência do CVS (xistos negros, rochas félsicas, máficas e intermédias) localizada a topo é afectada por alteração hidrotermal (clorite, sílica e sericite) relacionada com a génese do minério.

Verifica-se a existência de um “stockwork” adjacente à massa de pirite constituído por uma rede anastomosada de pirite no seio de uma matriz de silicificada (estampa 5). A S esta massa mineralizada é delimitada por uma diabase intrusiva. No lado N, bem exposta, encontra-se a sequência encaixante a muro a q consistes em metariólitos, metariodacitos coerentes e metavulcanitos máficos; apesar de não se encontrar bem exposto, o encaixante metassedimentar também apresenta vestígios de “stockwork” com silicificação de origem hidrotermal.

O corpo mineralizado de sulfuretos maciços tem direcção W – E e surge preservado numa escama tectónica com geometria sigmoidal. A subárea de S.Domingos é afectada por cavalgamentos com direcção WNW – ESE a NW – SE (e movimento sinistrógiro) e por desligamentos N – S a NE – SW. A

NE e a S, o CVS contacta através de cavalgamento com o GFQ. Tardiamente desenvolve-se um sistema de fracturas que afecta as rochas na zona da corta com direcções N – S, N40°E e W – E; estas fracturas apresentam localmente precipitados de quartzo, alunite e barite.

A intensa meteorização deste depósito deu origem a um importante chapéu de ferro. A alteração supergénica da componente sulfuretada promove a existência de um vasto preenchimento de fracturas por óxidos de ferro em veios.

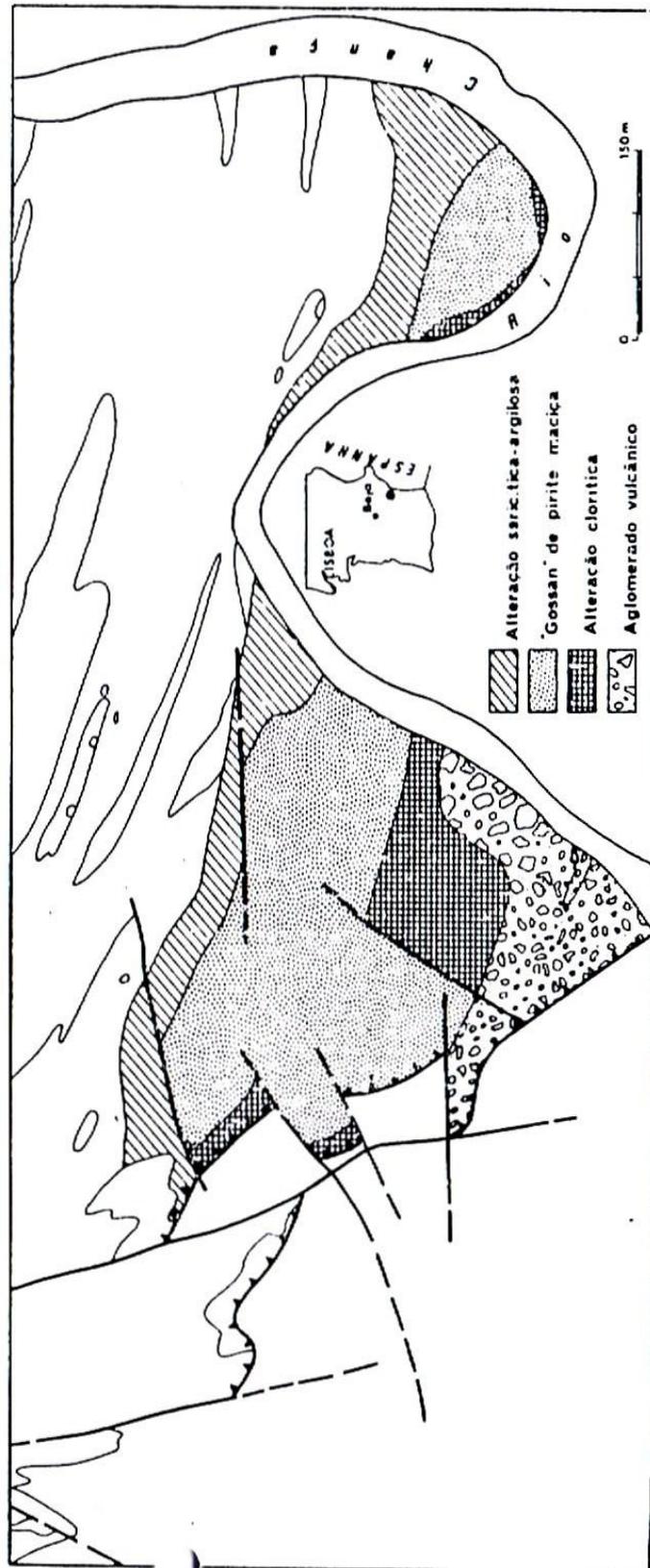


Fig. 7 - Mapa geológico da subárea de Chança (Inverno, C. 1976 in Carvalho, D. 1979)



Estampa 4: **A) e B)** Aspecto geomorfológico da subárea de Chança, com destaque em A para os vestígios da lavra mineira; **C)** Intensa cloritização em rochas metavulcânicas; **D)** Chapéu de Ferro da Mina de Chança **E)**; Aspecto geomorfológico de Corte Pinto (a W da Mina de Chança, subárea de Chança) **F)** Preenchimento de quartzo (muito endurecido) com a presença de sulfuretos finamente disseminados.

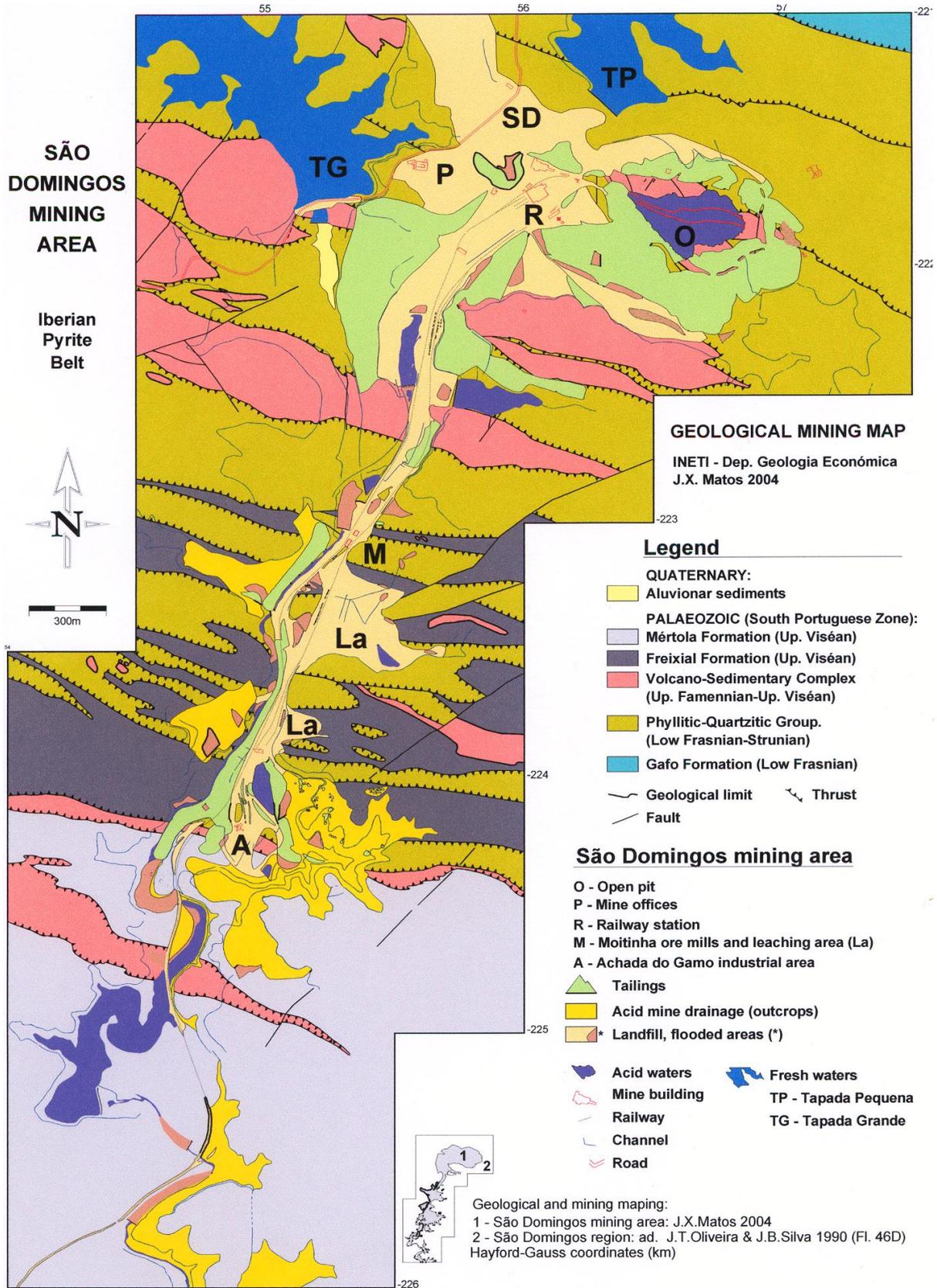


Fig. 8 - Mapa Geológico da subárea da Mina de S.Domingos (Matos, 2004)



Estampa 5 – A) Corta da mina de S.Domingos; **B) e C)** Aspecto do stockwork presente na massa de S.Domingos.
D) Linha de água associada à drenagem da Mina de S.Domingos.

2.3) Geoquímica

A compilação efectuada sobre os dados de litogeoquímica existentes para as diferentes subáreas, no banco de dados do LNEG (UI. Recursos Minerais e Geofísica) considerando ainda diversas fontes bibliográficas, com objectivo de:

- Delimitar intervalos de concentração em diferentes elementos, colocando em evidência as tendências composicionais características das rochas metassedimentares e metavulcânicas aflorantes;
- Utilizar os valores de concentração de elementos maiores para calcular os índices de Alteração (AI) e de Mineralização (CCPI);
- Caracterizar a regularidade ou irregularidade das anomalias nas distribuições de concentração em certos metais.

As tabelas de litogeoquímica organizam-se, inicialmente, por subáreas, conforme a disponibilidade de dados; em alguns casos, a escassez de informação dificulta a realização de extrapolações com significado para a área global em estudo.

No trabalho de Tornos e Spiro (1999) realizado em toda a FPI, obteve-se informação para o GFQ e CVS. De acordo com os dados disponíveis, estes autores analisaram alguns metais (Cu, Zn, Pb, Ni e V) e outros elementos sob a forma de óxidos (FeO_t e MnO), no total de 298 amostras. Os valores apresentados na tabela 2 correspondem às médias da concentração elementar em cada tipo de rocha. Nesta compilação, bem como nas subsequentes apresentadas o valor tomado é sempre o médio; em alguns dos casos a insuficiência de dados não permite o cálculo de outras medidas de tendência central; noutras situações, os dados fornecidos nas fontes bibliográficas correspondem a valores médios.

Tabela 2 - Síntese dos dados de litogeoquímica obtidos para a FPI (Adaptado de Tornos e Spiro, 1999).

	GFQ	CVS		
		Xistos	Xistos Mineralizados	Rochas Félsicas
	n= 16	n=86	n=7	n=195
FeO_t (%)	5.54	6.46	9.48	3.09
MnO (%)	0.05	0.19	0.09	0.05
V (ppm)	205	114	139	40
Ni (ppm)	51	60	51	12
Cu (ppm)	50	63	161	39
Zn (ppm)	117	85	335	47
Pb (ppm)	81	87	95	20

Para o GFQ os valores em Cu, Zn e Pb são elevados, especialmente para o último metal com 117 ppm; também o conteúdo em óxido de ferro é significativo, cifrando-se em 5.45 wt%. Apesar do número de amostras para o CVS ser muito superior ao do GFQ, a análise da tabela permite fundamentar algumas inferências; o V apresenta para o GFQ um valor bastante superior em relação ao CVS e, no caso do Ni e do Pb valores muito semelhantes em relação aos xistos mineralizados.

A análise das rochas vulcânicas do CVS na subárea de Albernoa (Rosa et al, 2004) centrou-se em elementos maiores e elementos do grupo das terras raras. No total analisaram-se 42 amostras de rochas vulcânicas (superficiais e de sondagem), 38 delas representando rochas félsicas e as restantes 4 rochas máficas. Na tabela 3, mostram-se as medidas de tendência central calculados com base nos dados do trabalho referido. Os valores obtidos para os óxidos de elementos maiores de rochas vulcânicas félsicas são comuns para as tipologias de rocha em questão: dacitos (rocha porfírica com plagioclase e minerais ferromagnesianos).

Na subárea de Serra Branca foram também analisadas as rochas vulcânicas do CVS por Rosa et al, 2004. No total estes autores examinaram 52 amostras para elementos maiores e elementos do grupo das terras raras. A síntese da estatística descritiva, com destaque para as medidas de tendência central, está patente na tabela 4. Neste conjunto de amostras o intervalo de valores é mais amplo, no entanto característico das litologias presentes, as quais variam entre rochas intermédias, brechas pumíticas, ricas ou pobres em quartzo e feldspato. Os valores mais altos de sílica correspondem a rochas de composição félsica e os baixos teores neste óxido a rochas de composição máfica (vulcanitos máficos).

No trabalho sobre a proveniência dos sedimentos siliciclásticos do Grupo *Flysh* e Baixo Alentejo são feitas algumas referências sobre análises geoquímicas (Fernandes et al., 2010). Na tabela 5 encontram-se os valores médios para alguns óxidos elementares de acordo com as diferentes formações do GFBA. Os teores em SiO_2 para os grauvaques são superiores aos revelados pelos xistos argilosos; por sua vez, os conteúdos em Al_2O_3 mostram uma relação inversa, onde os xistos argilosos têm valores mais elevados. Os teores em Fe_2O_3 são semelhantes para os xistos argilosos e os grauvaques, ainda que os primeiros apresentem valores ligeiramente superiores.

Tabela 3 - Valores de concentração em óxidos de elementos para rochas vulcânicas (CVS) em Albernoa. ALBERNOA I – Rochas vulcânicas félsicas; ALBERNOA II – Rochas vulcânicas máficas (Rosa et al., 2004).

ALBERNOA I - Litogeoquímica (rochas vulcânicas félsicas)									
Óxidos elementares (wt %)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	
Mínimo	50.94	11.21	1.3	0.02	0.27	0.24	0.34	0.11	
Máximo	76.98	19.61	8.01	0.1	5.39	9	6.29	4.34	
Média	65.6	15.5	4.4	0.06	2.5	3.3	2.9	1.8	
Mediana	65.46	15.23	4.55	0.06	2.535	3.11	2.89	1.91	
Desvio Padrão	6.0	2.0	1.6	0.03	1.3	1.9	1.2	0.9	

ALBERNOA II - Litogeoquímica (rochas vulcânicas máficas)									
Óxidos elementares (wt %)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	
Mínimo	42.73	14.52	0.17	0.13	0.95	3.09	0.04	0.02	
Máximo	59.46	17.37	12.88	4.51	6.27	10.94	4.56	0.95	
Média	48.9	15.8	7.2	1.35	3.5	5.7	3.3	0.4	
Mediana	46.73	15.605	7.89	0.385	3.43	4.44	4.32	0.25	
Desvio Padrão	7.7	1.2	5.7	2.12	2.2	3.6	2.2	0.4	

Tabela 4 - Síntese estatística das medidas de tendência central para os valores de concentração em rochas vulcânicas (CVS) de Serra Branca (Rosa et al., 2004).

Serra Branca - Litogeoquímica (Rochas vulcânicas s.l.)										
Óxidos elementares (wt %)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	CaO	MgO	Na2O	K2O	
Mínimo	51.07	8.14	0.21	0.05	0.01	0.02	0.06	0.1	0.09	
Máximo	84.15	18.43	3.07	7.46	0.12	4.83	9.61	6.83	7.11	
Média	71.82	13.86	1.43	1.35	0.03	1.14	1.71	3.38	2.35	
Mediana	72.73	13.55	1.24	0.82	0.03	0.68	1.18	3.50	2.12	
Desvio Padrão	6.91	2.35	0.74	1.37	0.02	1.09	1.69	1.71	1.74	

Tabela 5 - Valores médios para óxidos elementares de acordo com as formações que compõem o GFBA. * Valores não especificados.

Sedimentos do GFBA										
Óxidos elementares (wt %)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	K2O			
Grauvaques	Mértola	65.3	15.79	6.42	2.31		1.82			
	Mira	69.25	13.27	5.76	< 0.2	< 0.5	1.66			
	Brejeira	78.32	8.99	4.4	1.02		1.32			
Xistos Argilosos	Mértola	58.13	18.97	7.03						
	Mira	55.3	23.24	6.76		*				
	Brejeira	54.1	23.96	6.55						

Nos relatórios da companhia SMRA consta um ficheiro de análises de litogeoquímica para diferentes subáreas da faixa Serra Branca e Mina de S.Domingos; no total de 28 amostras. Apesar do número reduzido de amostras impedir uma análise fidedigna e extrapolável, geologicamente, os valores são tomados em consideração pois dão-nos uma ideia global do conteúdo das rochas em diversos elementos. De acordo com a tabela apresentada nos mesmos relatórios, a análise química foi feita para 26 elementos; no entanto muitos destes elementos apresentam valores abaixo do limite de detecção do método analítico usado; a Tabela 6 mostra as análises de rocha total realizadas para o Cu, Zn e Pb. Apesar de neste estudo não constar a subárea de Vale Covo, esta faz parte da área envolvente da faixa Serra Branca e Mina de S.Domingos, permitindo uma análise com maior conjunto de valores de concentração. Todas estas subáreas sobrepõem-se, grosso modo, ao CVS.

Apesar dos relatórios não discriminarem as litologias analisadas, os valores apresentados permitem ter uma ideia do conteúdo em Cu, Zn e Pb manifestado pelas rochas aflorantes neste sector (NE) da ZSP. Em geral, as concentrações em Cu são muito elevadas, em comparação com o Zn e Pb. A subárea da Mina de S.Domingos apresenta valores relativamente baixos, mas apenas duas amostras foram analisadas, pelo que a representatividade dos mesmos poderá não estar assegurada. A subárea de Vale Covo sobrepõe-se a formações do CVS e GFQ, junto ao antiforma de Serra Branca.

Tabela 6 - Valores de concentração em Cu, Zn e Pb em análises de rocha total; amostras colhidas na faixa entre Serra Branca e Mina de S.Domingos (Adaptado SMRA, 1996-99).

Subáreas	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)
Alvares (n=4)	27	24	18
	76	17	82
	84	15	234
	980	151	621
Serra Branca (n=9)	34	123	9
	376	27	95
	122	25	88
	40	12	122
	59	10	80
	20	7	26
	12	7	27
	490	31	8
	32	150	20
Vale Covo (n=13)	39	18	25
	12	35	9
	10	48	10
	312	65	146
	160	20	530
	341	50	408
	*	*	*
	109	30	133
	*	*	*
	69	80	31
	*	*	*
	196	36	199
	325	54	149
Mina de S.Domingos (n=2)	5	14	3
	12	94	16

Com base nas informações bibliográficas elaborou-se uma tabela 7 comparativa com os valores médios e medianos em Cu, Zn e Pb, diferenciando rochas metassedimentares e metavulcânicas. A análise desta tabela permite concluir que os conteúdos nos três metais são mais elevados nas rochas metassedimentares; no entanto, é importante referir que os metassedimentos do GFQ apresentam concentrações inferiores aos xistos (mineralizados ou não) constituintes do CVS. Para os dados recolhidos pela SMRA calcularam-se os valores médios e medianos dos valores apresentados, mas neste caso sem discriminação de litologias. Na tabela 8 os conteúdos medianos em Cu, Zn e Pb são mais representativos da realidade.

Tabela 7 - Conteúdos médios em Cu, Zn, Pb, V e Ni em rochas metassedimentares e metavulcânicas, de acordo com Spiro e Tornos (1999).

	Conteúdos médios (ppm)				
	Cu	Zn	Pb	V	Ni
Rochas Metassedimentares (n=109)	91	179	88	153	54
Rochas Metavulcânicas (n=195)	39	47	20	40	12

Tabela 8 - Conteúdos médios e medianos em Cu, Zn e Pb na Faixa Serra Branca – Mina de S.Domingos (SMRA 1996-199)

	Cu	Zn	Pb	Conteúdo
Faixa Serra Branca - Mina de S.Domingos (litologias não especificadas)	158	46	124	Médios (ppm)
	69	30	80	Medianos (ppm)

3. Metodologias

3.1) Constituição dos bancos de dados para solos e sedimentos de corrente

A base de dados examinada no presente trabalho integra vários conjuntos de resultados analíticos que caracterizam um elevado número de amostras colhidas em sucessivas campanhas de amostragem de solos e de sedimentos de corrente no NE da FPI. A compilação destes dados foi realizada a partir de relatórios de prospecção e pesquisa arquivados no Pólo de Beja do LNEG, tendo ainda em conta as notas adicionais relativas às campanhas de amostragem, como por exemplo: (i) extensão e espaçamento da rede de amostragem e (ii) procedimentos analíticos usados e respectivos limites de detecção.

Tomaram-se duas campanhas de amostragem distintas. A primeira foi realizada pelo ex – Serviço de Fomento Mineiro (SFM) nos anos 50 do séc. XX e procurou caracterizar a geoquímica de solos numa área que se estende entre Albernoa, Serra Branca e Mina de S.Domingos. A segunda campanha de amostragem foi conduzida pela Sociedade Mineira Rio Artezia Lda (SMRA), na segunda metade dos anos 90 do séc. XX, envolvendo solos e sedimentos de corrente nas áreas de Serra Branca e Chança.

Uma primeira análise permitiu seleccionar os dados para tratamento neste trabalho. Os dados provenientes da Sociedade Mineira rio Artezia Lda constam de quatro ficheiros; no entanto, apenas foram utilizados dois deles (um para solos e outro para sedimentos), os quais correspondem a actualizações da mesma base de dados.

No caso da área de Chança tomou-se o único ficheiro de dados existente, muito embora de acordo com os relatórios da Atlantic Copper Holding S.A. (antiga RioTinto Mineira) as campanhas tenham sido concretizadas em duas fases.

O ficheiro de dados relativo a análises químicas de solos colhidos pelo SFM foi utilizado na totalidade. A Tabela 9 sintetiza os ficheiros finais utilizados para este trabalho.

Tabela 9 - síntese dos ficheiros finais utilizados neste trabalho.

Fonte da base de dados	Geoquímica	Áreas	Nr. de pontos amostrados	Metais analisados
Sociedade Mineira Rio Artezia, Lda	Solos	Serra Branca	3615	Análise multi-elementar para 50 elementos
	Sedimentos de Corrente		1034	Análise multi-elementar para 32 elementos
Atlantic Cooper Holding, S.A.	Solos	Chança	800	Cu, Zn, Pb, As e Au
S.F.M.	Solos	Albernoa - Serra Branca - Mina de S.Domingos	13009	Cu e Zn

Os dados provenientes do SFM, resultaram de campanhas executadas com uma rede de amostragem regular de 100X100m. Os resultados analíticos para o Cu e Zn (quantificados em ppm) foram obtidos no laboratório interno por extracção a quente com biquinolina ($C_{18}H_{12}N_2$) por colorimetria; os limites de detecção para o Cu e Zn cifram-se em 5 e de 10ppm, respectivamente. A profundidade de recolha das amostras neste caso é de 20 cm, considerando fracções inferiores a 80 mesh.

De acordo com os relatórios consultados da Sociedade Mineira Rio Artezia Lda., a geoquímica de solos para a Área de Serra Branca foi realizada com base na rede de amostragem utilizada nos levantamentos gravimétricos (300X300m); em alguns sectores traçaram-se perfis de amostragem adicionais com espaçamento inter-pontos mais curto, mas não especificado. É importante referir ainda que, apesar da descrição realizada no relatório, a rede não se verificou regular aquando da sua projecção em mapa. Outro aspecto importante consiste no facto do relatório referir análises químicas para 32 elementos, apesar do ficheiro revelar análises para 50 elementos químicos, muito embora a maioria dos elementos se encontre abaixo do limite de detecção.

A Atlantic Copper Holding, S.A. (ex Rio Tinto Mineira) efectuou uma campanha de amostragem para geoquímica de solos na Área Chança, usando para o efeito uma rede regular 300x300 m, visando a análise de 5 elementos: Cu, Zn, Pb, Au e As. Nos relatórios consultados não existe qualquer referência ao laboratório e aos limites de detecção utilizados nestas determinações analíticas.

Para os sedimentos de corrente obtiveram-se amostras em 1034 locais, cobrindo a área total da concessão para a Prospecção e Pesquisa de Serra Branca. De acordo com os relatórios semestrais consultados, as amostras foram recolhidas na dependência da rede de drenagem, desde os rios principais, como o Guadiana e o Chança, até tributários de terceira ordem. As análises químicas, para

solos e sedimentos de corrente, foram realizadas no Laboratório Chemex (Canadá), recorrendo ao método ICP (tipologia não especificada) num conjunto de 32 elementos; para o Au, em particular, foram produzidas análises orientativas por “fire assay”.

Apesar da área em estudo se encontrar totalmente coberta pela rede de amostragem, a malha é irregular e existem sectores varridos por perfis de amostragem mais apertados. Deste modo, foi necessário proceder à subdivisão das áreas para garantir condições adequadas à interpolação de resultados.

O Mapa geológico representado na figura 1 apresenta a distribuição e delimitação das diferentes áreas e subáreas. A georeferenciação foi realizada com o programa ArcGis®, sob licença do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia). Criaram-se dois ficheiros de trabalho respeitando o sistema de coordenadas em que se encontravam os pontos de amostragem provenientes das fontes consultadas. Os dados do SFM encontram-se referenciados ao sistema Hayford Gauss; os reportados pela Sociedade Mineira Rio Artezia, Lda e Atlantic Copper Holding, S.A. usam coordenadas projectadas no sistema *UTM – European Datum 1950 Zone 29N*. A georeferenciação correcta é essencial, pois em fases subsequentes do trabalho os mapas geoquímicos foram também georeferenciados e projectados sobre bases geológicas, sendo assim possível proceder à interpretação integrada dos domínios caracterizados por valores anómalos de concentração em determinados metais, posteriormente validadas com as observações de campo.

3.2) Tratamento do Banco de Dados

O principal objectivo consiste na caracterização sistemática das distribuições espaciais de concentração e, nesta base, delimitar anomalias com potencial interesse em prospecção e pesquisa mineral (algumas das quais já conhecidas, permitindo testar as metodologias usadas).

A sequência metodológica usada começou pela análise estatística descritiva dos dados previamente compilados, usando para o efeito medidas de tendência central e de dispersão. De seguida, testou-se o carácter multifractal de acordo com o procedimento explicitado em Gonçalves (2001), recorrendo a um programa especificamente concebido para este efeito em ambiente MATLAB®. Após confirmação do carácter multifractal, calcularam-se os valores de fundo (regional e local) que delimitam os verdadeiros valores de concentração anómalos de acordo com o modelo Concentração-Área (Cheng et al. 1994). Por fim, através da modelação de variogramas em ambiente SURFER®, produziram-se mapas de isolinhas de concentração, visando o *kriging* ordinário como processo de interpolação.

3.2.1) Estatística Descritiva

A caracterização paramétrica da amostra da população pode ser realizada de diversas formas. Neste âmbito, as medidas de tendência central adquirem particular importância, pois permitem determinar o valor da variável em estudo que ocorre com maior frequência. Por sua vez, as medidas de dispersão possibilitam avaliar os desvios aos valores de tendência central, isto é a natureza simétrica ou assimétrica das distribuições de valores. Daqui resulta uma melhor percepção da heterogeneidade das distribuições geoquímicas, bem como dos graus de assimetria apresentadas pelas distribuições de concentração para cada elemento químico; a potencialidade para a existência de subconjuntos de valores anómalos pode ser ainda ser qualitativamente inferida.

3.2.2) Variogramas

Os métodos geoestatísticos permitem apreciar o padrão de distribuição espacial das variáveis em estudo. Assim, e no que respeita à análise das distribuições espaciais de concentração em determinados metais, é possível colocar em evidência subconjuntos anómalos de valores de concentração para determinadas regiões do espaço, delimitando então áreas com potencial interesse económico.

Uma das medidas elementares é a semi-variância, a qual expressa o grau de dependência espacial entre a população (usada para avaliar a taxa de variação da variável regionalizada) e uma orientação específica:

$$\gamma(h) = \frac{\sum^{n-h} (X_i - X_{i+h})^2}{2n}. \quad (i)$$

$\gamma(h)$ = medida da dependência espacial entre pontos de amostragem numa direcção específica

X_i = concentração em determinado local

X_{i+h} = concentração após h intervalos de espaço

n = número de amostras

Ao calcular a semi-variância para diferentes valores de h é possível apresentar os resultados sob a forma de um semi-variograma que, através de diferentes parâmetros, permite avaliar a correlação estabelecida entre diferentes pontos (valores de concentração) no espaço (e.g. Davis, 1986).

O ajuste de um semi-variograma experimental a uma função contínua é um processo de tentativa e erro, procurando obter a expressão matemática que melhor transcreve a distribuição espacial da variável em estudo. Existem diversas possibilidades de modelos de semi-variogramas. Os

mais utilizados são o linear, esférico e exponencial; neste trabalho devido às características da população amostral, o modelo que se revelou mais adequado foi o exponencial.

No ajuste dos modelos de semi-variogramas são tomados diversos parâmetros normalmente categorizados em móveis e fixos. Os primeiros dizem respeito ao alcance, patamar e efeito pepita, que se encontram na dependência dos valores de distribuições de concentração e da sua possível correlação espacial. O efeito pepita revela-se da maior importância, pois se assumir um valor muito díspar da média/mediana da amostra, o semi-variograma exibe comportamento errático, invalidando ou tornando difícil a apreciação da correlação espacial para o resto da amostra. Este problema assume especial relevância quando, através do método de *kriging*, ocorre uma extrapolação espacial que poderá não corresponder à realidade geológica; isto é, o modelo matemático inerente ao *kriging* admite todo intervalo de valores, podendo um único ponto de amostragem ter grande influência sobre os pontos adjacentes, delimitando um halo geoquímico anómalo sem significado físico.

Os parâmetros considerados fixos são a anisotropia e a amplitude de direcção utilizada para o correcto ajuste do semi-variograma. A amplitude de direcção seleccionada teve sempre em consideração as principais estruturas geológicas a nível regional com direcções que variam, principalmente, entre WNW – ESE e NW – SE.

3.2.3) *Kriging* e mapas de isoconcentração

De acordo com a Teoria das Funções Aleatórias, é possível correlacionar as variáveis espaciais regionalizadas sob a forma de funções numéricas para descrever fenómenos naturais que apresentem dispersão geográfica.

Uma das metodologias mais utilizadas nas geociências é o *kriging* (processo de interpolação espacial). Esta metodologia assume que a distância entre os diferentes pontos de amostragem espelha a correlação espacial, sendo assim utilizada para a justificação da variação espacial da distribuição de valores de concentração. O processo de interpolação considera o parâmetro de semi-variância e tem por base o modelo de variograma, função que traduz o grau de dependência espacial entre as amostras de acordo com a distância entre os pontos amostrados (e.g. Davis, 1986). Existem dois tipos de *kriging*: ordinário e simples. Neste trabalho optou-se pelo *kriging* ordinário pois esta metodologia tem em conta a tendência da variável regionalizada (e.g. Rock, 1988).

Os mapas de isoconcentração são construídos na dependência do respectivo semi-variograma considerando as coordenadas dos pontos de amostragem.

3.2.4) Comportamento multifractal

A análise do comportamento multifractal revela-se útil à: (1) caracterização e modelação de fenómenos complexos; (2) simulação estocástica de distribuições espaciais; (3) interpolação de dados; (4) extrapolação de comportamentos entre escalas e (5) delimitação de valores anómalos de distribuição em relação a um comportamento característico (de fundo).

As distribuições espaciais de valores de uma determinada variável apresentam comportamento multifractal quando caracterizadas por diferentes medidas de auto-semelhança (estrita ou estatística). Tal comportamento é frequente em distribuições naturais de concentração, reflectindo os diferentes factores que regem a sua variação no espaço. Apesar dos métodos multifractais simularem fenómenos muito complexos, não significa que seja possível inferir ou compreender a sua totalidade, a partir de alguns parâmetros; no entanto, no que diz respeito às distribuições geoquímicas é possível incrementar o conhecimento sobre as mesmas (Gonçalves, 2001). Ao verificar o comportamento multifractal para um determinado arranjo geométrico é possível extrapolar a partir desse para uma área infinitamente maior, tendo em conta as diversas dimensões fractais envolvidas no modelo multifractal. Se tomarmos como exemplo, uma área de dimensão x onde a distribuição dos valores de concentração num determinado metal apresenta carácter multifractal é possível extrapolar para uma área infinitamente maior (y) de acordo com as várias dimensões consideradas. Esta extrapolação pode realizar-se de acordo com medidas de auto-semelhança absoluta (ou estrita) ou apenas de auto-semelhança estatística (ou auto-afinidade). A utilidade desta metodologia em estudos de prospecção e pesquisa tem sido demonstrada em diversos trabalhos (Gonçalves et al, 2001; Jesus et al, 2003; Feliciano et al, 2008).

3.2.5) Cálculo dos valores de fundo – Método Concentração/Área

De acordo com a metodologia proposta por Cheng et al (1994), posteriormente utilizada por outros autores em diversos trabalhos, é possível estabelecer uma relação empírica entre uma área A caracterizada por um conjunto de amostras com concentração ρ num dado elemento químico que é inferior ou igual a um dado valor v (fundo),

$$A (\rho \leq v) \propto \rho^{-\delta 1} \quad (ii)$$

A aplicação desta relação empírica exige verificação prévia do carácter multifractal dos valores das distribuições de concentração. Através do declive da relação entre o logaritmo da área e o logaritmo da concentração é possível calcular o valor de $\delta 1$. Para áreas que apresentem valores de concentração

superiores a um determinado valor v , calcula-se da mesma forma, tendo o expoente δ_2 o mesmo significado que o indicado para δ_1

$$A(\rho > v) \propto \rho^{-\delta_2} \quad (iii)$$

Após verificação do carácter multifractal e de acordo com o modelo multifractal (Cheng et al, 1994) resultam equações semelhantes a (ii) e (iii), caracterizando as relações entre área e concentrações para os dois extremos possíveis do espectro multifractal. Para um determinado conjunto de valores ρ próximos do seu mínimo

$$A(\rho) = C_1 \rho^{-\delta_1} \quad (iv)$$

onde δ_1 é o expoente que se refere ao valor mínimo de α no respectivo espectro multifractal. No outro extremo, existe um determinado conjunto de valores próximos do seu máximo

$$A(\rho) = C_2 \rho^{-\delta_2} \quad (v)$$

onde δ_2 é o expoente que se relaciona com o valor máximo de α do mesmo espectro multifractal. As constantes C_1 e C_2 são de proporcionalidade (Gonçalves et al, 2001).

De acordo com as leis da potência multifractal, vem então

$$A(T) - A(\rho) = C \rho^\beta \quad (vi)$$

onde $A(T)$ é a área total amostrada, C é uma constante e β o expoente associado ao máximo de do valor α . Assim, projectando graficamente $\text{Log}(A)$ e $\text{Log}(C)$ é possível determinar os valores das constantes e expoentes, bem como calcular os valores de fundo, quando $\rho = v$ (quebra de linearidade nas rectas de regressão linear que unem os diferentes valores $\log A$ versus $\log C$).

3.2.6) Índices, no caso dos sedimentos de corrente

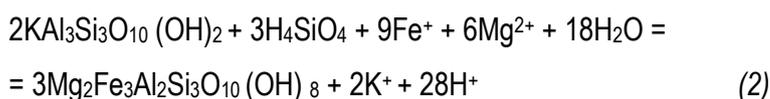
A principal utilização da litogeoquímica em prospecção e pesquisa de mineralizações de sulfuretos maciços vulcanogénicos consiste na caracterização da natureza e grau de alteração das rochas vulcânicas, para posterior compreensão da relação existente entre a alteração hidrotermal e a mineralização propriamente dita. Validando esta relação numa determinada província metalogénica será possível usá-la na pesquisa de novas massas minerais com valor económico. Em termos geoquímicos o padrão de alteração hidrotermal das rochas vulcânicas que se associam a mineralizações de sulfuretos maciços pode ser discriminado com base nas tendências composicionais impostas pelas transformações mineralógicas envolvidas no processo hidrotermal. Large et al (2001) sugerem para o efeito uma projecção gráfica conjunta do Índice de Alteração (AI) e do Índice de mineralização Clorite – Carbonato – Pirite (CCPI).

O Índice AI foi definido por Ishikawa (1976)

$$AI = \frac{100(K2O+MgO)}{(K2O+MgO+Na2O+CaO)} \quad (vii)$$

com o objectivo de quantificar a intensidade dos processos de hidrólise experimentados por feldspatos e plagioclases geralmente transcritos sob a forma de deposição de mica potássica dioctaédrica fina (sericite) e quartzo, bem como pelos minerais ferromagnesianos primários (se existentes), conduzindo assim ao desenvolvimento de clorite (\pm carbonato) a muro da mineralização.

Os ambientes distais à descarga hidrotermal são caracterizados pela substituição da albite por sericite (reacção 1), enquanto a cloritização exprime ambientes mais proximais dessa descarga (reacção 2). Como se pode observar, o processo implica a perda de sódio e o ganho relativo de potássio, mantendo-se a quantidade relativa de alumínio (Large et al., 2001)



De acordo com os estudos realizados por Large et al (2001), os valores AI para rochas vulcânicas não alteradas distribuem-se entre 20 e 60 e, para rochas alteradas hidrotermalmente, situam-se entre 50 e 100. As rochas totalmente alteradas hidrotermalmente, onde se observa

substituição total da plagioclase, vidro vulcânico por clorite e sericite pode atingir o valor 100. No entanto este índice apresenta algumas limitações pois não tem em conta a alteração carbonatada e a deposição (disseminação) de sulfuretos e/ou óxidos e hidróxidos de ferro, revelando-se ainda incapaz de distinguir os dois principais halos de alteração neste tipo de depósitos (cloritização e sericitização).

Pelo contrário, o índice CCPI (Large et al., 2001):

$$CCPI = \frac{100(FeO+MgO)}{(MgO+FeO+Na_2O+K_2O)} \quad (j)$$

permite avaliar a intensidade da alteração carbonatada (dolomite, anquerite, siderite) e o enriquecimento em pirite, magnetite e hematite, ajustando-se à caracterização de ambientes proximais da descarga hidrotermal, reflectindo o aumento em MgO e FeO e diminuição relativa de Na₂O e K₂O. Os valores do índice CCPI variam consoante a tipologia de rochas vulcânicas: (i) riólitos entre 15 e 45, (ii) dacitos entre 30 e 60, (iii) andesitos entre 50 e 85 e por fim, (iv) os basaltos entre 70 e 90. No entanto, tal como o índice AI, este também apresenta algumas limitações, entre as quais a impossibilidade da distinção de variações nas composições químicas dos minerais secundários, sendo a clorite particularmente sensível a gradientes químicos locais. Outra das limitações é a impossibilidade de distinguir clorite formada por diferentes processos geológicos, isto é, discriminar clorite resultante do metassomatismo oceânico (regional) da que se gera na dependência das descargas hidrotermais mineralizantes.

A utilização conjunta dos índices AI e CCPI permite distinguir as tendências geoquímicas da alteração hidrotermal directamente relacionada com a formação dos sulfuretos maciços. A representação gráfica da figura 9 transcreve o essencial destas tendências. A linha a tracejado divide o gráfico em duas zonas, a zona superior representa rochas hidrotermalmente alteradas e, por sua vez, a zona inferior a essa diagonal representa rochas alteradas diageneticamente (durante o metassomatismo oceânico). O rectângulo representado pela linha contínua mostra valores para as quais as rochas se encontram pouco alteradas.

Tendências Discriminantes – Hidrotermal e Diagenética

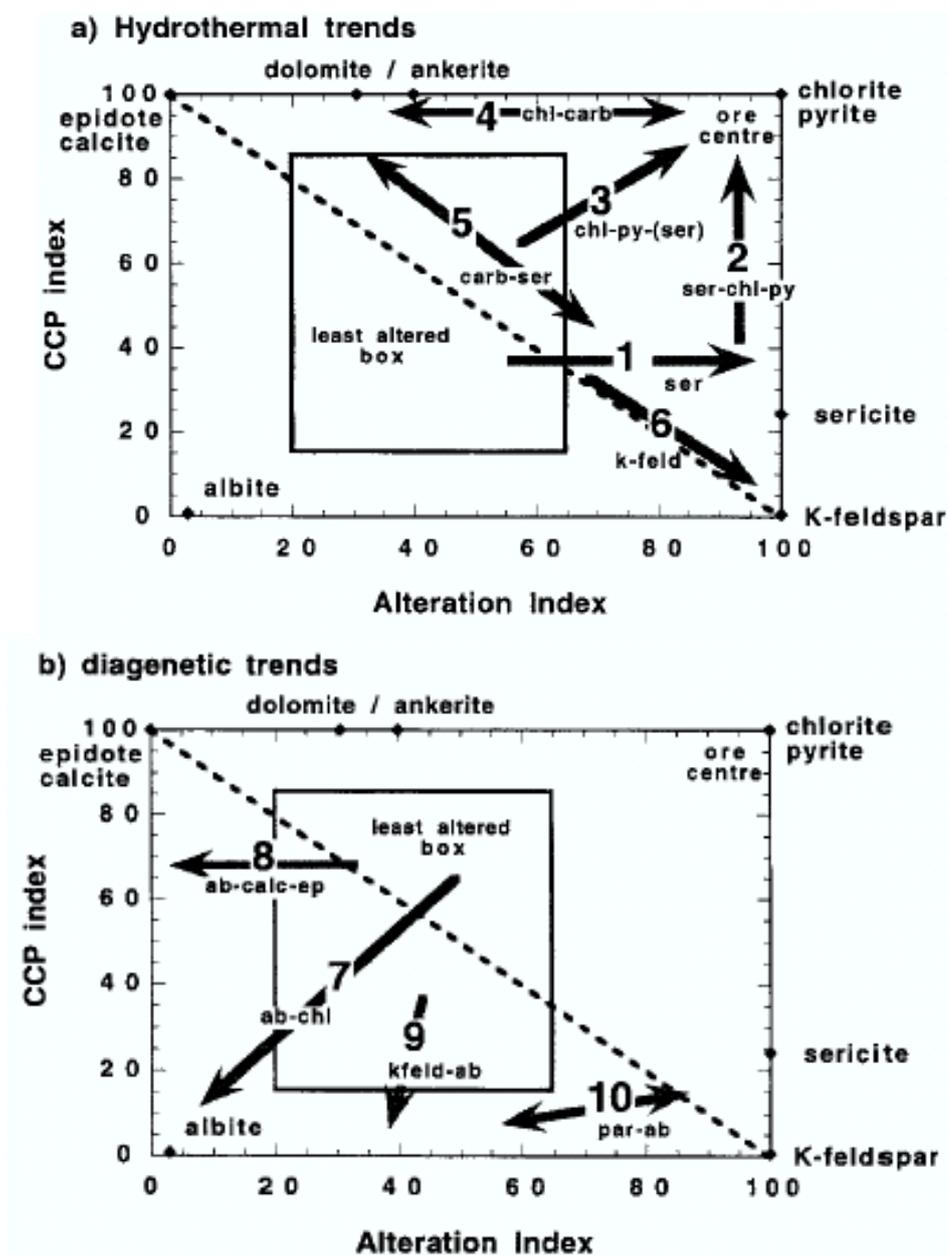


Fig. 9 – Representação gráfica dos índices Ai e CCPI dando conta das tendências discriminantes em função das características mineralógicas: a) hidrotermal e b) diagenética (Large, 2001).

Uma das principais características resultantes da diagênese/metassomatismo oceânico corresponde à formação de minerais ricos em elementos alcalinos, nomeadamente minerais do grupo dos zeólitos, feldspatos e argilas. Quando em condição P-T equivalentes às dos xistos verdes, as modificações

registadas pelas rochas vulcânicas estão limitadas a processos tais como albitização ou feldspatização potássica, acompanhados por deposição de calcite e epidoto.

Importa então distinguir estas características das que são imputáveis, a diferentes eventos de alteração hidrotermal relacionados com a formação de sulfuretos maciços.

Os minerais diagenéticos comuns são a albite, o feldspato potássico, a calcite e o epidoto projectados no eixo esquerdo (CCPI) e inferior (AI) do diagrama da figura 9. No eixo direito (CCPI) e superior (AI) da mesma figura, a sericite, clorite, pirite, dolomite e anquerite caracterizam os ambientes hidrotermais proximais. No diagrama da figura 9 a linha diagonal que une o epidoto ao feldspato potássico separa os dois domínios já referidos. Em cada domínio observam-se as diferentes e respectivas tendências (hidrotermal e diagenética) como se pode observar na figura 9a e 9b. As descrições sumárias destas tendências encontram-se nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Descrições sumárias das tendências hidrotermais (Paulick et al. (2001) *in* Large et al. (2001) identificadas na fig. 9. Adaptado de Large et al (2001); * pode ocorrer intercalado numa unidade estratigráfica favorável; ** tendência invulgar desenvolvida localmente no seio da sequência vulcânica félsica a muro da mineralização; não especificado.

Tendência		1	2	3	4	5	6
Hidrotermal	Alteração	Sericítica fraca	Sericite e clorite intensa ± pirite	Clorite ± sericite ± pirite	Clorite e Carbonatos	Sericite e Carbonatos	Feldspato K e Sericite
	Rochas envolvidas	Vulcânicas félsicas	Vulcânicas félsicas e máficas	Vulcânicas félsicas e máficas	Vulcânicas félsicas e máficas		Vulcânicas félsicas
	Relação com o sistema hidrotermal	Marginal	Proximal e a muro	Muro	Adjacente e a muro da lenticula de sulfureto maciço	Imediatamente a tecto da lenticula de sulfureto maciço*	**

Tabela 11 – Descrições sumárias das tendências diagenéticas (Paulick et al. (2001) *in* Large et al, 2001) identificados na fig. 9. Adaptado de Large et al (2001); não especificado.

Tendência		7	8	9	10
Diagenético	Alteração	Albite e Clorite	Epídoto e Calcite ± albite	Feldspato K e albite	Sericite e Albite
	Rochas envolvidas		Vulcânicas intermédias e máficas		Vulcaniclásticas
	Outros	Típico da interacção da água do mar a baixas temperaturas		Tendência desenvolvida durante os estádios iniciais da diagénese, marcada pela substituição de albite por feldspato K	Tendência diagenética geral/preservada nas rochas vulcaniclásticas a tecto da mineralização

4. Geoquímica de Solos: Análise de Dados

A estatística descritiva da base de dados total revela que a população amostrada apresenta heterogeneidade elevada para os três metais em estudo (Cu, Zn e Pb). No início de cada subcapítulo, para cada elemento, apresenta-se um quadro comparativo dos parâmetros de estatística descritiva obtidos para cada subárea considerada. O mesmo procedimento é utilizado para os valores de fundo regional. Por sua vez (e detalhadamente), os valores de fundo local são apresentados e analisados independentemente para cada subárea. Os mapas presentes nas figuras 10 e 11 dão conta das redes de amostragem utilizadas para os solos, de acordo com os diferentes sistemas de coordenadas considerados.

4.1) Distribuições espaciais dos valores de concentração para o cobre (Cu)

4.1.1) Estatística Descritiva

A Tabela 12 sintetiza os resultados da estatística descritiva para as distribuições de concentração em Cu. Em algumas das subáreas a tabela encontra-se subdividida em duas colunas de acordo com a data das campanhas de prospecção e pesquisa. Como já foi referido, as campanhas dos anos 40 foram realizadas pelo SFM e as dos anos 90 pela empresa SMRA.

A simples leitura da Tabela nº12 coloca em evidência uma população amostral muito heterogénea. Os valores da média superam as medianas das distribuições, indicando comportamentos não normais. Os valores do terceiro quartil são inferiores, por vezes em diversas dezenas, aos valores máximos das distribuições de concentração, sugerindo a existência de locais com valores de concentração anómalos.

Os valores relativos ao coeficiente de variação acima da unidade, no caso da Mina de S.Domingos muito superiores, demonstram o carácter disperso deste metal na subárea analisada.

Neste caso, todos os valores obtidos para a curtose são superiores a 0 (e.g. Rock, N.M.S., 1988), reflectindo uma curva de distribuição alta e afunilada; ou seja, valores de Cu muito dispersos em relação à média e mediana da distribuição.

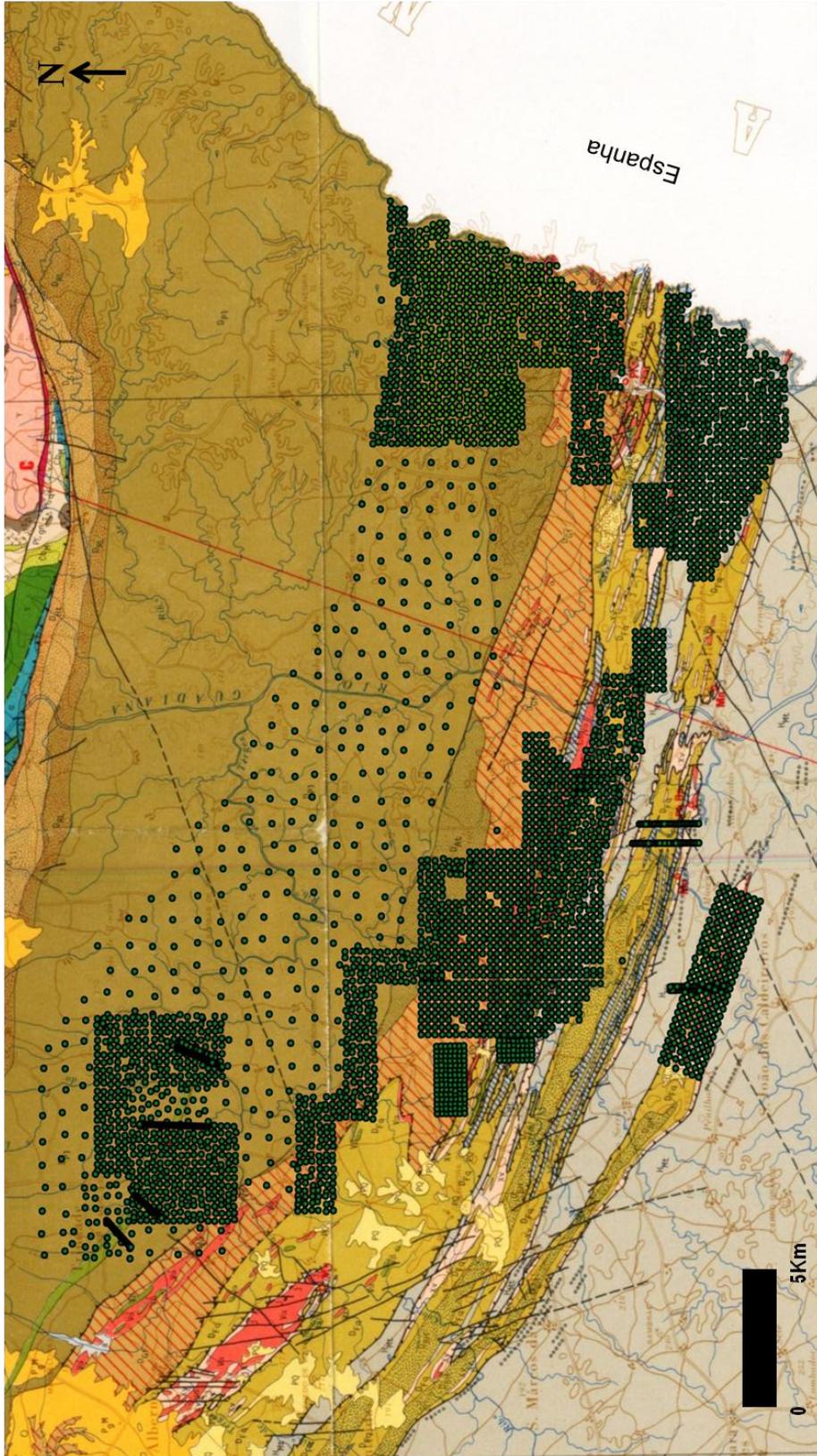


Fig. 10 – Rede de amostragem utilizada para solos utilizada pela SMRA; coordenadas UTM – ED50 29 N.

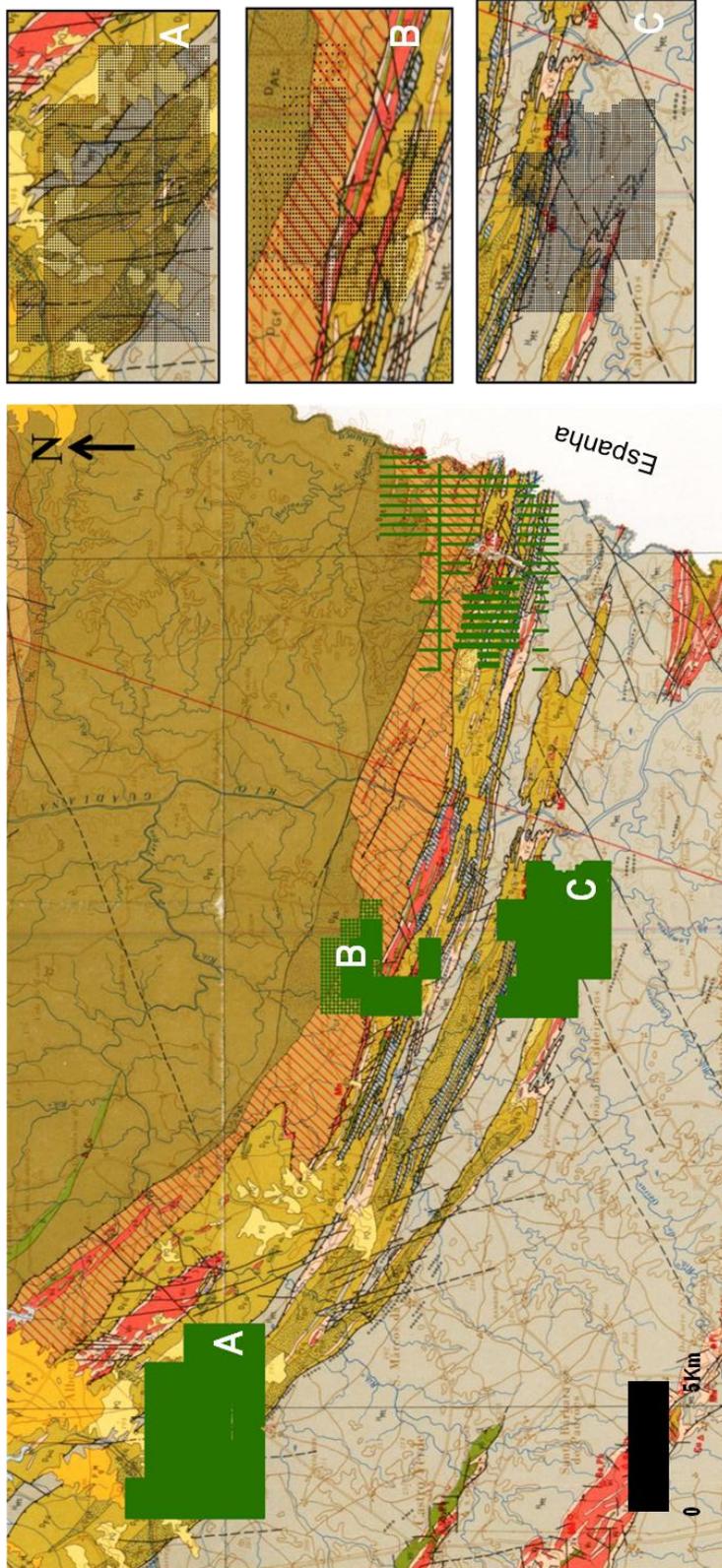


Fig. 11 – Rede de amostragem utilizada para solos utilizada pelo SFM; coordenadas Hayford Gauss

Tabela 12 - Síntese da estatística descritiva para as distribuições de concentração em Cu (solos) nas diferentes campanhas de amostragem. N: número de amostras; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; * subdivisão desta área em duas.

Cu (solos)	Sub - Áreas											
	Albernoa W - Entradas		Alfarrobeira		Serra Branca		Alvares		Mina de Chança		Mina de S.Domingos	
	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90*
Estatística Descritiva												
N	5940	902	1595	1443	3742	142	598	1731	577	177		
Mínimo (ppm)	5	3	5	3	5	10	6	5	9	8		
Máximo (ppm)	110	425	2000	226	500	202	132	15000	1053	239		
Média (ppm)	21	34	23	30	33	55	25	48	43	30.76		
Mediana (ppm)	20	30	20	26	25	43	25	30	34	28		
Q1 (ppm)	15	24	15	19	15	30	20	20	25	23		
Q3 (ppm)	25	37	25	35	30	75	29	40	46	34		
Variância	105	778	2728	363	1086	1216	76.2	134500	3055	394.9		
Coefficiente de variação	0.5	1	2.3	0.6	0.99	0.6	0.35	7.6	1.28	0.65		
Assimetria	1.7	8.857	34	3.8	4	1.5	3.905	39	11.9	7.533		
Curtose	7.5	107.38	1293	26.30	30.8	2.79	41.2	1600	197.7	73		

4.1.2) Variogramas

No ajuste dos semi-variogramas, diversos modelos teóricos foram ensaiados, mas o que melhor se ajustou à variabilidade dos dados foi o exponencial; existem algumas excepções, as quais provaram ajustar-se ao modelo esférico e logaritmico. A tabela 13 apresenta uma síntese dos resultados obtidos na modelação de semi-variogramas para as distribuições de concentração em Cu, incluindo os diferentes parâmetros móveis e fixos.

A análise dos semi-variogramas em função da direcção permite aferir as diferentes direcções no conjunto da população de amostras. Neste caso, a existência de anisotropia é dada por valores entre 1.9 e 2.3 com direcção (em azimutes) de 335°; esta direcção é compatível com a orientação dos principais alinhamentos geológicos do sector NE da FPI e Terreno Pulo do Lobo.

O efeito pepita, no geral, não toma valores muito elevados, não se verificando a existência de picos muito altos. Na subárea da Mina de S.Domingos ocorre uma excepção, onde os valores do efeito pepita apresentam dois casos que mostram valores muito elevados, quando comparados com os valores das distribuições de concentração em redor. Esta grande amplitude de variação, pode reflectir vestígios da actividade extractiva nesta subárea; como amostras colhidas em zonas de escombrelas ou fragmentos de rocha na zona da corta da mina, que influenciam o tratamento geoestatístico da população amostral

O alcance simboliza o valor a partir do qual as amostras das distribuições de concentração em estudo não se correlacionam mais. Para o patamar, nas diferentes subáreas, os valores são bastante variáveis tomando valores mais baixos, 15 e valores bastante elevados, 4000.

Tabela 13 – Tabela síntese dos parâmetros dos modelos de variogramas trabalhados para o Cu.

Cu (solos)	SubÁreas					
	Albernoa W – Entradas		Serra Branca		Alvares	
Data da amostragem	Anos 40		Anos 90		Anos 90	
Parâmetros considerados na modelação de semi-variogramas						
Modelo	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial
Patamar	39	300	300	178	550	1150
Alcance	750	1000	300	1050	2800	850
Efeito Pepita	50	200	3000	180	510	75
Anisotropia	2.3	2	2	2	2	2
Direção de Anisotropia	335	335	335	335	335	335
Direção preferencial	NW – SE a N – S	W – E a WNW – ESSE	NW – SE a WNW – ESSE	W – E a WNW – ESSE	NW – SE a WNW – ESSE	NW – SE a WNW – ESSE

Cu (solos)	SubÁreas					
	Mina de Chança		Mina de S. Domingos			
Data da amostragem	Anos 90		Anos 40		Anos 90*	
Parâmetros considerados na modelação de semi-variogramas						
Modelo	Logarítmico	Exponencial		Exponencial		
Patamar	15	350	29000	115	4000	350
Alcance	360	600	650	1250	1150	600
Efeito Pepita	35	400	10000	135	500	10
Anisotropia	2	2	2	2	2	2
Direção de Anisotropia	335	335	355	335	335	335
Direção preferencial	NW - SE a WNW - ESE	NW - SE	WNW - ESE (NW - SE)	NW - SE (N - S)	W - E a WNW - ESE	WNW - ESE

Como se pode observar através da análise da Tabela 13 existem duas subáreas onde os modelos utilizados para o ajuste dos semi-variogramas são diferentes. Nas subáreas de Chança e Alvares I foi utilizado o modelo esférico e logarítmico, pois nestes casos as redes de amostragem são mais regulares e mais abundantes.

Após os diversos ensaios realizados na modelação dos semivariogramas foi efectuada nova subdivisão de algumas das subáreas. A dificuldade no ajuste dos modelos teóricos aos experimentais, permitiu inferir sobre a impossibilidade de extrapolação, revelando a não correlação espacial da totalidade da população amostral. A tabela 14 identifica a repartição efectuada e a a figura 1 representa as diferentes subáreas em estudo neste trabalho.

Tabela 14 - Correspondência de subáreas.

1º subdivisão - Sector	Designação Final
Albernoa W - Entradas	Albernoa W - Entradas
Alfarrobeira	Alfarrobeira
Serra Branca (Anos 40)	Serra Branca I
Serra Branca (Anos 90)	Serra Branca II
Alvares (Anos 40)	Alvares I
Alvares (Anos 90)	Alvares II
Chança	Chança
Mina de S.Domingos (Anos 40)	Mina de S.Domingos Ia
	Mina de S.Domingos Ib
	Mina de S.Domingos Ic
Mina de S.Domingos (Anos 90)	Mina de S.Domingos IIa
	Mina de S.Domingos lib
	Chança N

Para cada uma das subáreas finais deste estudo realizaram-se os devidos ajustes dos semi-variogramas. O semivariograma da subárea de Alvares I, ao contrário de todos os outros encontra-se ajustado de segundo o modelo esférico e apresenta ajuste quase coincidente com o modelo teórico para a subárea considerada. Os ajustes comuns, para o Cu, na área em estudo assemelham-se aos ajustes ilustrados nos semivariogramas de Albernoa e Serra Branca II. Os restantes semivariogramas encontram-se em anexo.

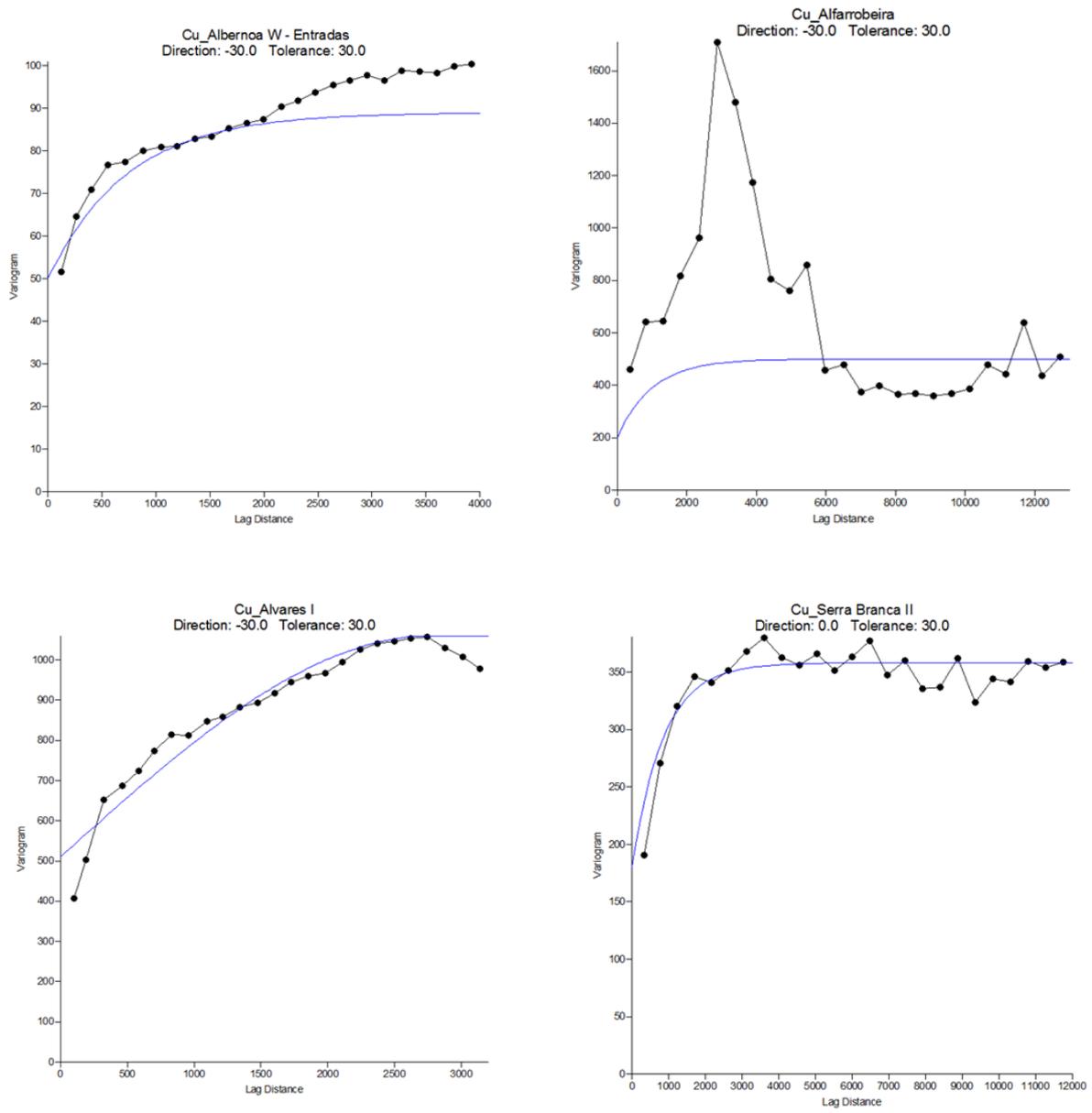


Fig.12 – Semivariogramas para a distribuição de concentração em Cu, para algumas das subáreas em estudo; o modelo teórico é representado pela curva contínua.

4.1.3) Comportamento multifractal

A figura 13 mostra alguns espectros multifractais obtidos para as distribuições de concentração em Cu. Nos espectros relativos à subárea de Mina de S.Domingos Ib e Mina de S.Domingos Ila, o ramo esquerdo do espectro apresenta os pontos, representantes dos valores de $F(\alpha) - \alpha$, mais dispersos, evidenciando um menor número de valores considerados para o intervalo α . A subárea de Alfarrobeira apesar de traduzir comportamento multifractal, no intervalo α entre -1 e -0.5 fica no limite, isto é, ultrapassando aqueles valores não se verificaria o comportamento multifractal. . Igualmente com comportamento multifractal, o espectro da subárea de Alvares II mostra com alguma simetria; indicando que os valores se encontram igualmente distribuídos para o intervalo de α considerado. Em anexo encontram-se as tabelas que sintetizam os valores $t(q)$ para um determinado intervalo de q , onde a incerteza é expressa por 2δ .

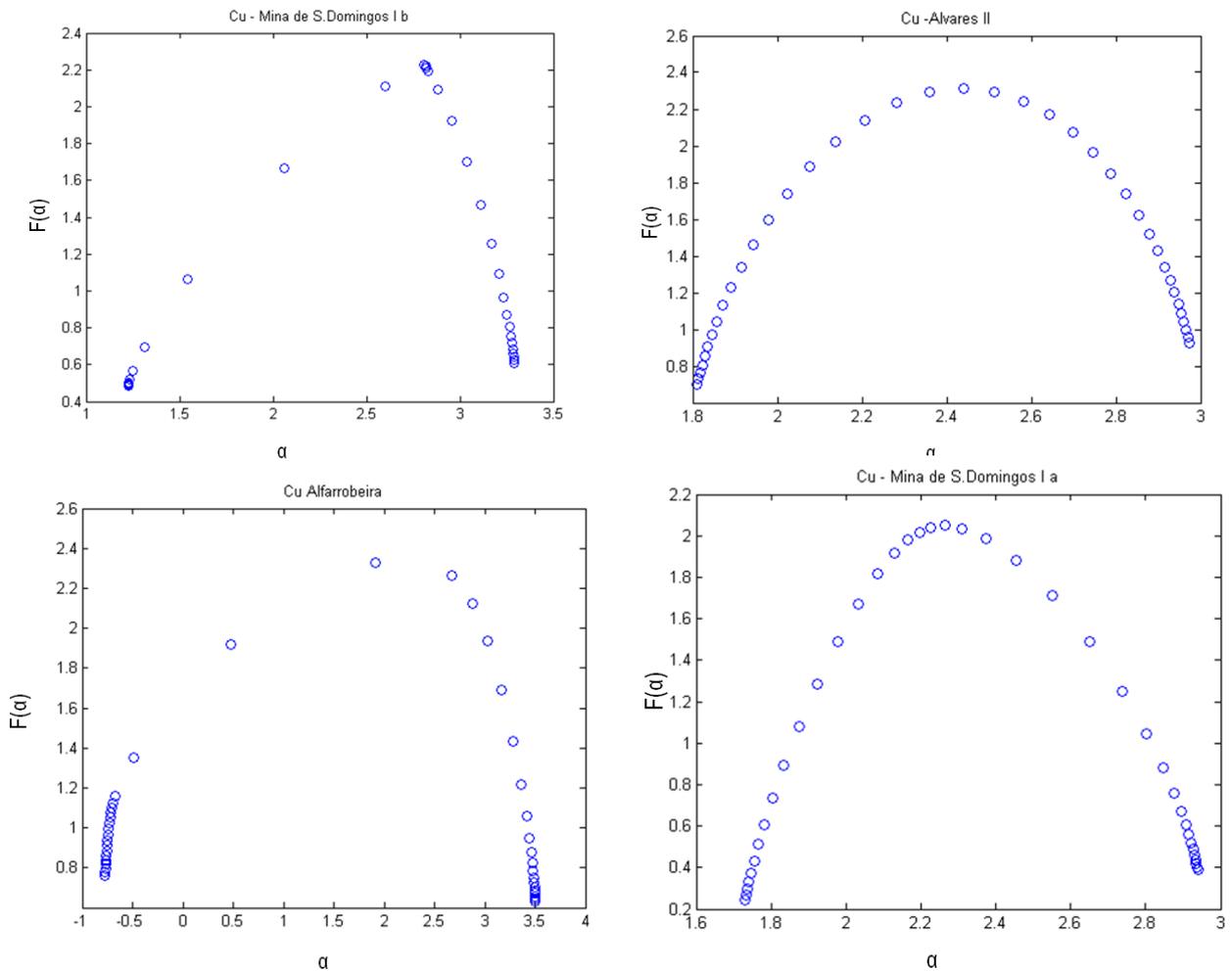


Fig. 13 – Espectros $F(\alpha) - \alpha$ que traduzem o comportamento multifractal das distribuições de concentração em Cu, em algumas das subáreas.

4.1.4) Cálculo dos Valores de fundo

Em ambiente MATLAB®, o programa desenvolvido por Gonçalves (2001) permitiu obter as variações log A(área) vs log C (concentração) para cada uma das distribuições de concentração em Cu nas diferentes sub-áreas em estudo. O cálculo dos fundos regionais e locais é feito com base no gráfico que resulta da projecção de log área vs log concentração. A quebra de linearidade permite a distinção dos diferentes patamares (fundos). Os diferentes gráficos log área vs log concentração para o Cu encontram-se em anexo.

A tabela 15 sintetiza os valores de fundo regional e local calculados para as diferentes subáreas em estudo. Como a amplitude de valores obtida para o fundo (regional) de todas as subáreas é reduzida; utilizou-se o valor mediano obtido; com objectivo de retirar um número que caracterize o conteúdo em Cu na faixa Albernoa, Serra Branca e Mina de S.Domingos. Excluindo as subáreas de Mina de S.Domingos Ib e Serra Branca I, que apresentam valores superiores e dispares dos restantes. O conteúdo mediano em Cu nas rochas desta faixa é de 25 ppm.

Tabela 15 – Valores dos fundos regionais e locais em Cu para as diferentes subáreas

Elemento	Subáreas	Fundo regional (ppm)	Fundo Local (ppm)
Cu	Albernoa W - Entradas	20	82
	Alfarrobeira	22	50
	Serra Branca I	38	84
	Serra Branca II	45	70
	Alvares I	28	69
	Alvares II	25	33
	Chança	21	32
	Chança N	26	29
	Mina de S.Domingos Ia	25	50
	Mina de S.Domingos Ib	50	97
	Mina de S.Domingos Ic	49	96
	Mina de S.Domingos IIa	30	239
	Mina de S.Domingos IIb	22	40

As distribuições espaciais de concentração em Cu, com base no fundo regional não permitem detectar diferenças composicionais nas rochas, ou seja, discriminar domínios geológicos (distinguir o CVS do GFQ).

O cálculo do fundo local, para cada subárea, pretende caracterizar domínios anómalos em diferentes subáreas; halos anómalos onde os conteúdos em Cu são superiores aos conteúdos regionais das rochas da região.

A figura nº14 ilustra um dos gráficos log A vs log C utilizados para o Cu para uma das subáreas em estudo. Os restantes gráficos encontram-se em anexo.

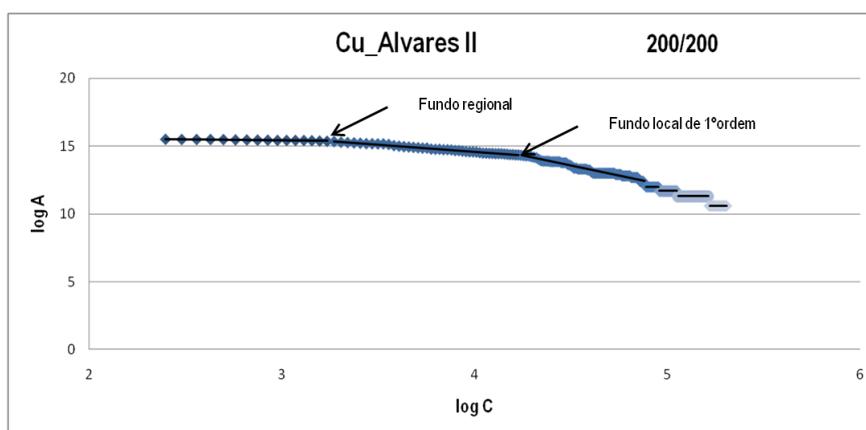


Figura 14 – Gráfico log A vs Log C para a subárea de Alvares II relativamente ao Cu. No canto superior direito encontra-se expressa: a/b; a) janela e b) rede de amostragem mais comum.

4.1.5) Mapas de Anomalias

Os mapas de isolinhas de concentração que resultaram deste estudo para o Cu referem-se apenas aos valores de concentração acima dos valores de fundo local de 1º ordem obtidos, como está expresso na tabela 15. Inicialmente são apresentados os mapas de isolinhas de concentração de Cu (sobreposto à geologia), patentes nas figuras 15 - 25 para as subáreas estudadas e posteriormente na figura 26 está ilustrado o mapa geológico 1:200.000 (Folha 8 SGP, 1992) com a sobreposição dos diferentes mapas de anomalias geoquímicas. As subáreas não representadas apresentam anomalias que não tem representatividade à escala estudada.

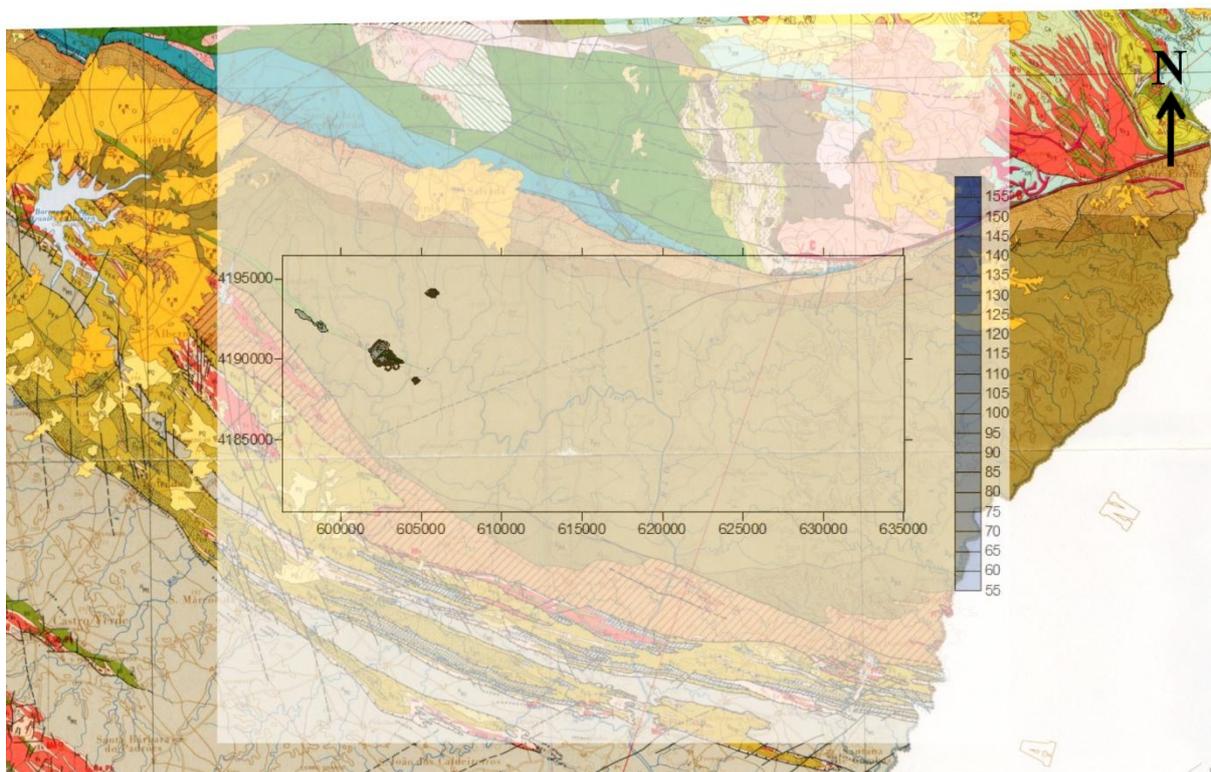


Fig. 15 - Mapa de distribuição de concentração anômala em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Alfarozeira; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

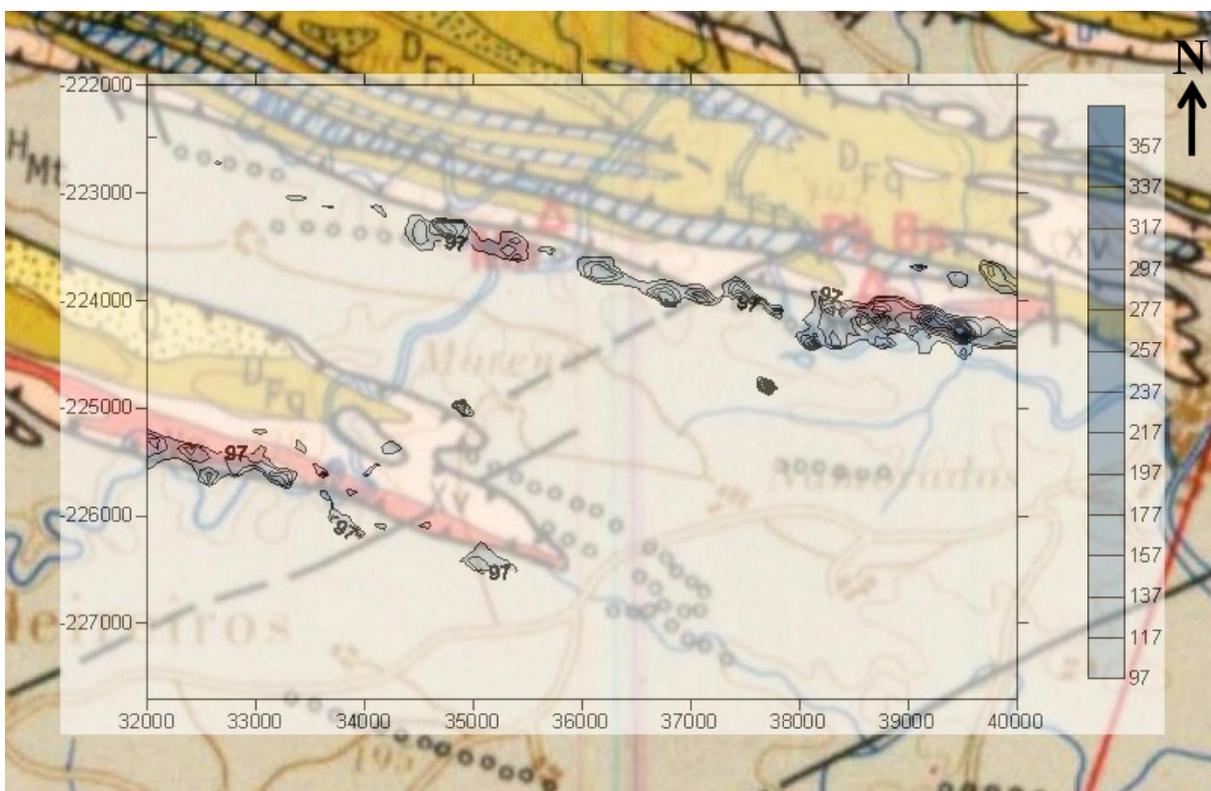


Fig. 16- Mapa de distribuição de concentração anômala em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Alvares I; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

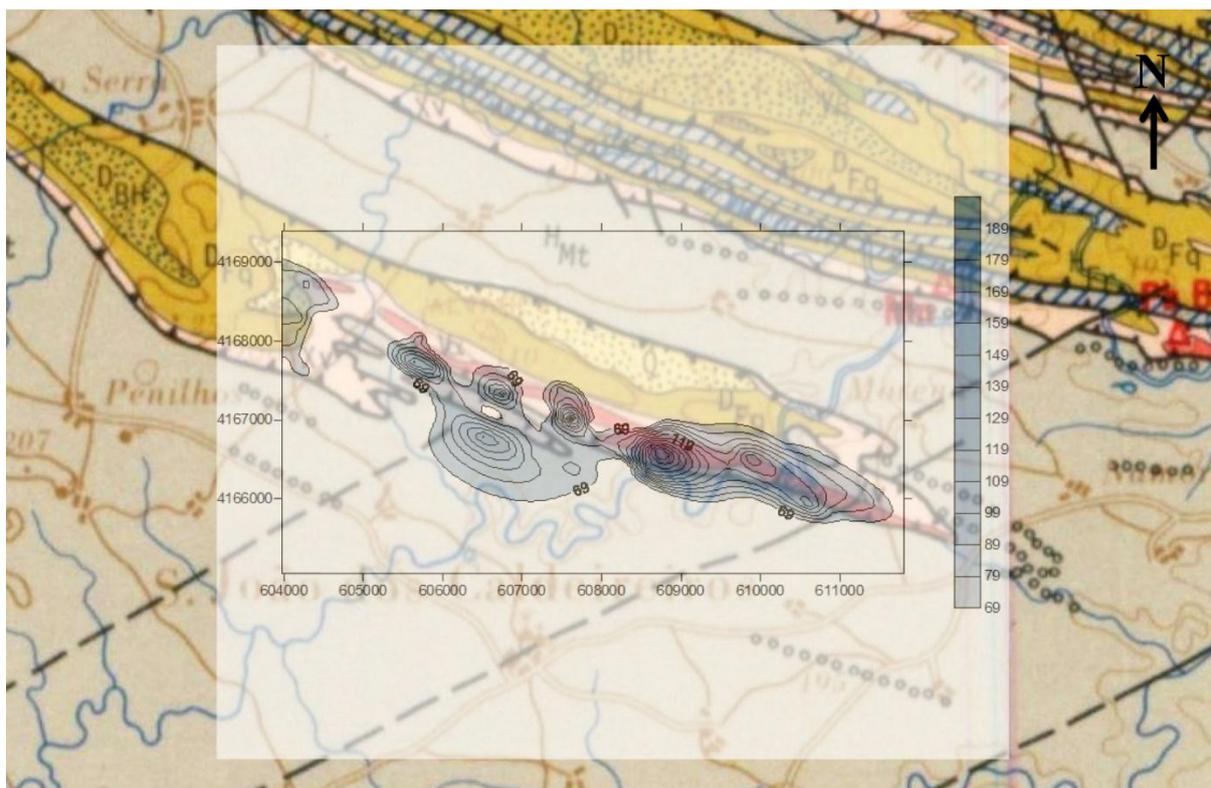


Fig. 17 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Alvares II; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

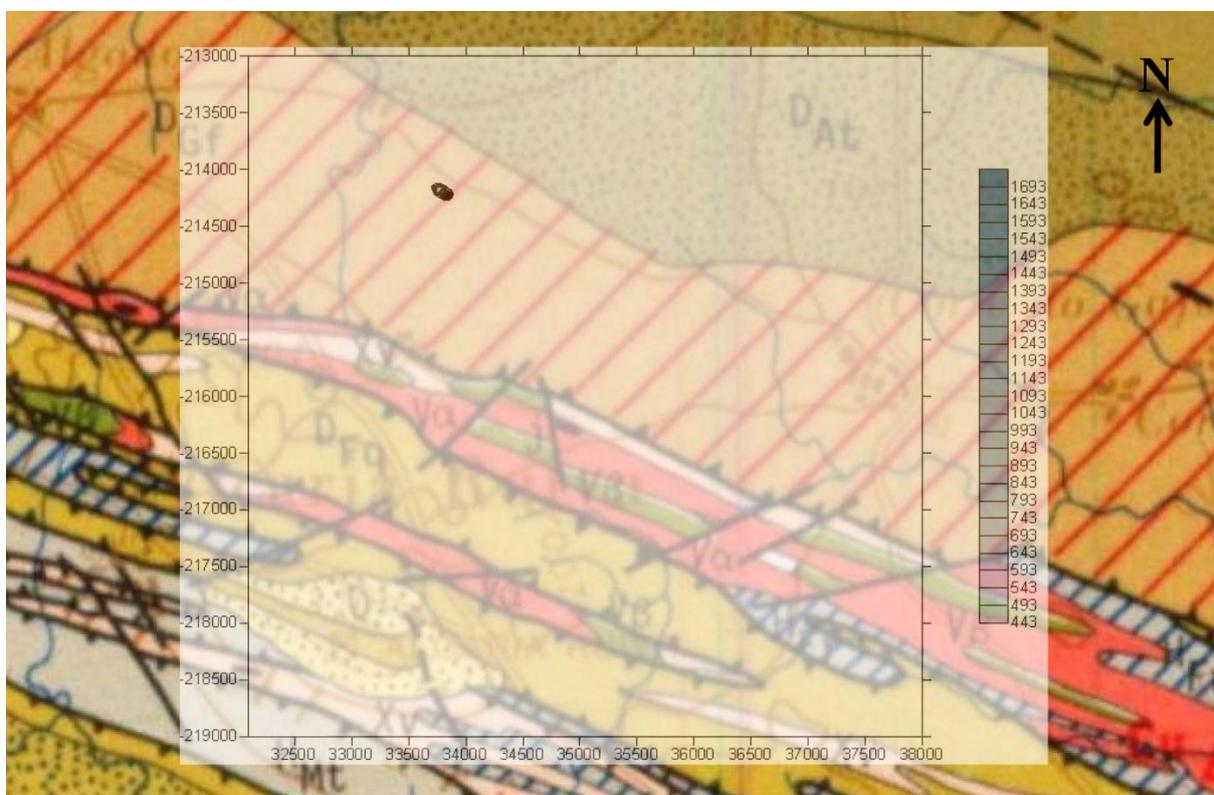


Fig. 18 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Serra Branco; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

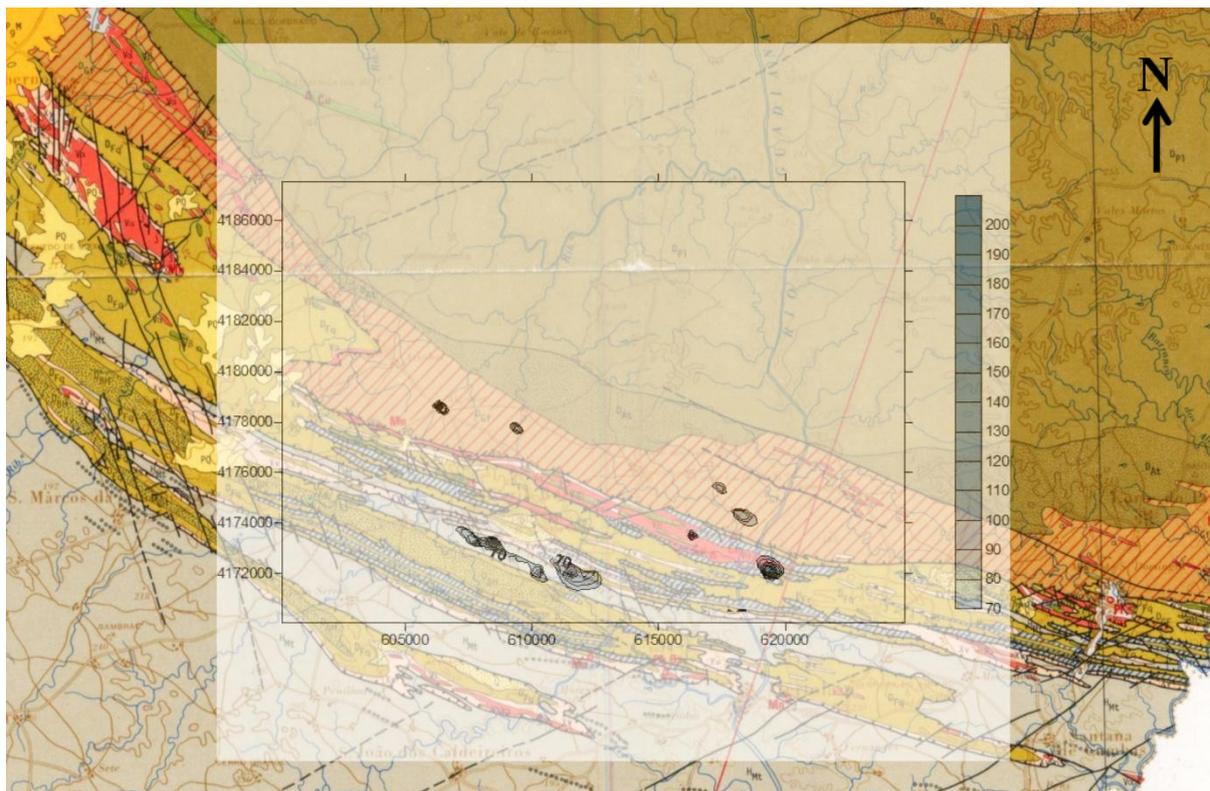


Fig. 19- Mapa de distribuição de concentração anômalo em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Serra Branca II; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

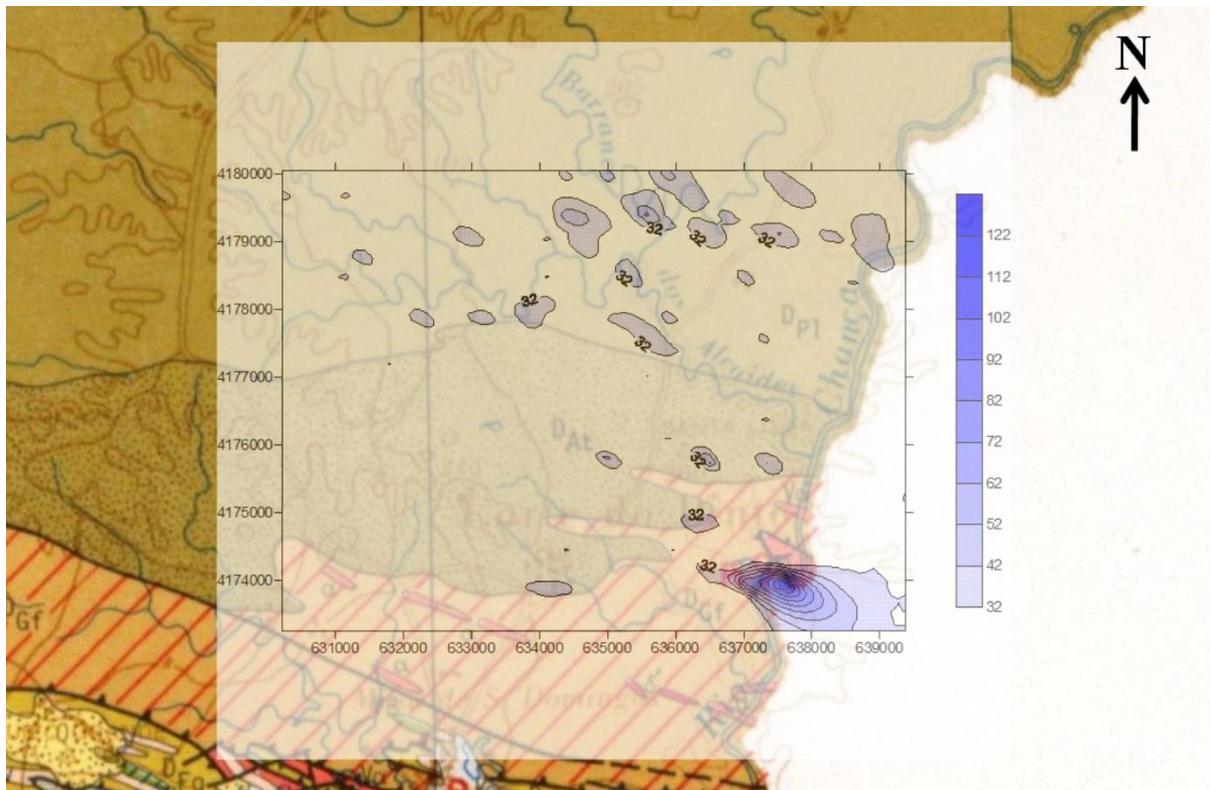


Fig. 20 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Chança; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

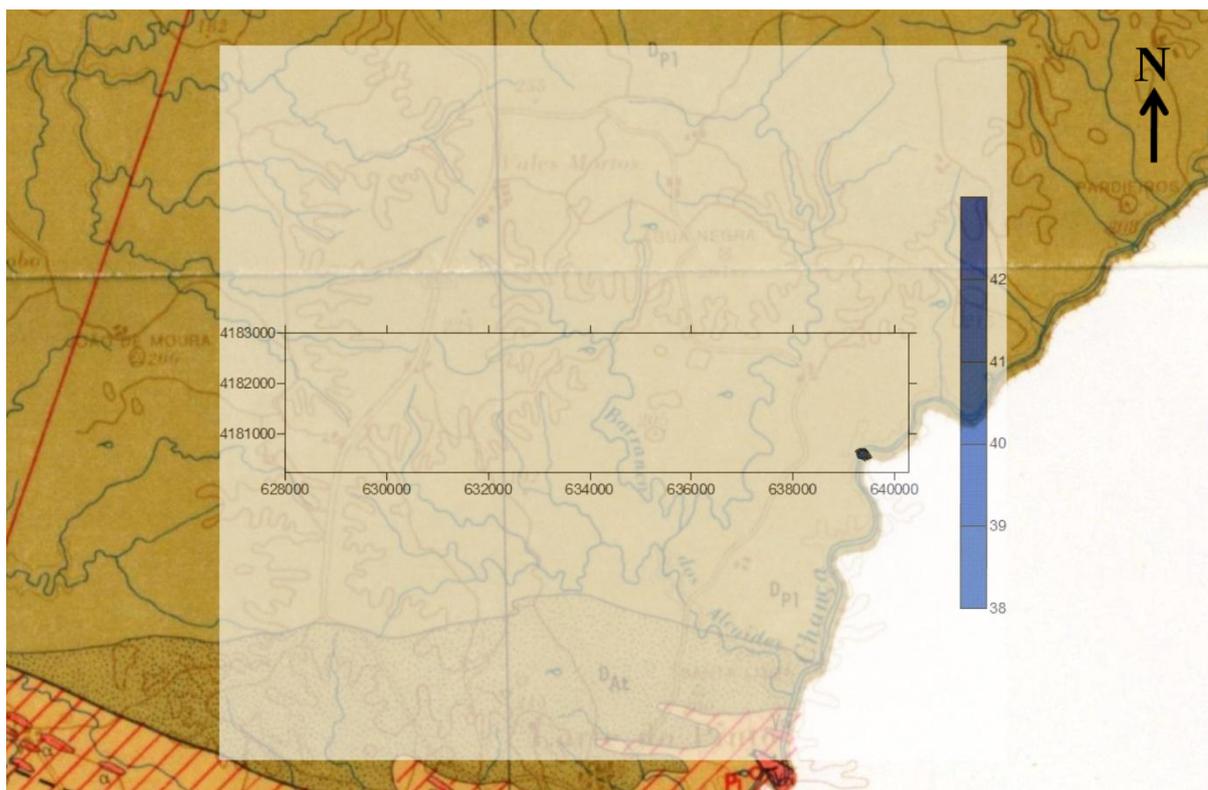


Fig. 21 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Chança N; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

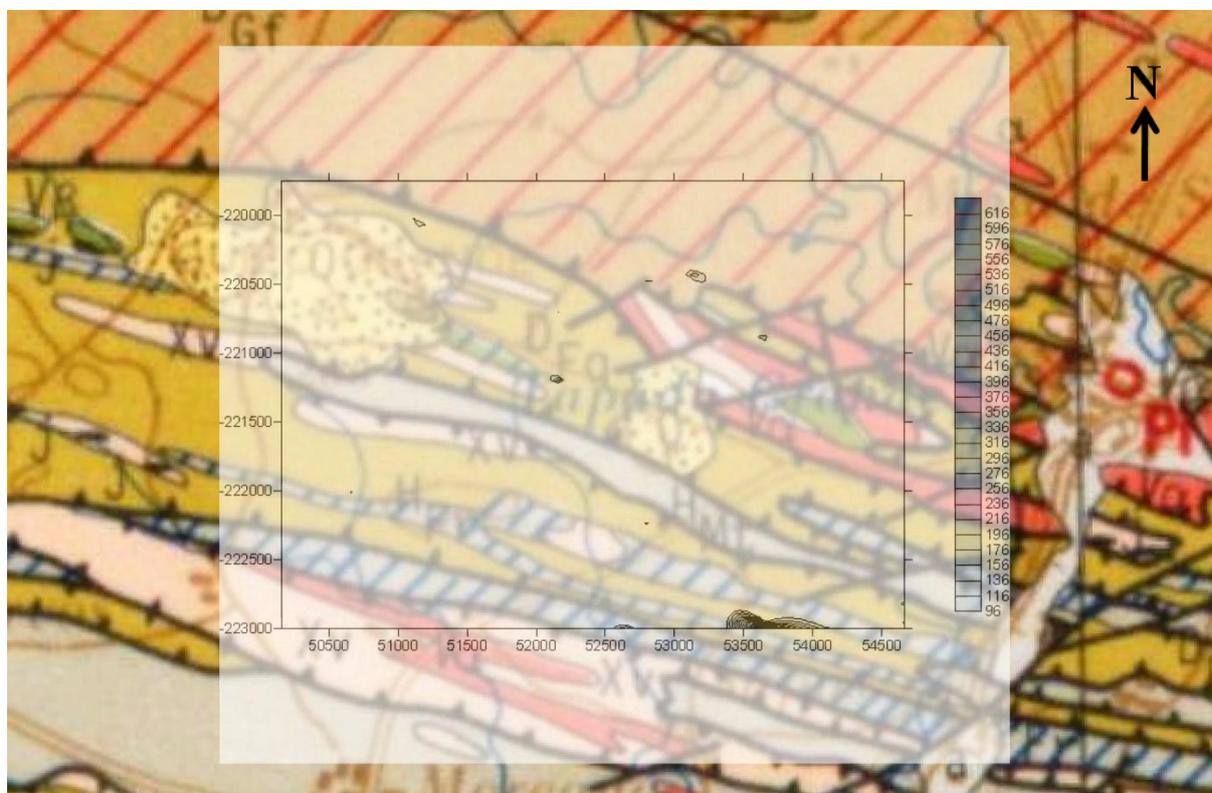


Fig. 22 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina Ia; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

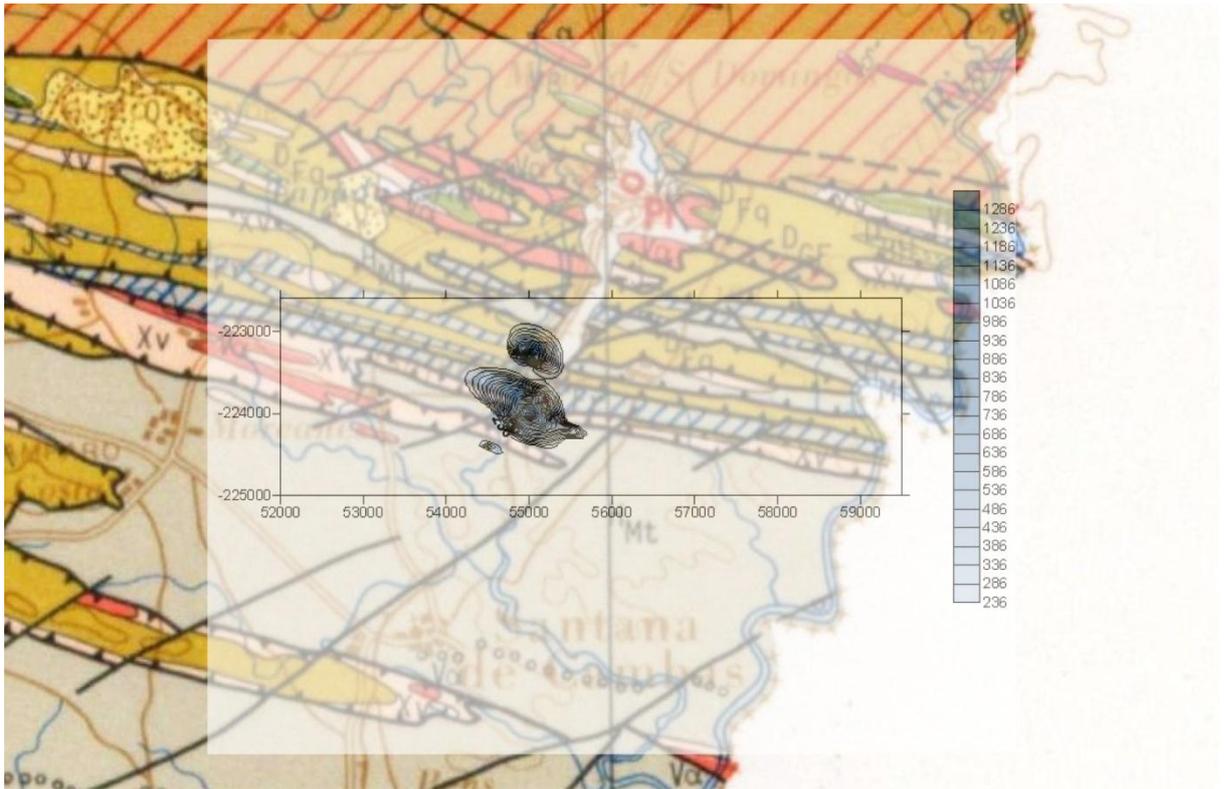


Fig. 23 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina Ib; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

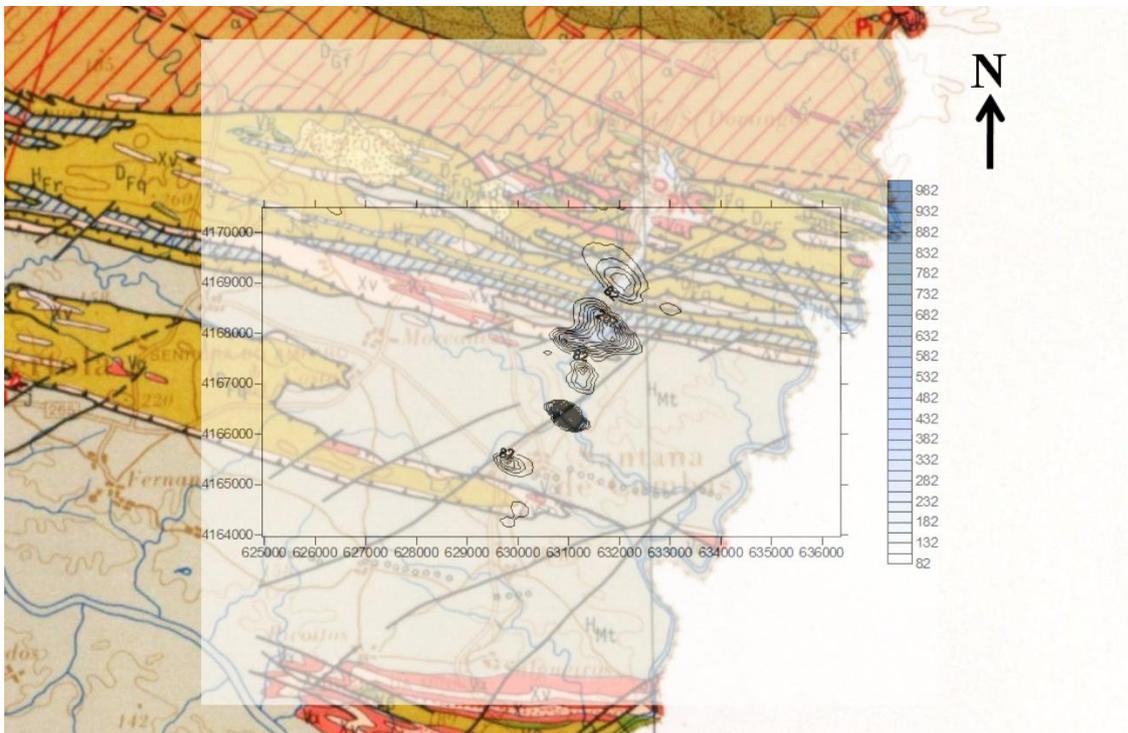


Fig. 24 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina IIa; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

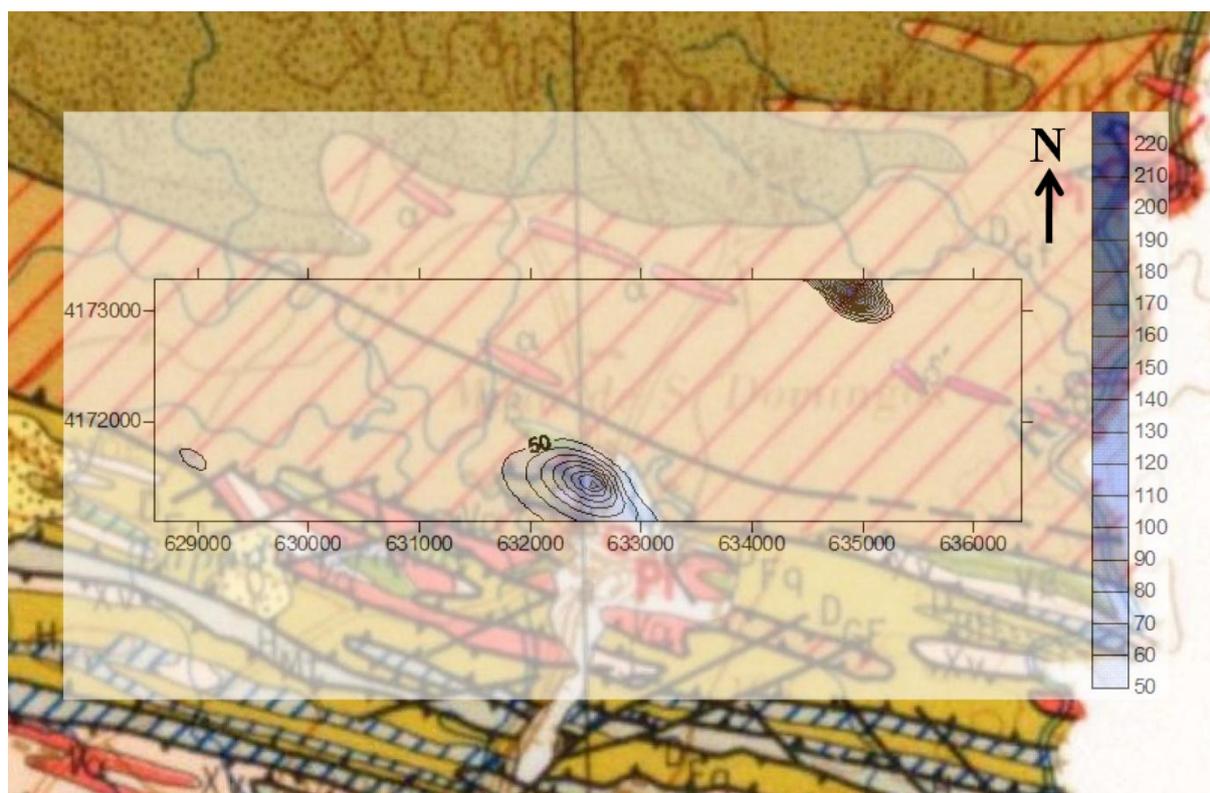


Fig. 25 - Mapa de distribuição de concentração anômala em Cu, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina IIb; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

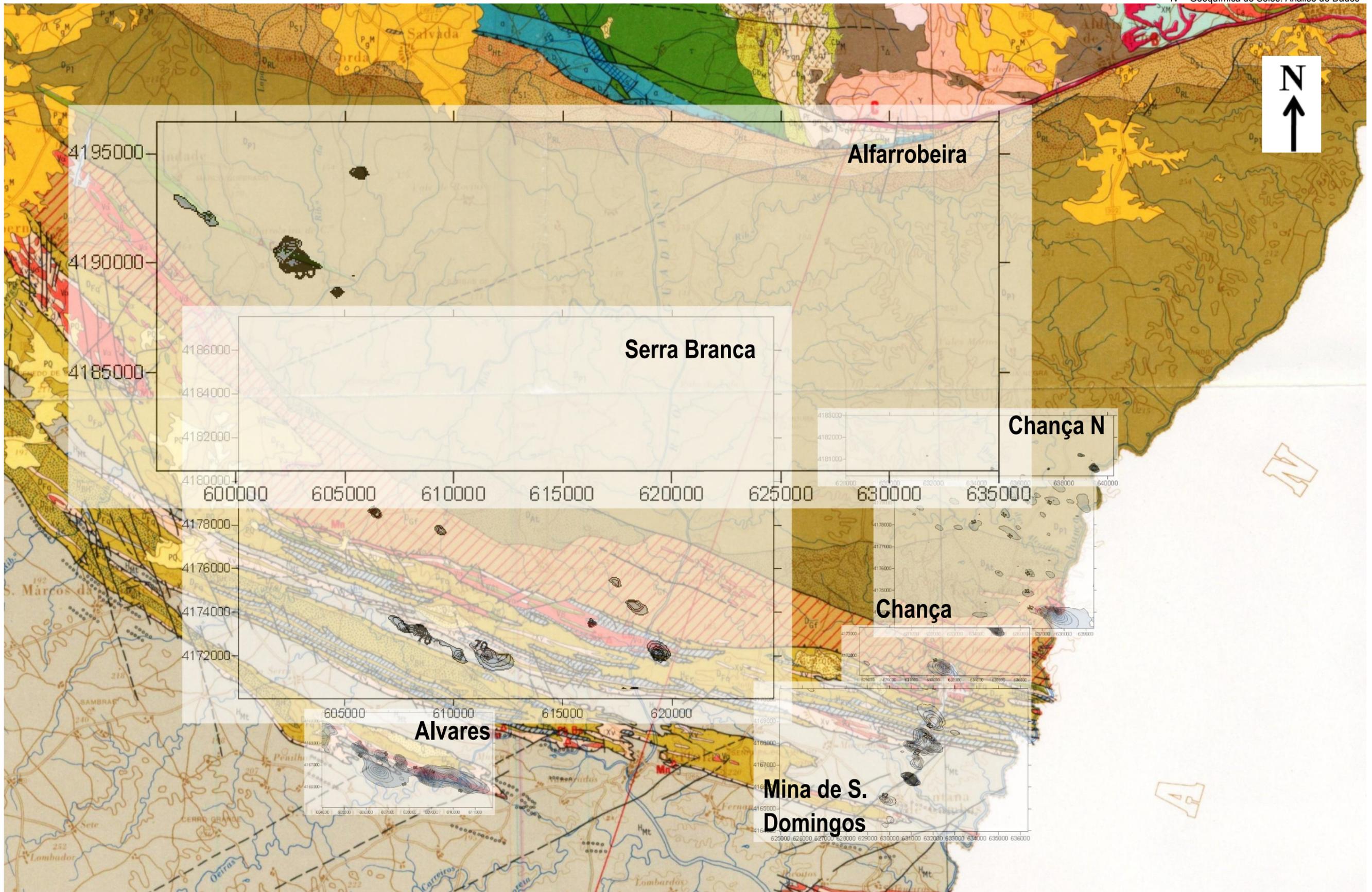


Fig. 26 – Sobreposição das distribuições de concentração anômalas em Cu em todas as subáreas, com a geologia (de acordo com a campanha da SMRA – anos 90); coordenadas UTM ED50 – 29N.

4.2) Distribuições espaciais dos valores de concentração para o zinco (Zn)

4.2.1) Estatística Descritiva

A Tabela 16 sumariza os resultados da estatística descritiva para as distribuições de concentração em Zn. A separação por áreas e subáreas, como já foi referido, está feita por ano da campanha de amostragem e pela empresa que desenvolveu a mesma.

A simples análise desta tabela sugere que a população de amostral é muito heterogénea. Em todas as amostras, os valores da média são superiores aos respectivos valores da mediana (tal como no Cu), o que indica uma distribuição não normal. Os valores do terceiro quartil são sempre muito inferiores aos máximos das distribuições de concentração, indiciando a existência de locais concentrações verdadeiramente anómalas. As distribuições são todas assimétricas positivas e a curtose mostra, na maioria dos casos, valores muito dispersos do valor médio/mediano, ou seja, superiores a 0. Na área de Alvares (Anos 90) a curtose é negativa, mostrando que os valores se situam em torno da média/mediana das distribuições de concentração. A amplitude (pequena) desta distribuição de concentrações pode justificar o valor negativo.

Os valores medianos de Zn são, em geral, superiores aos do Cu. A maior variação de valores da distribuição de concentração é na subárea da Mina de S.Domingos, em semelhança com o Cu.

Tabela 16 - Síntese da Estatística Descritiva para as distribuições de concentração do Zn nas diferentes campanhas de amostragem. N: número de amostras; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; * subdivisão desta área em duas.

Zn (solos)	Sub - Áreas											
	Albernoa W - Entradas		Alfarrobeira		Serra Branca		Alvares		Mina de Chança		Mina de S.Domingos	
	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90	Anos 40	Anos 90*
Estatística Descritiva												
N	5531	902	1595	1395	3742	142	597	1732	529	177		
Mínimo (ppm)	0	10	10	9	10	10	13	10	13	14		
Máximo (ppm)	200	460	200	229	1600	106	890	3000	1002	177		
Média (ppm)	42	67	39	56	69	50	69	69	94	61		
Mediana (ppm)	40	65	30	53	60	52	65	60	79	57		
Q1 (ppm)	20	52	30	40	50	33	49	30	63	47		
Q3 (ppm)	60	79	50	69	90	64	83	80	98	70		
Variância	665	833	645	658	1550	453	1989	14930	5966	536		
Coefficiente de variação	0.61	0.43	0.65	0.45	0.57	0.43	0.64	1.77	0.81	0.38		
Assimetria	1	4	1	2	17	0.06	11	18	6	2		
Curtose	1	40	2	6	624	-0.74	194	410	50	8		

4.2.2) Variogramas

Para as distribuições de concentração em Zn o ajuste da maioria dos semi-variogramas seguiu o modelo exponencial; apenas para a subárea de Chança foi utilizado o modelo esférico; a rede de amostragem utilizada é regular e densa.

A Tabela 17 sintetiza os resultados que foram obtidos na modelação de semi-variogramas para as distribuições de concentração em Zn.

Os principais alinhamentos tectónicos desta zona NE da FPI, influenciam a escolha da direcção preferencial da anisotropia. Tomou-se como direcção em azimutes de 335°. O valor da anisotropia mostra, tal como o Cu, valores elevados para este parâmetro, em torno de 2.

O efeito pepita é bastante variável consoante o sector em análise, variando entre 0 e 1095, como é visível na figura 27. No sector de Alvares, este parâmetro é igual a zero, o que indica um elevado grau de correlação entre pares de pontos. Já no sector da Mina de S.Domingos, ao contrário do que se observa com o Cu, os valores de efeito pepita não são muito elevados.

O alcance varia entre 225 e 1095, cada valor máximo de alcance representa o ponto a partir da qual o modelo teórico não se ajusta ao modelo experimental. Estes valores, no entanto, são inferiores aos do Cu, revelando que uma correlação espacial maior do que o Zn.

Como já foi referido, a direcção principal de anisotropia é de 335°; o quadrante preferencial de ajuste dos semi-variogramas varia entre direcções W – E a N – S. O exemplo de um bom ajuste do semivariograma teórico ao experimental é o caso de Albernoa W – Entradas, onde o ajuste do modelo teórico ao experimental é quase total; outro que apresenta bom ajuste, mas a partir de um determinado alcance o mesmo não se verifica, como por exemplo Alvares I. Já para o caso de Alfarrobeira, Chança e Alvares I, o ajuste não é coincidente, evidenciando picos de valores para pares de pontos correlacionáveis. Os restantes semivariogramas encontram-se em anexo.

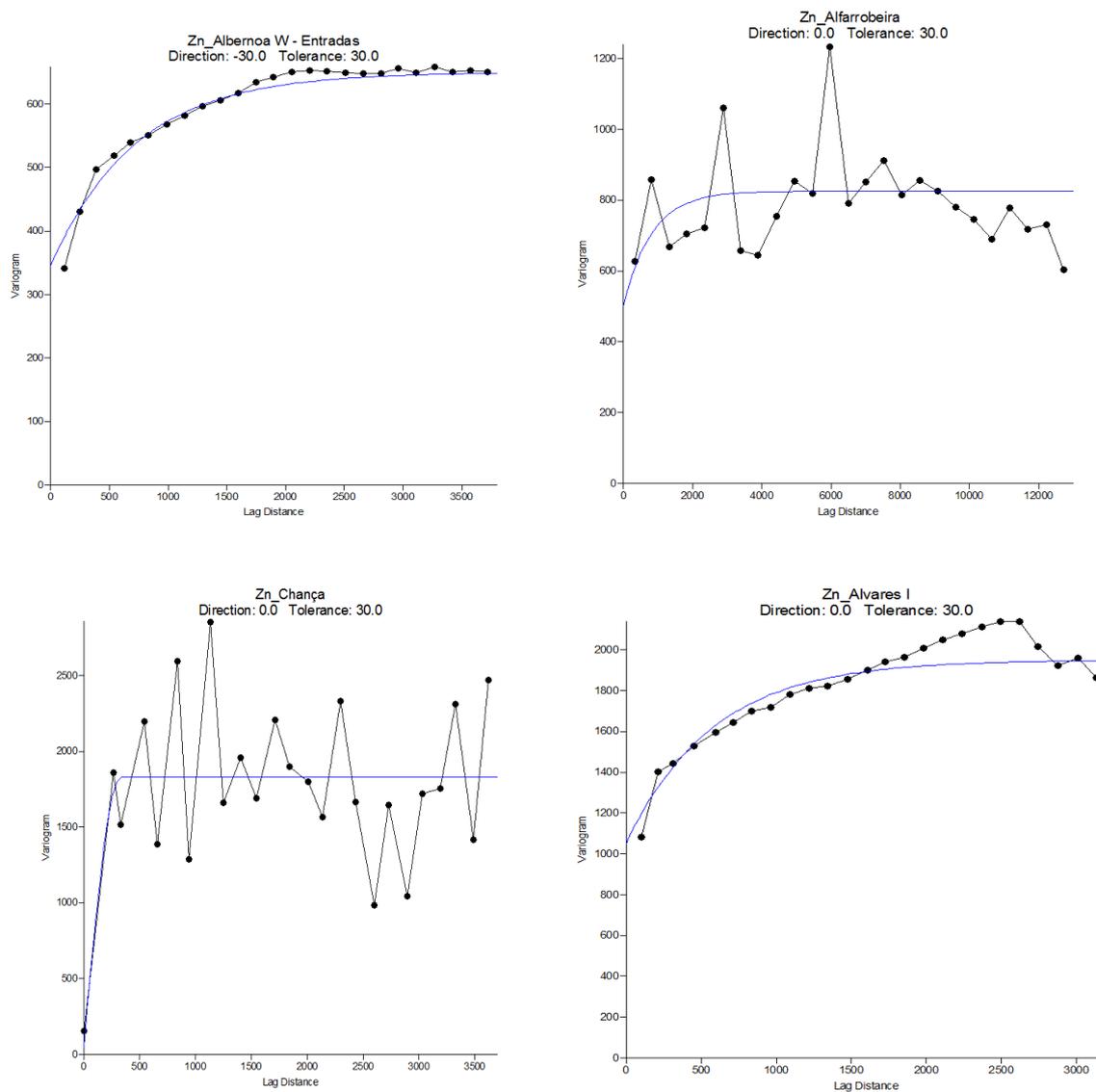


Fig.27 - Semivariogramas para as distribuições de concentração em Zn, para algumas das subáreas em estudo, de acordo com a denominação no título de cada semivariograma.

4.2.3) Comportamento Multifractal

A figura 28 mostra alguns espectros multifractais, representativos, obtidos para as distribuições de concentração em Zn, consoante os parâmetros $F(\alpha) - \alpha$ adequados a cada caso. Para as subáreas de Albernoa e Serra Branca II) não se verifica um espectro multifractal, mas um esboço de comportamento, onde se observa apenas o primeiro ramo do espectro. Os restantes espectros $F(\alpha) - \alpha$ obtidos confirmam o comportamento multifractal; no entanto é necessário salientar alguns casos em que o primeiro ou segundo ramo da curva (Chança e Mina de S. Domingos I a, respectivamente) os pontos constituintes estão mais dispersos, mostrando, como já foi referido um número inferior de valores considerados em determinado intervalo α . Em anexo encontram-se as tabelas que sintetizam os valores $t(q)$ para um determinado intervalo de q , onde a incerteza é expressa por 2δ e os restantes espectros multifractais.

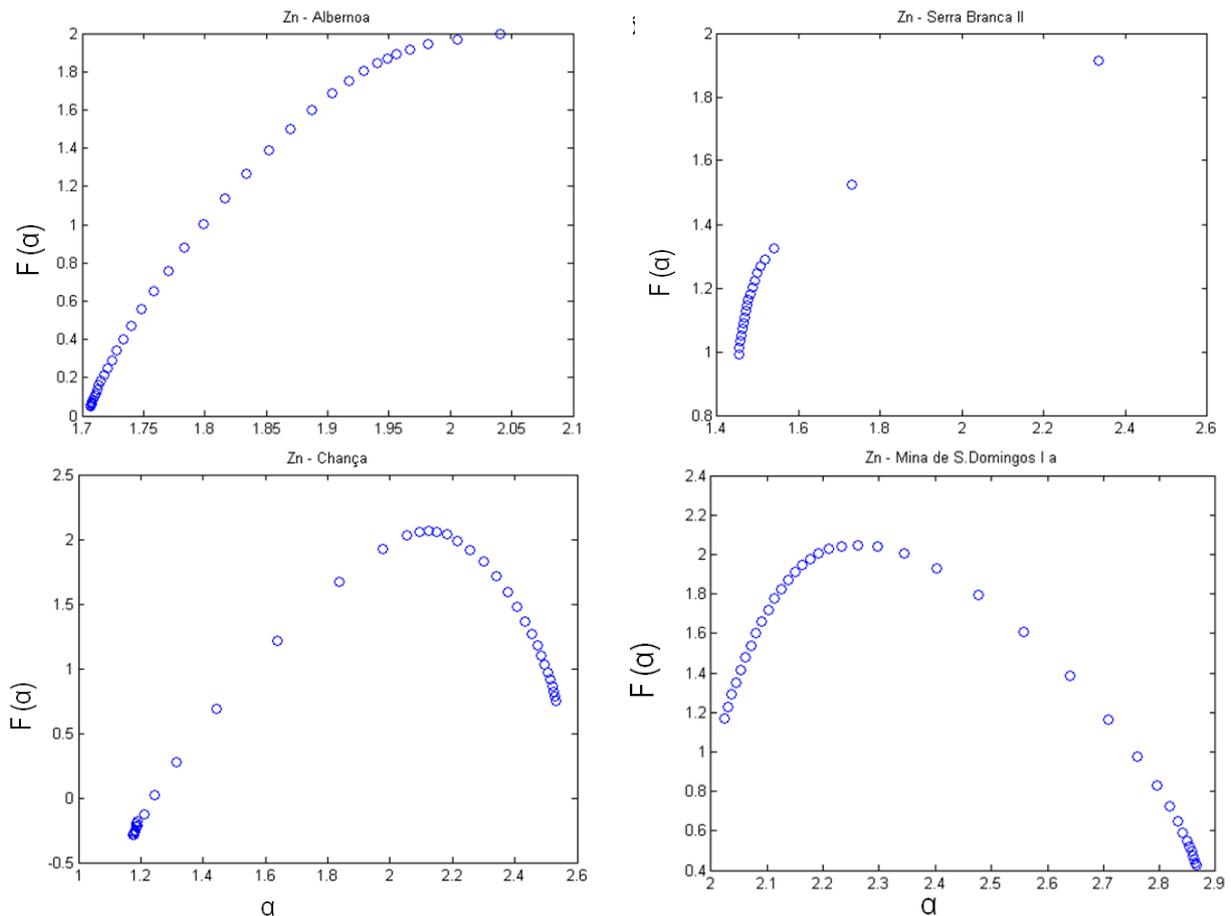


Fig. 28 – Espectros $F(\alpha) - \alpha$ obtidos para as distribuições de concentração em Zn de acordo com as subáreas em estudo.

4.2.4) Cálculo dos valores de fundo

Na Tabela 17 apresenta-se a síntese dos valores de fundo regional calculados para as diferentes subáreas em estudo. O intervalo de valores calculados para o fundo regional, para as diferentes subáreas é de menor amplitude relativamente ao Cu.

Tabela 17 – Valores dos fundos regionais para as diferentes subáreas

Elemento	Subáreas	Fundo regional (ppm)	Fundo Local (ppm)
Zn	Albernoa W - Entradas	20	40
	Alfarrobeira	55	93
	Serra Branca I	19	50
	Serra Branca II	60	80
	Alvares I	48	99
	Alvares II	53	73
	Chança	52	113
	Chança N	53	78
	Mina de S.Domingos Ia	57	798
	Mina de S.Domingos Ib	90	329
	Mina de S.Domingos Ic	29	88
	Mina de S.Domingos IIa	62	191
	Mina de S.Domingos IIb	43	86

Embora não se deva efectuar uma extrapolação para a área como um todo, calcular o valor mediano do fundo regional, da faixa compreendida entre Albernoa, Serra Branca e Mina de S.Domingos permite-nos ter uma noção sobre a distribuição de concentração de Zn nesta área. No entanto, observam-se valores mais elevados dos fundos regionais, a maioria superiores ao valor médio (48 ppm), nas subáreas correspondentes à Mina de S.Domingos.

Na figura 29 consta um exemplo de um dos gráficos das subáreas para o Zn. Os restantes gráficos estão em anexo.

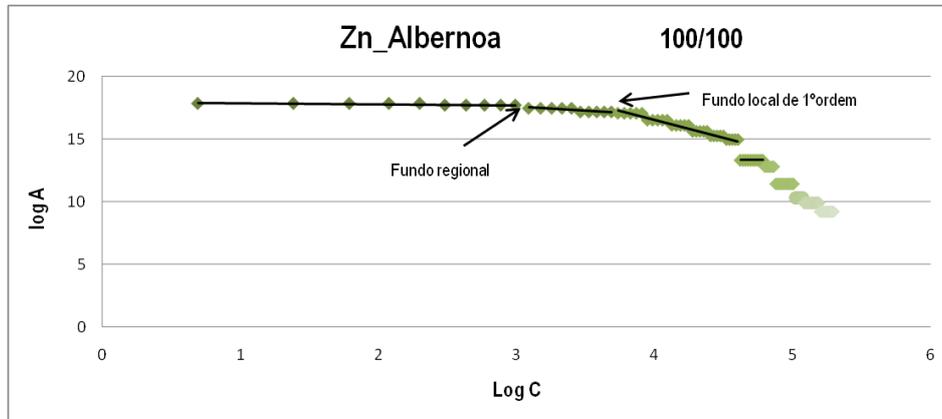


Figura 29 – Gráfico log A vs Log C para a subárea de Albernoa relativamente ao Zn. No canto superior direito encontra-se expressa: a/b; a) janela e b) rede de amostragem mais comum.

4.2.5) Mapas de Anomalias

Os mapas patentes nas figuras 30 – 41 representam a sobreposição dos mapas de distribuição de concentração anómalos, referentes ao Zn. As subáreas não apresentadas não apresentam representatividade relativamente a este metal.

Por fim, é apresentado na figura 42, um mapa com o conjunto de anomalias em Zn, de acordo com as campanhas da SMRA (anos 90).

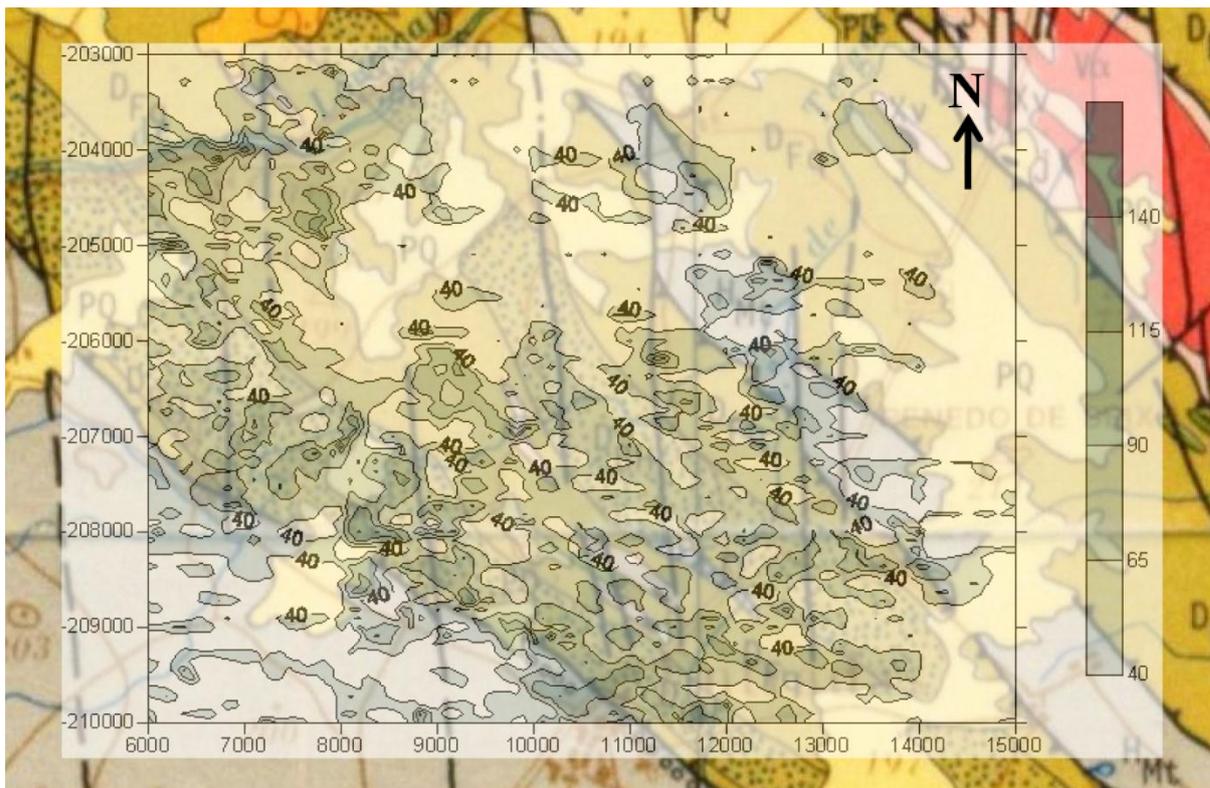


Fig. 30 - Mapa de distribuição de concentração anómalo em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Albernoa; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

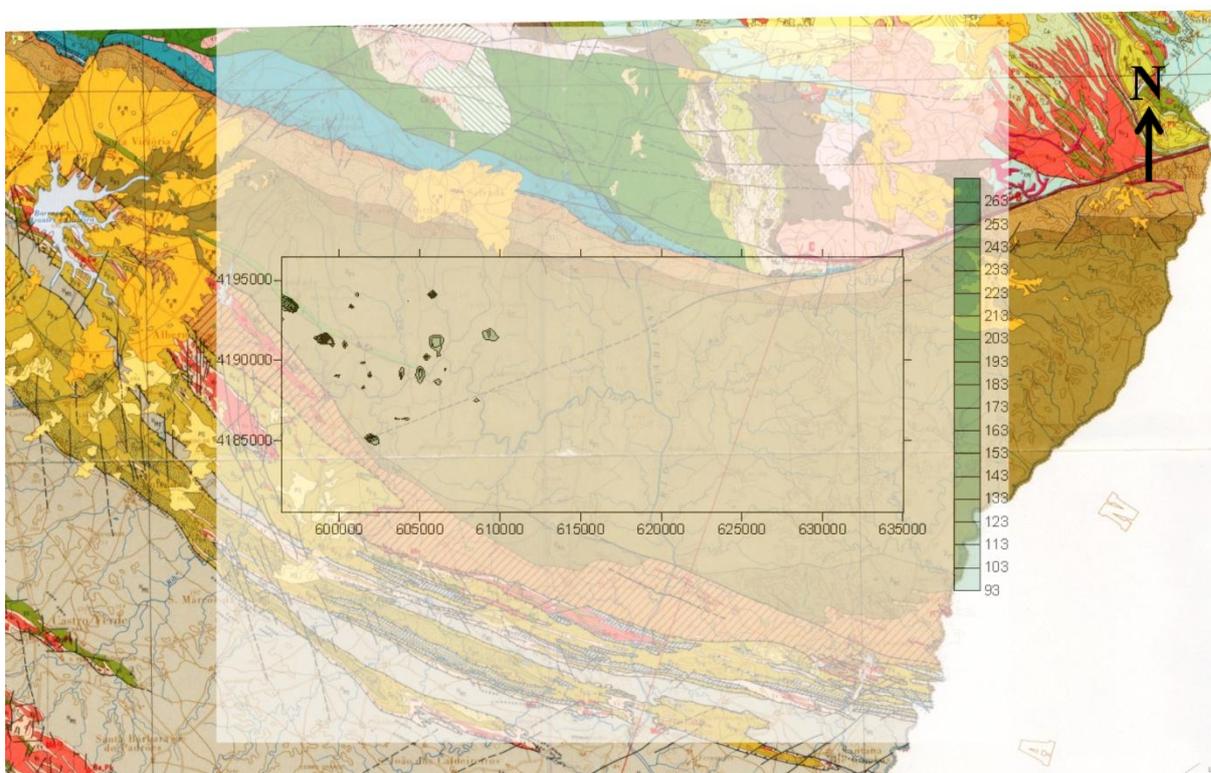


Fig. 31 - Mapa de distribuição de concentração anómalo em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Alfaroqueira; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

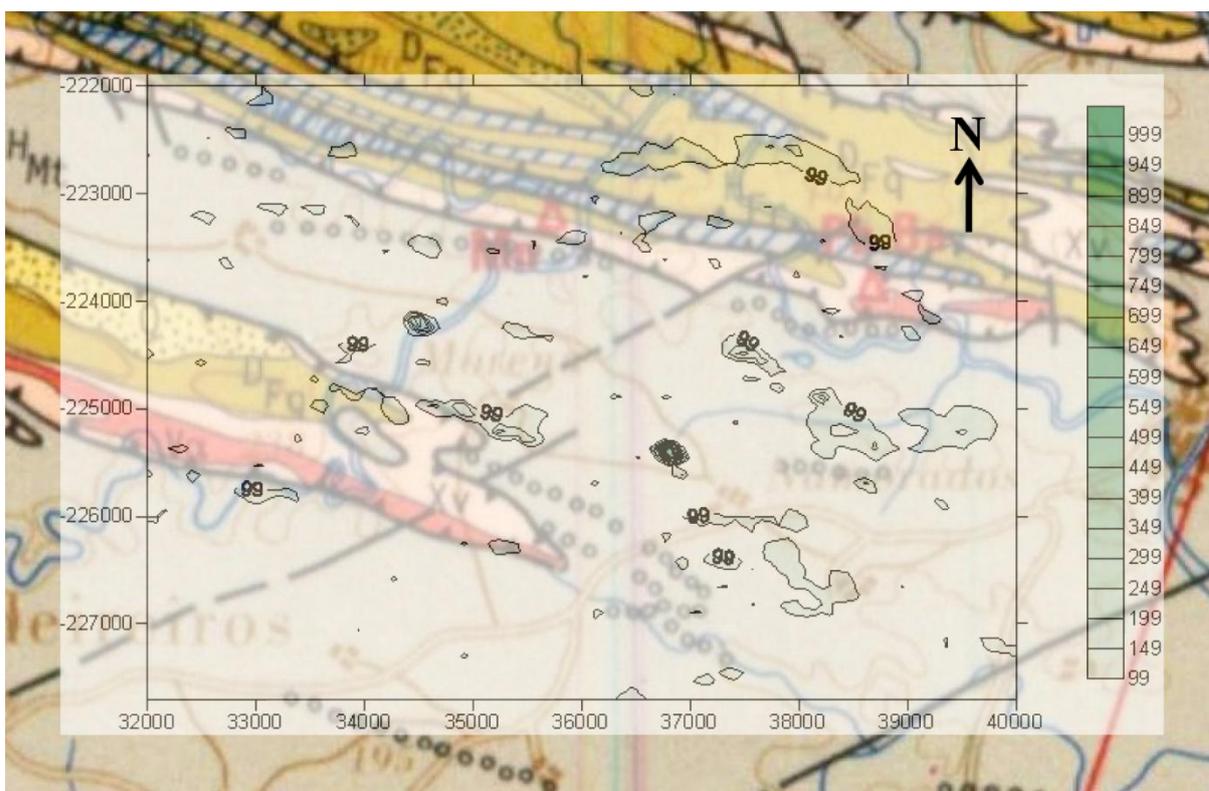


Fig. 32- Mapa de distribuição de concentração anômala em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Alvares I; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

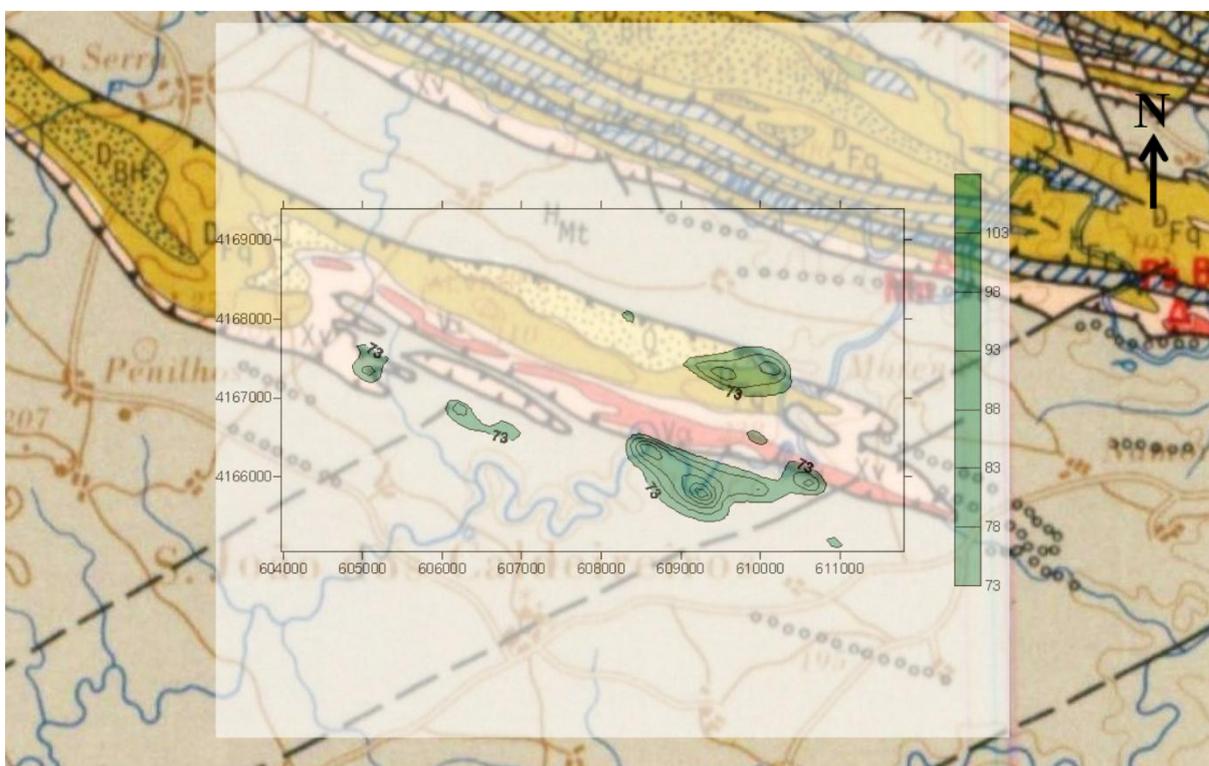


Fig. 33 - Mapa de distribuição de concentração anômala em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Alvares II; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

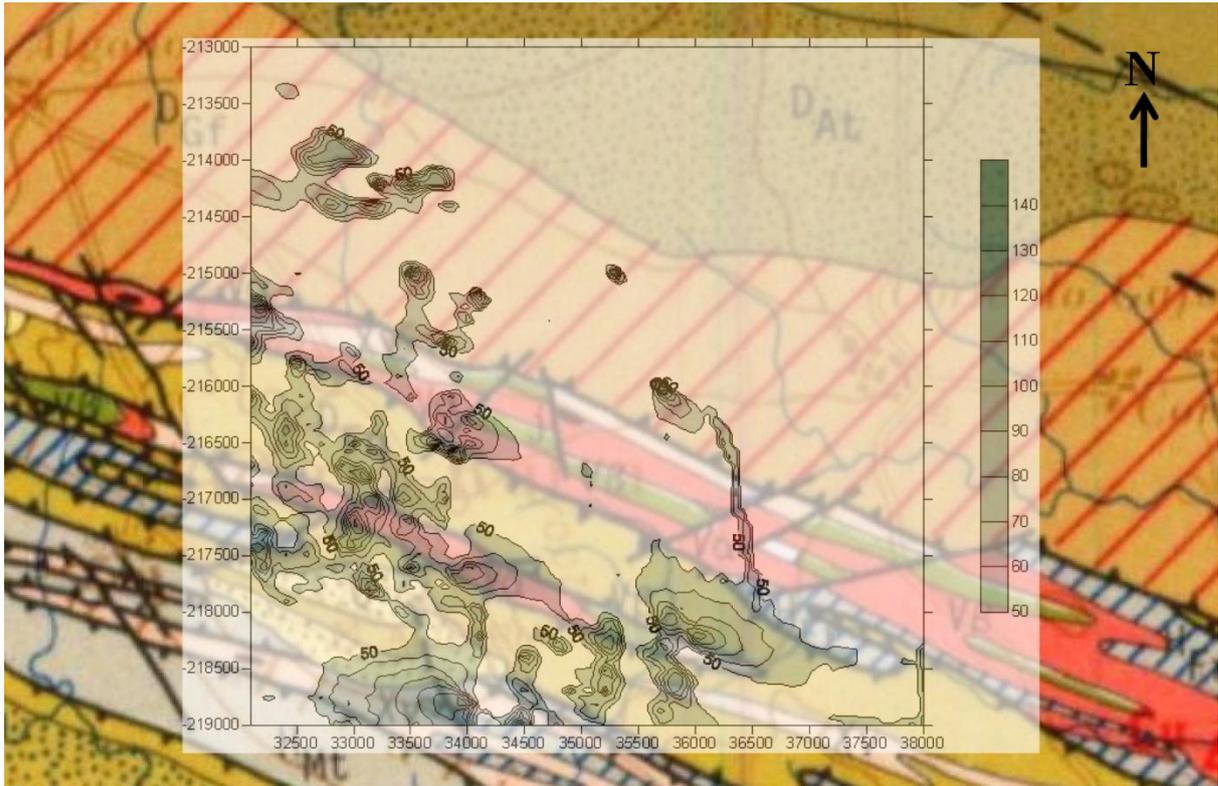


Fig. 34 - Mapa de distribuição de concentração anômala em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Serra Branca I; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

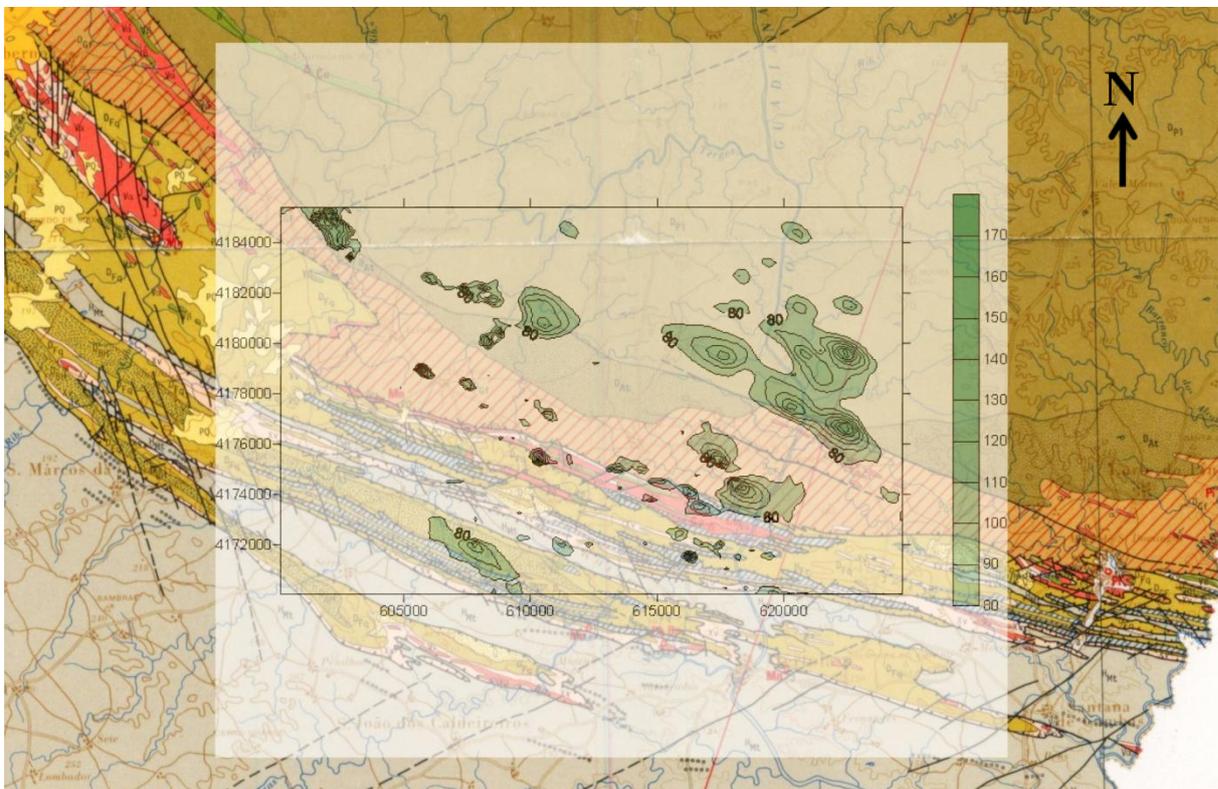


Fig. 35 - Mapa de distribuição de concentração anômala em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Serra Branca II; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

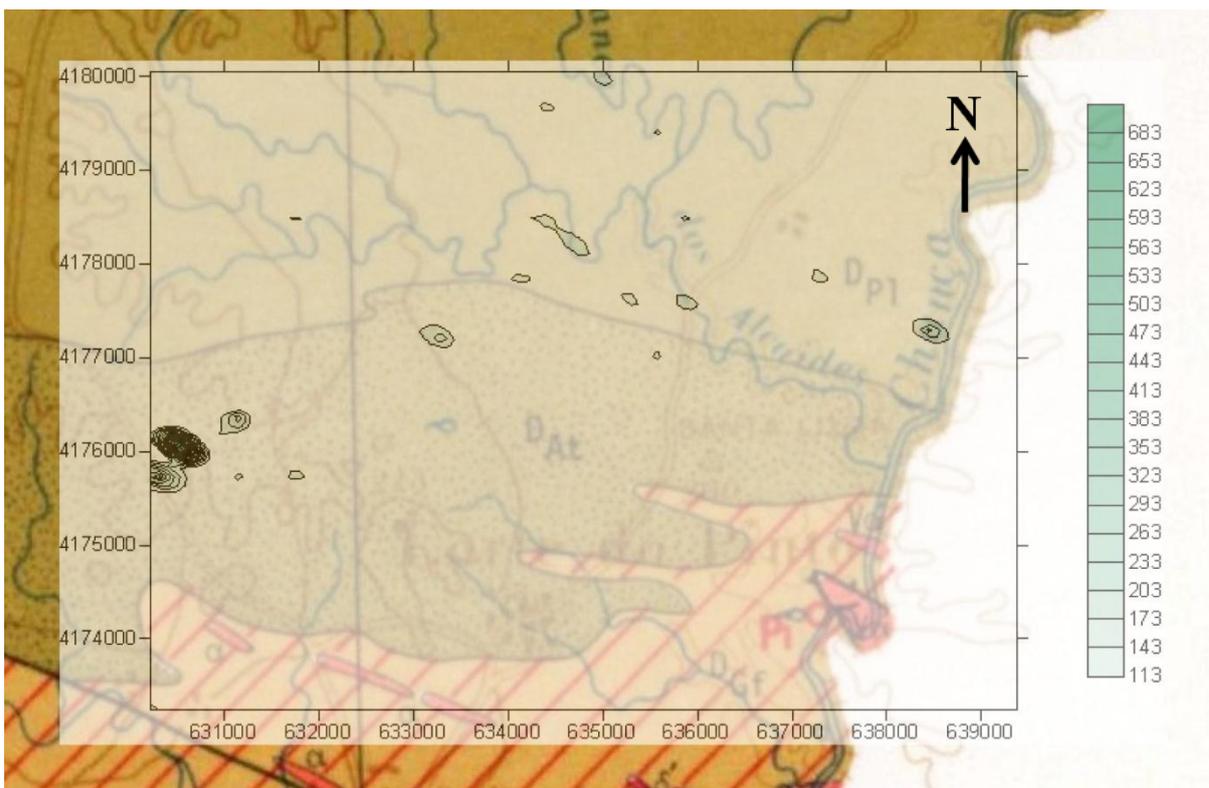


Fig. 36 - Mapa de distribuição de concentração anômala em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Chança; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

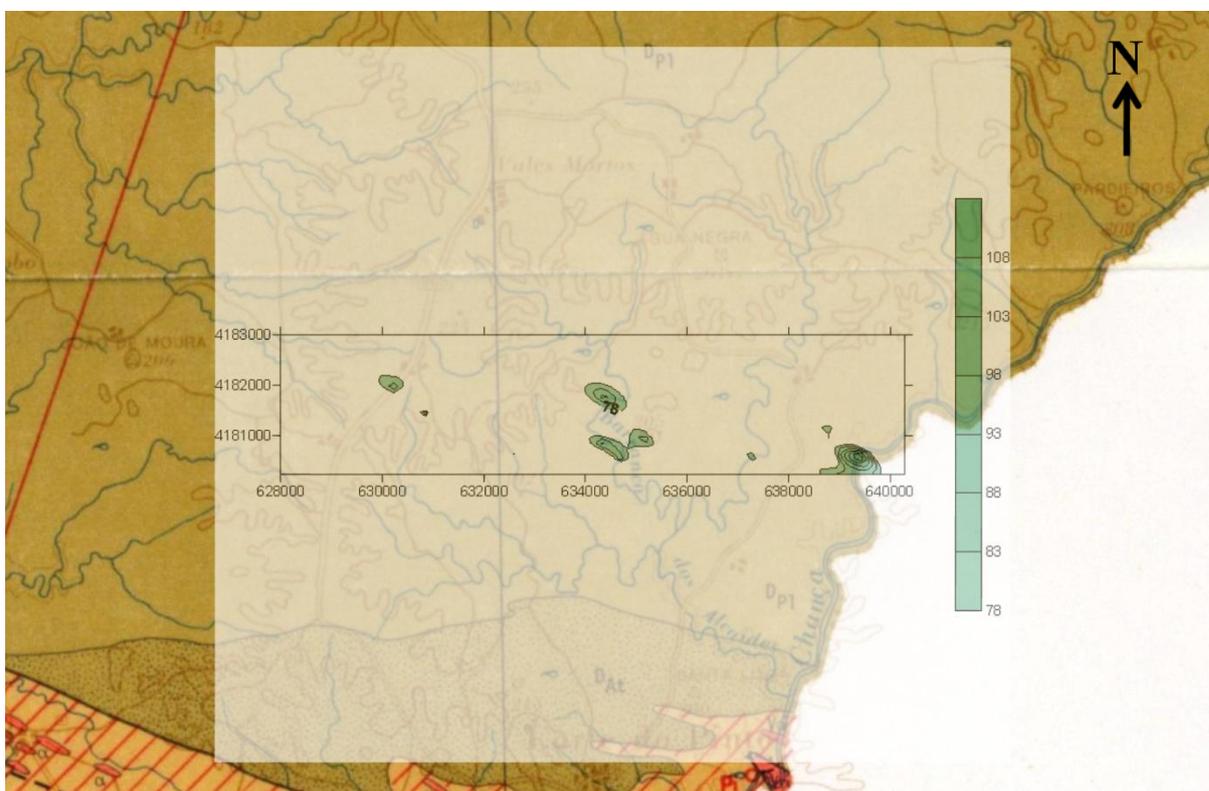


Fig. 37 - Mapa de distribuição de concentração anômala em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Chança N; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

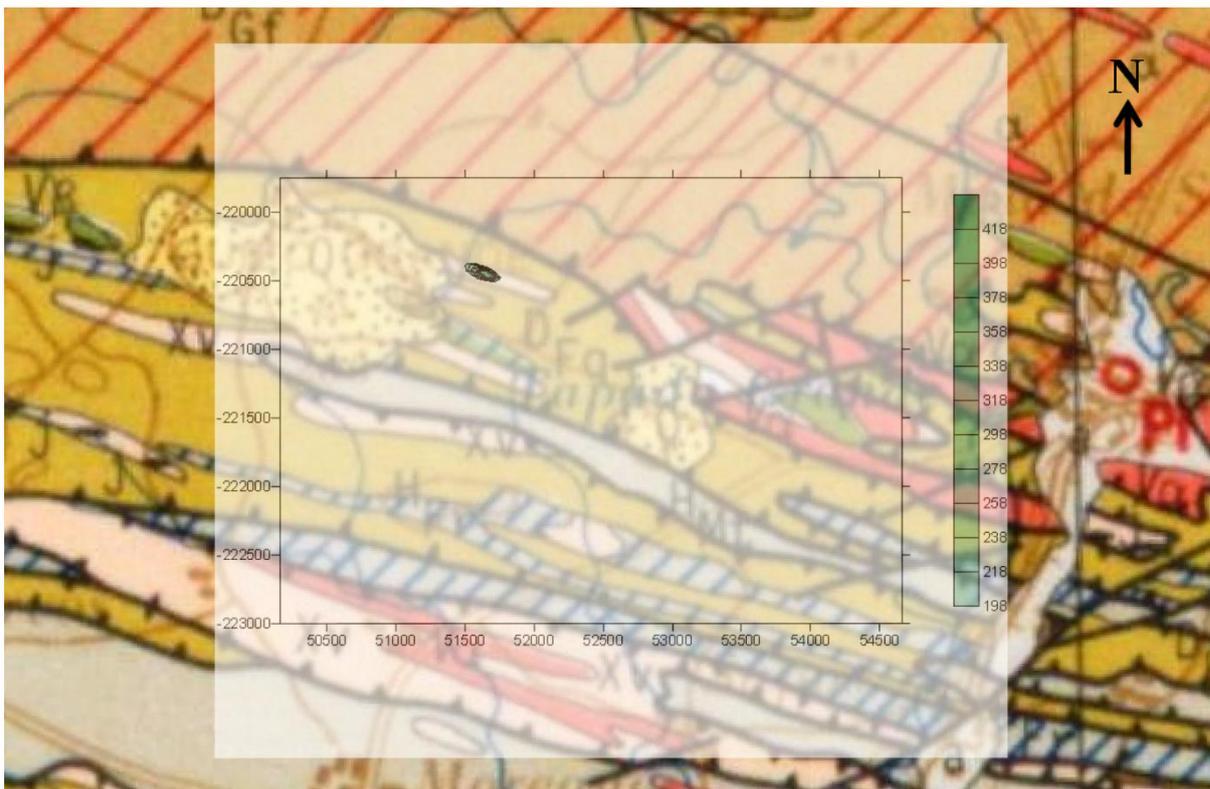


Fig. 38 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina Ia; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

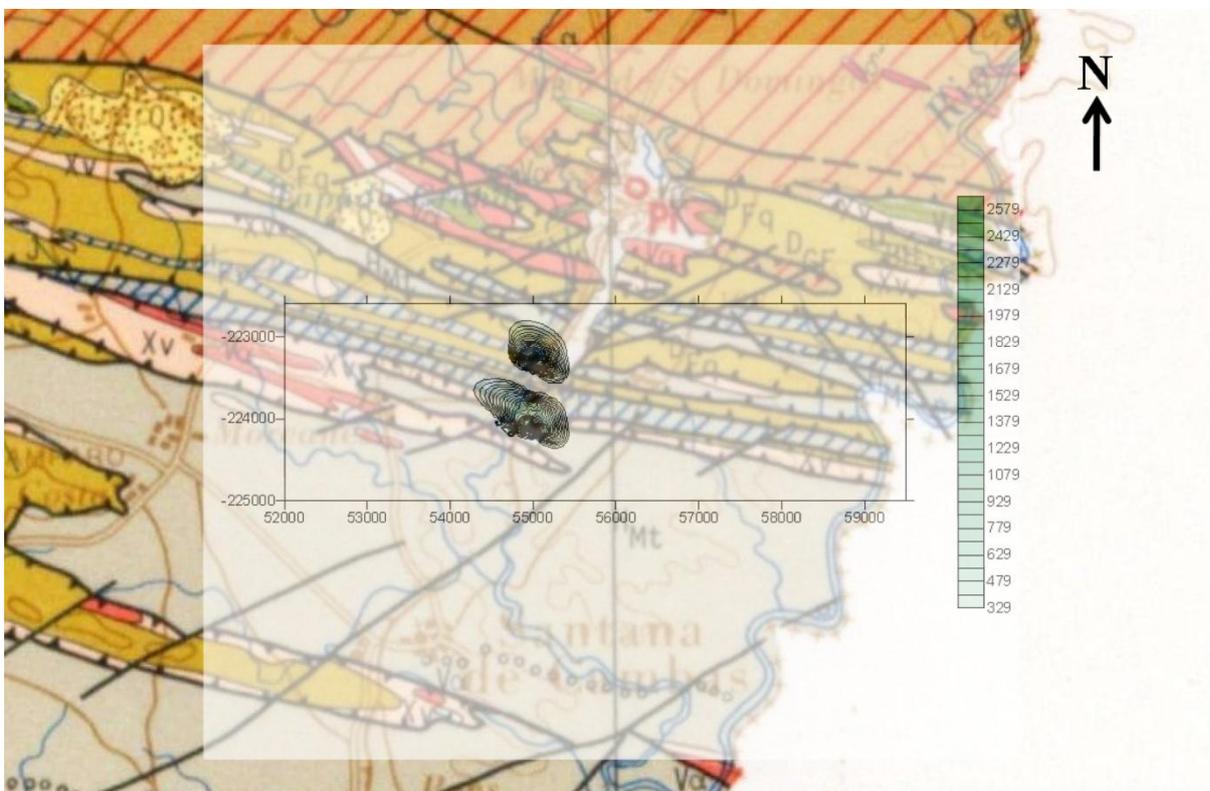


Fig. 39- Mapa de distribuição de concentração anômalo em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina Ib; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

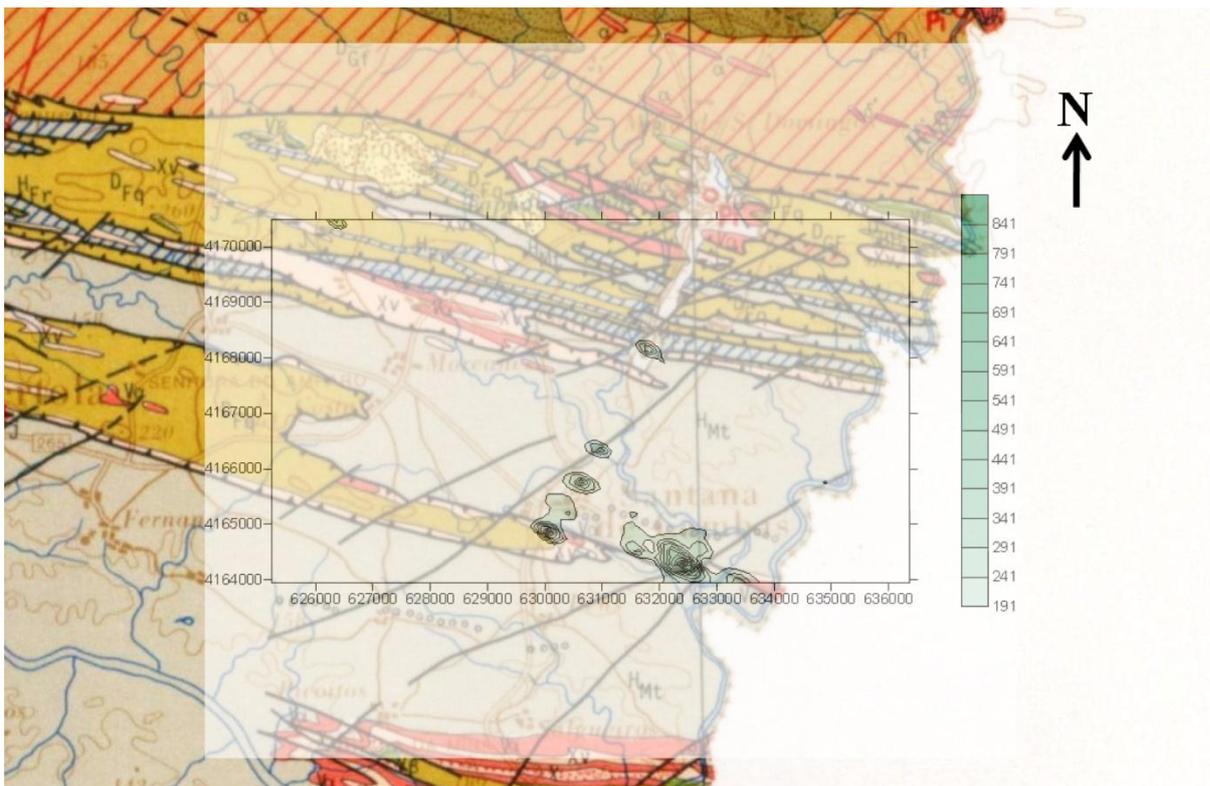


Fig. 40 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina Ila; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, ano).



Fig. 41 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Zn, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina Ila; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, ano).

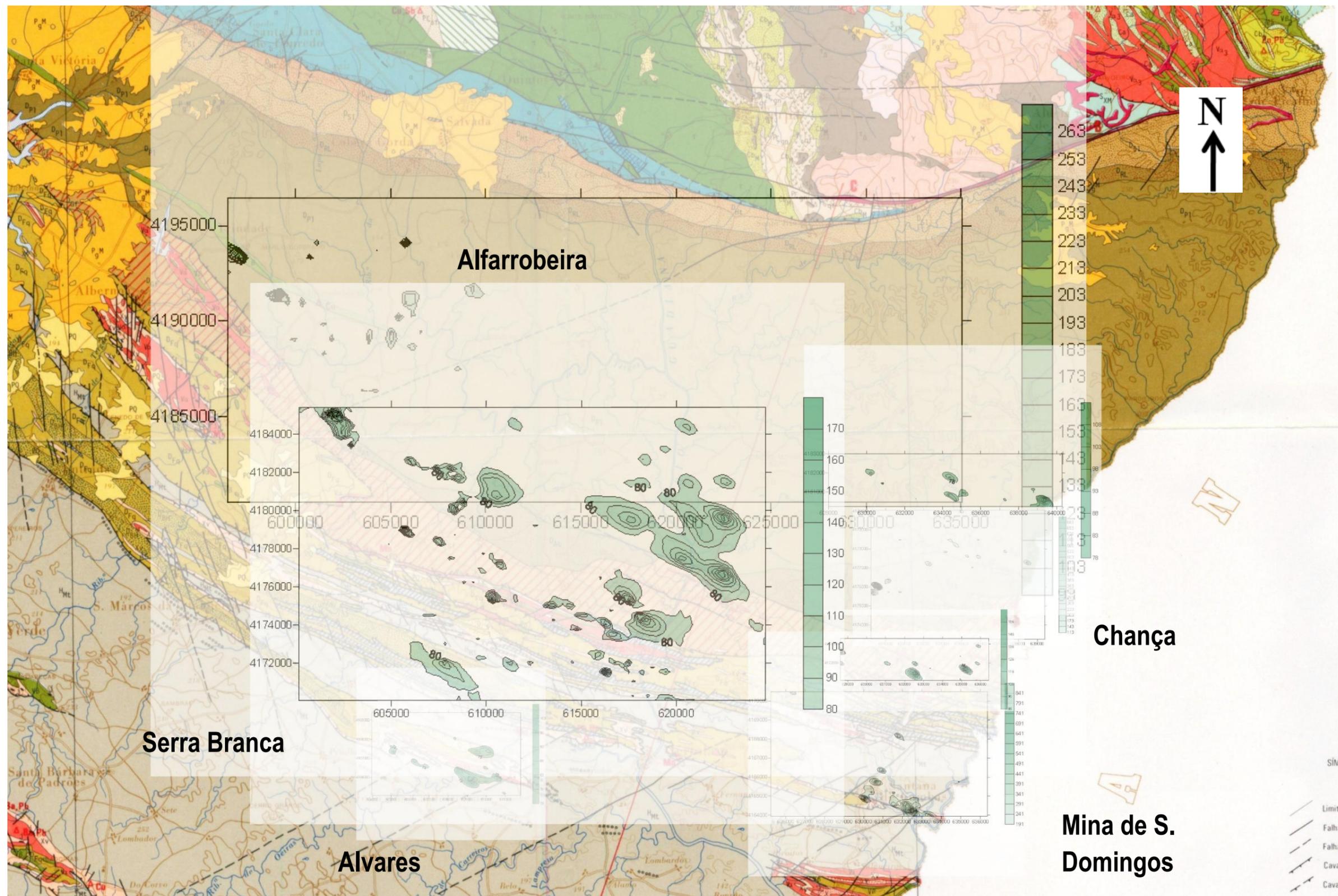


Fig. 42– Sobreposição das distribuições de concentração anômalas em Zn em todas as subáreas, com a geologia (de acordo com a campanha da SMRA – anos 90); coordenadas UTM ED50 – 29N.

4.3) Distribuições espaciais dos valores de concentração para o chumbo (Pb)

As análises das distribuições dos valores de concentração em Pb foram apenas realizadas pela campanha da SMRA, nos anos 90. O número de amostras para o Pb é, em muitos casos, inferior em relação ao Cu e ao Zn. Alguns dos pontos amostrados não estavam analisados em Pb ou apresentavam valores abaixo do limite de detecção.

4.3.1) Estatística Descritiva

A Tabela 17 sintetiza os resultados da estatística descritiva para as distribuições de concentração em Pb. A análise desta tabela permite concluir que a população de amostragem é muito heterogénea. Todas as distribuições evidenciam valores médios superiores aos respectivos valores medianos (tal como acontecia para o Cu e Zn), em alguns casos bastante superiores, como reportado pelas campanhas dos anos 90 para a subárea da Mina de S.Domingos. A existência de locais com valores de concentração anómalos é denunciada pelo facto dos valores do terceiro quartil serem muito inferiores aos valores máximos das distribuições de concentração em Pb. Todas as distribuições de concentração em Pb são assimétricas positivas e a curtose, sempre superior a 0, reflecte forte dispersão em torno da média/mediana. Os valores medianos das distribuições de concentração em Pb não são muito elevados; no entanto a sua amplitude de variação é significativa em praticamente todas as subáreas analisadas, especialmente na subárea da Mina de S.Domingos o que poderá relacionar-se com dispersões secundárias decorrentes da antiga exploração mineira.

Tabela 17 – Síntese da Estatística Descritiva para as distribuições de concentração em Pb nas diferentes campanhas de amostragem. N: número de amostras; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; subdivisão desta área em duas.

Pb (solos)	Subáreas					
	Alfarrobeira	Serra Branca	Alvares	Mina de Chança	Mina de S.Domingos	
	Anos 90	Anos 90	Anos 90	Anos 90	Anos 90*	Chança N
Data da amostragem						
N	902	1470	142	598	538	177
Mínimo (ppm)	2	3	10	6	6	11
Máximo (ppm)	201	657	63	600	7695	680
Média (ppm)	23	23	26	31	102	51
Mediana (ppm)	21	20	24	26	40	33
Q1 (ppm)	16	14	20	20	30	24
Q3 (ppm)	26	27	31	36	59	46
Variância	236	531	79	942	179680	5605
Coefficiente de variação	0.66	0.99	0.34	0.98	4.14	1.46
Assimetria	5	16	1	12	13	5
Curtose	38	399	2	204	208	35

4.3.2) Variogramas

Vários modelos teóricos foram testados, não obstante os ajustamentos das distribuições de concentração em Pb se revelarem difíceis. Na Tabela 18 apresenta-se uma síntese das diversas soluções encontradas para o ajuste dos semivariogramas teóricos aos experimentais. O modelo que melhor respondeu foi o exponencial.

A escolha da direcção de anisotropia teve em consideração a orientação das principais estruturas geológicas e, tal como noutros metais a direcção tomada foi de 335° e o valor de anisotropia 2. O efeito pepita é bastante variável consoante os casos, atingindo 10.000 numa situação extrema.

Em geral, o ajuste dos semivariogramas teóricos aos experimentais, é suficientemente razoável e permite a utilização dos mesmos para posterior interpolação espacial dos dados, de forma a garantir a produção de mapas de isolinhas de concentração com significado geológico.

Para a subárea de Alvares II e Mina de S.Domingos IIb, com excepção de um pico ou outro, o ajuste do modelo teórico ao experimental verifica-se. No caso de Serra Branca II o modelo teórico ajusta-se ao experimental até um alcance de 6000, valor a partir do qual ocorre um “efeito poço”, que pode dever-se à distribuição espacial de pontos de amostragem (neste caso distantes, impedindo a correlação entre os pares de pontos), como se observa na figura 43. Também o semivariograma da subárea Chança N é ajustável até ao valor de alcance de aproximadamente 4500, valor a partir da qual os pares de pontos deixam de se correlacionar. Os restantes semivariogramas encontram-se em anexo.

Tabela 18 – Tabela síntese dos parâmetros dos modelos de variogramas trabalhados para o Pb.

Pb	SubÁreas							
	Alfarrobeira		Serra Branca		Alvares		Chança	
	Anos 90	Anos 90	Anos 90	Anos 90	Anos 90	Anos 90	Anos 90	Chança N
Parâmetros considerados na modelação de semi-variogramas								
Modelo	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Esférico	Exponencial	Exponencial
Patamar	100	27500	75	845	250000	5950	40	Exponencial
Alcance	1050	2000	750	500	650	600	550	Exponencial
Efeito Pepita	25	10000	0	45	0	50	20	Exponencial
Anisotropia	2	2	2	2	2	2	2	Exponencial
Direcção de Anisotropia	335	335	335	335	335	335	335	335
Direcção preferencial	N - S a W - E	(W - E)	W - E (WNW - ESE)	W - E	W - E	WNW - ESE (W - E)	WNW - ESE (W - E)	WNW - ESE (W - E)

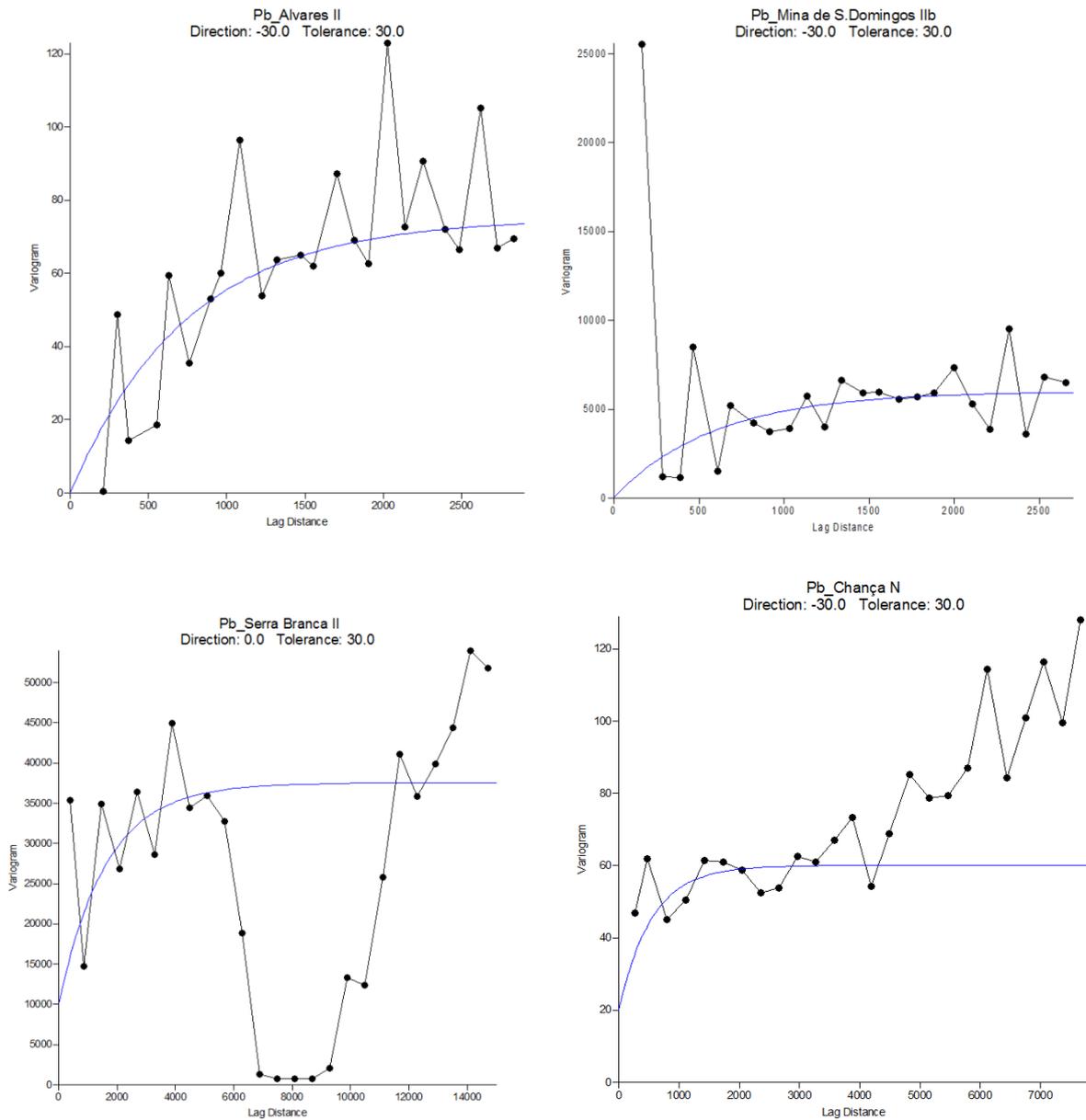


Figura 43 – Exemplos de semivariogramas para as distribuições de concentração em Pb obtidas em algumas das subáreas amostradas. O modelo teórico é representado pela curva de traçado contínuo.

4.3.3) Comportamento Multifractal

A figura 44 ilustra alguns exemplos dos diversos espectros multifractais obtidos para as distribuições de concentração em Pb, considerando as relações $F(\alpha) - \alpha$ para cada subárea.

Para todas as subáreas em estudo verifica-se que tem comportamento multifractal. Os espectros obtidos para a área de Chança N e Alvares II apresentam-se mais simétricos; igual número de valores para cada intervalo α determinado. O espectro obtido para a Mina de S.Domingos la apresenta o primeiro ramo da curva com pontos mais dispersos, indicando menor número de valores no intervalo considerado. Por sua vez, o espectro obtido para a subárea de Alfarrobeira ilustra um comportamento multifractal exemplar.

Os restantes espectros multifractais encontram-se em anexo, assim como as tabelas que sintetizam os valores $t(q)$ para um determinado intervalo de q , onde a incerteza é expressa por 2δ .

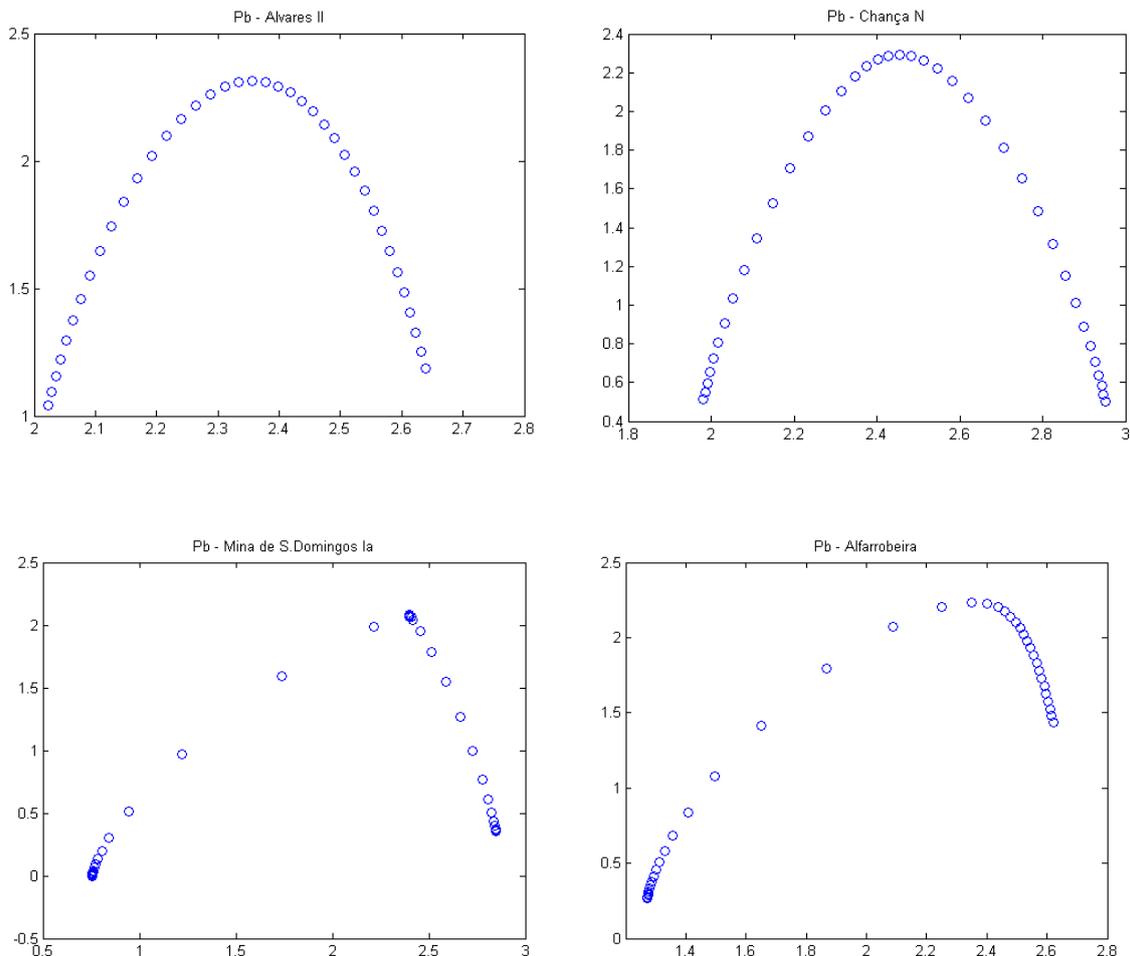


Figura 44 – Exemplos de espectros $F(\alpha) - \alpha$ que ilustram o comportamento multifractal das distribuições de concentração em Pb.

4.3.4) Cálculo dos Valores de Fundo

A síntese dos valores de fundo regional calculados para as diferentes subáreas em estudo encontra-se na Tabela 19. A primeira análise desta tabela permite observar de imediato a diferença de valores obtidos para as subáreas da Mina de S.Domingos e as restantes subáreas. Para estas últimas o valor médio é de 23 ppm, enquanto as subáreas proximais à antiga exploração denunciam elevado teor em Pb. A subárea de Serra Branca II aparece a cinza, pois devido a um erro, possivelmente no cálculo matemático, não foi possível obter valores de fundo fidedignos

Tabela 19 – Valores dos fundos regionais para as diferentes subáreas

Elemento	Subáreas	Fundo regional (ppm)	Fundo Local (ppm)
Pb	Alfarrobeira	20	46
	Serra Branca II		
	Alvares II	20	33
	Chança	30	57
	Chança N	19 ± 4	40
	Mina de S.Domingos IIa	467	3620
	Mina de S.Domingos IIb	91	258

Tal como para o Cu e Zn, não é possível assinalar as diferenças composicionais para o Pb das formações metavulcânicas e metassedimentares. No entanto, regista-se a diferenciação de uma antiga exploração mineira e de zonas com conteúdos baixos neste metal. A anomalia em Pb verificou-se de grande amplitude de valores e muito concentrada junto à Mina de S.Domingos.

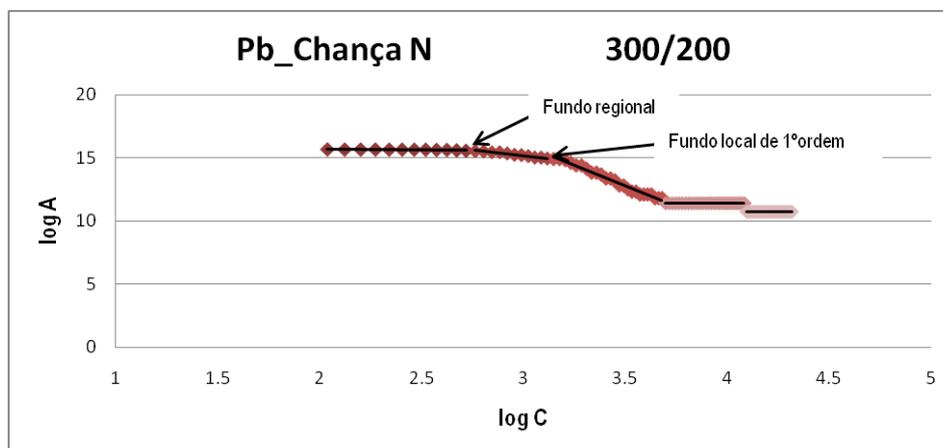


Figura 45 – Gráfico log A vs Log C para a subárea de Chança N relativamente ao Pb. No canto superior direito encontra-se expressa: a/b; a) janela e b) rede de amostragem mais comum.

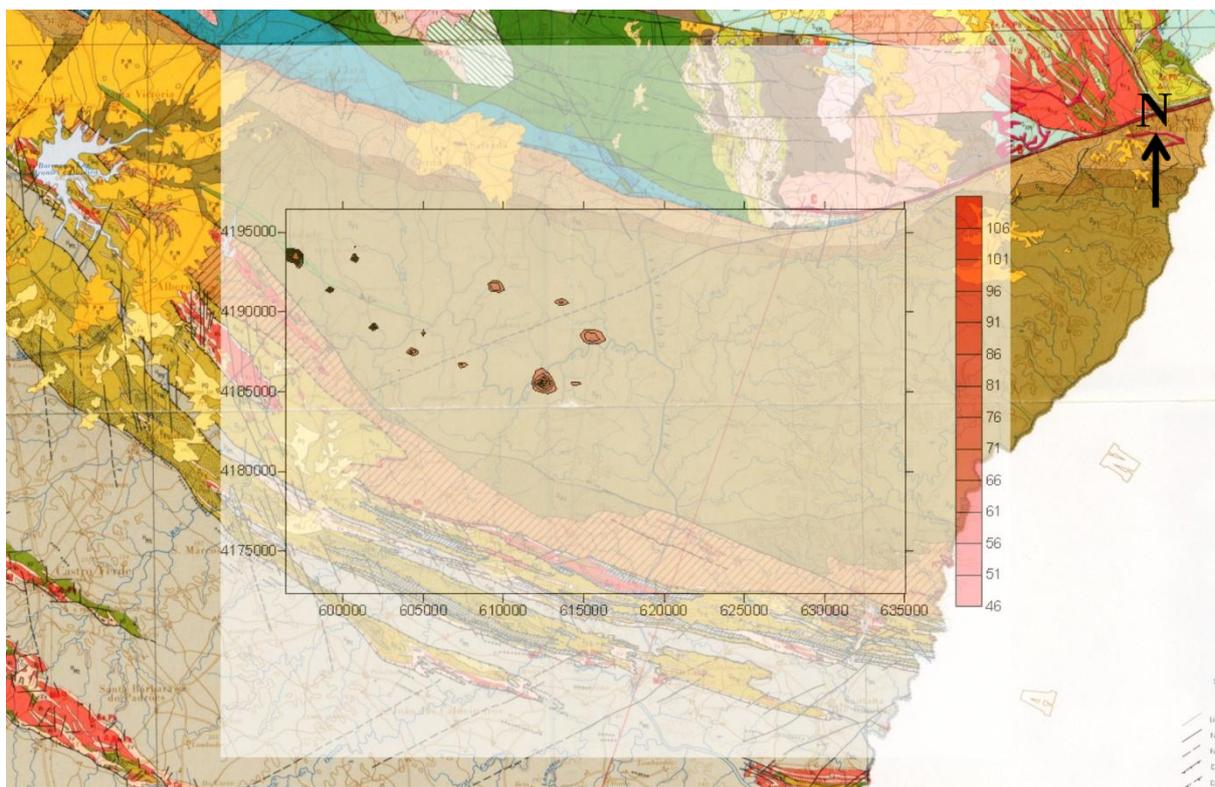


Fig. 46 - Mapa de distribuição de concentração anómalo em Pb, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Alfarrobeira; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

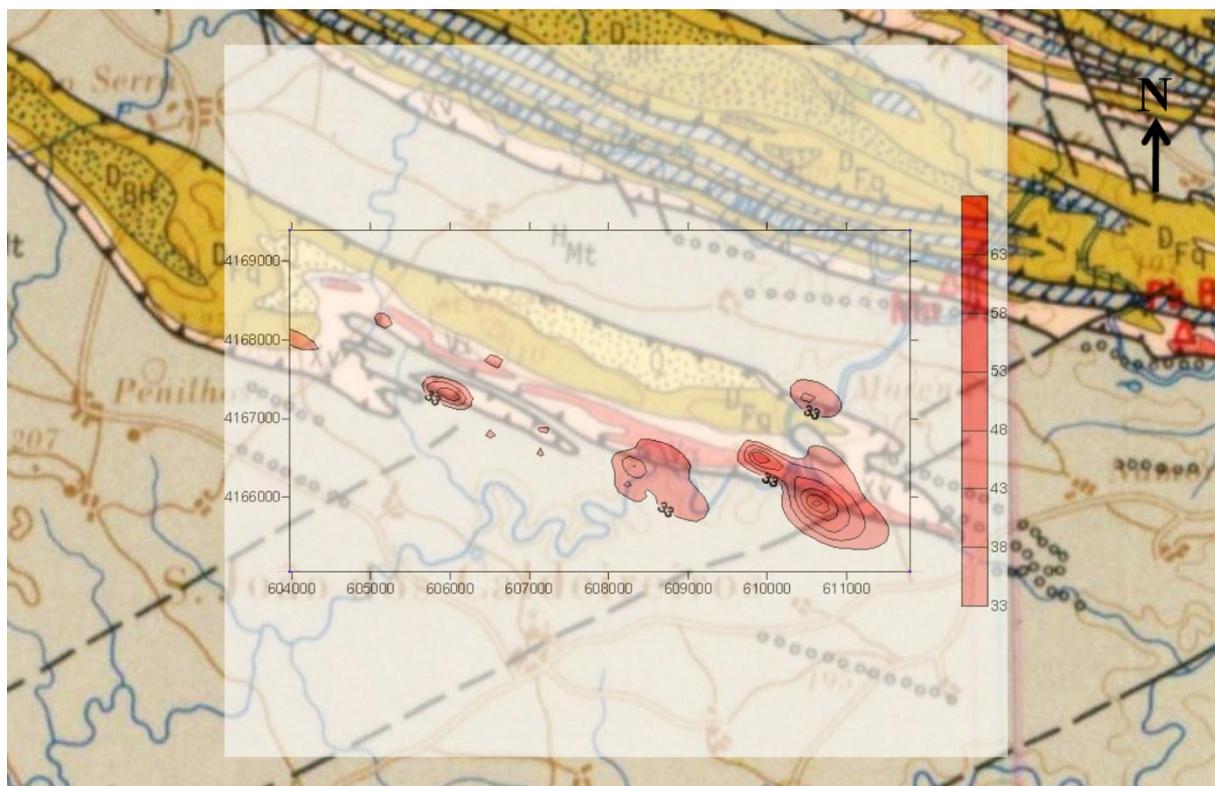


Fig. 47 - Mapa de distribuição de concentração anómalo em Pb, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Alvares I; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

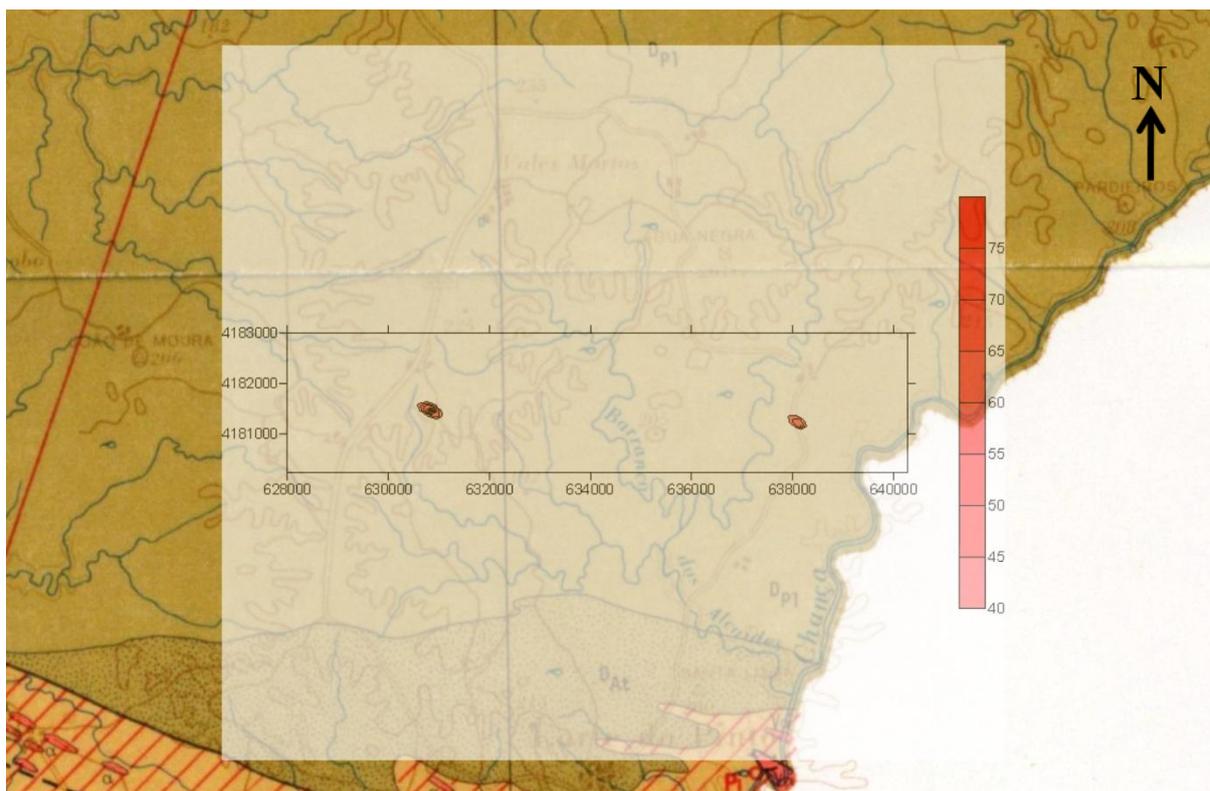


Fig. 48- Mapa de distribuição de concentração anômalo em Pb, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Chança N; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1192).

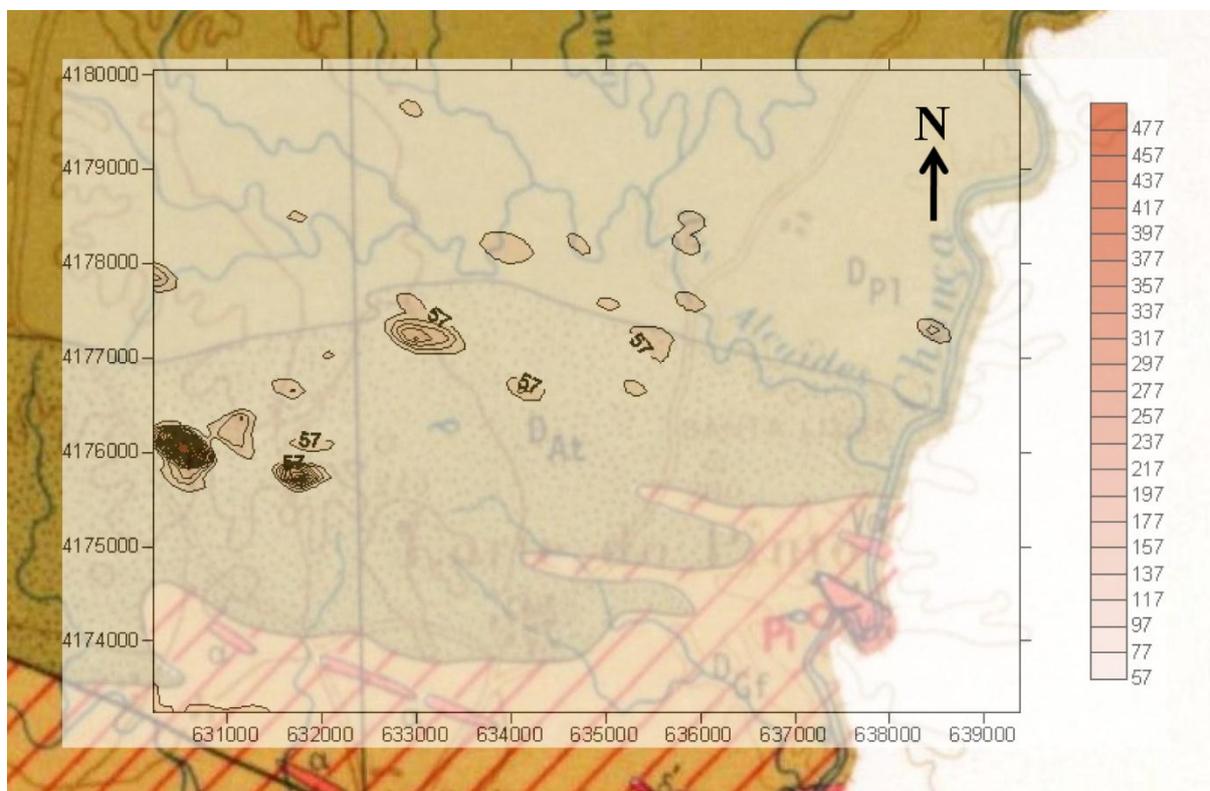


Fig. 49- Mapa de distribuição de concentração anômalo em Pb, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Chança; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

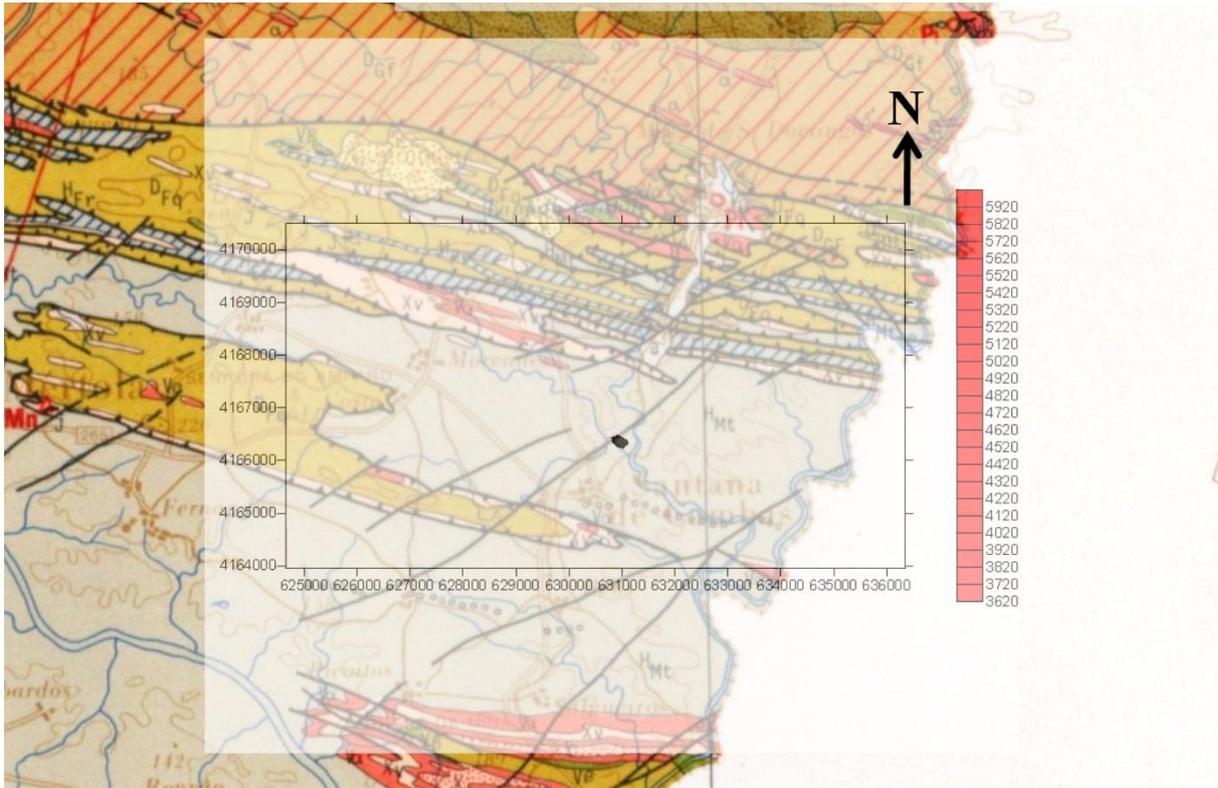


Fig. 50 - Mapa de distribuição de concentração anômalo em Pb, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina IIa; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

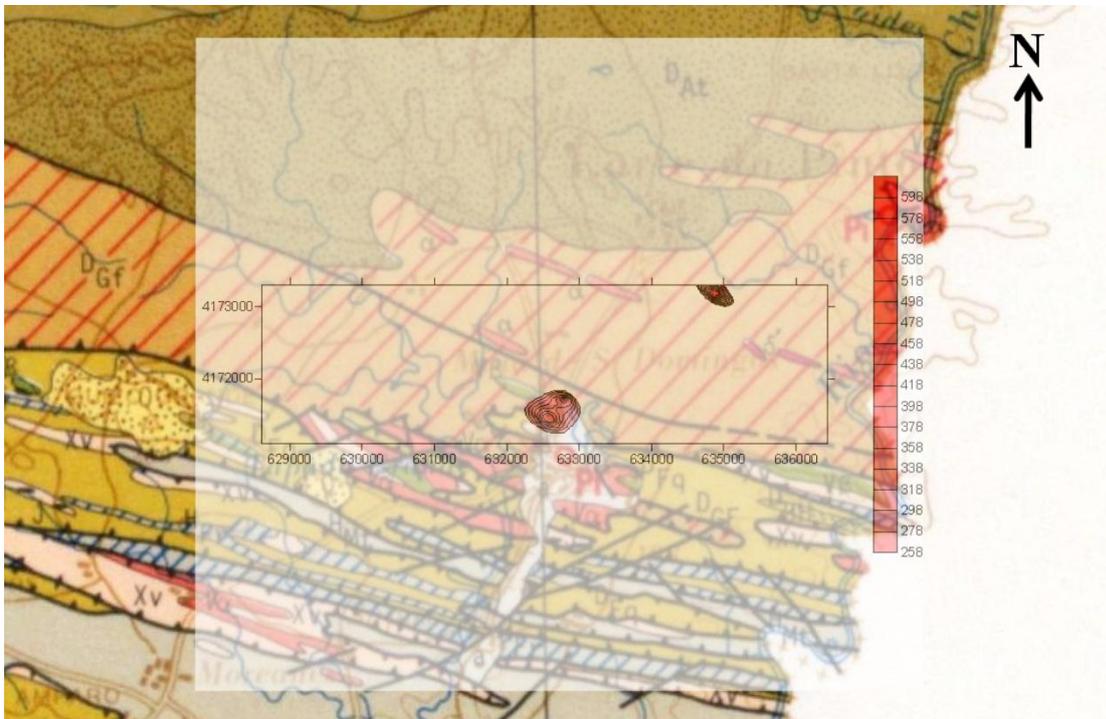


Fig. 51- Mapa de distribuição de concentração anômalo em Pb, com valores superiores ao fundo local, para a subárea de Mina IIb; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

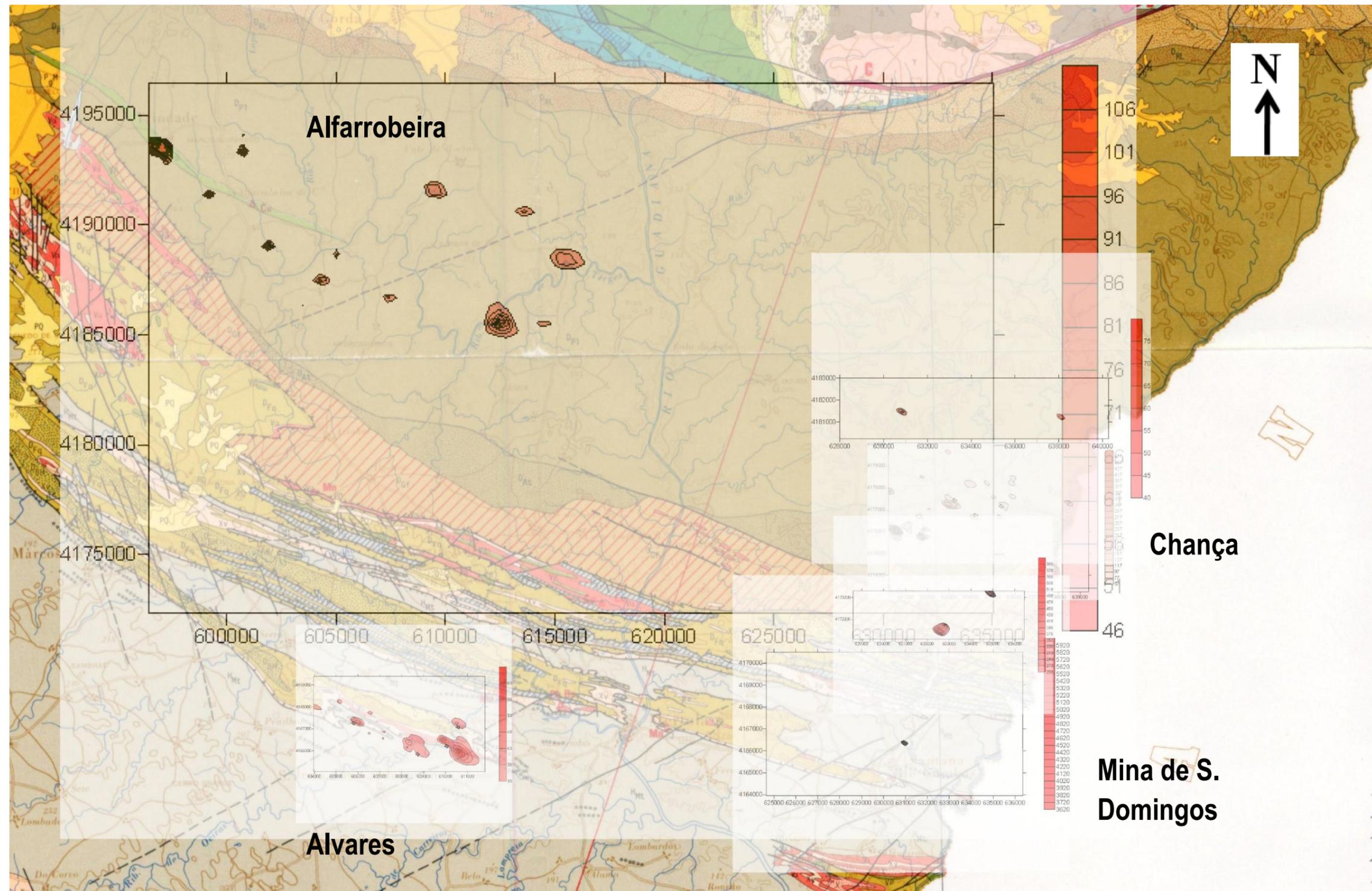


Fig. 52– Sobreposição das distribuições de concentração anómalas em Pb em todas as subáreas, com a geologia (de acordo com a campanha da SMRA – anos 90); coordenadas UTM ED50 – 29N.

4.4) Anomalias por subáreas

Nesta secção procura-se mostrar as inferências globais para os halos de distribuição de concentração anómalos em Cu, Zn e Pb e os respectivos mapas de anomalias obtidos após todo o processamento de dados.

4.4.1) Albernoa W – Entradas

A subárea de Albernoa sobrepõe-se às formações da FPI. A cartografia de detalhe disponível não permite efectuar a distinção clara entre algumas das formações. No mapa do S.F.M. consultado, esta subárea aparece cartografada como uma transição entre o CVS e o GFQ; actualmente, segundo o trabalho de Rosa et al. (2004) corresponde ao GFQ.

Para esta subárea foram analisadas apenas distribuições de concentração em Cu e Zn; denotando-se uma concentração espacial mais anómala para este último metal. Os escassos afloramentos dificultam a interpretação e, assim, a validação plena dos resultados obtidos. Contudo, o afloramento junto à linha de água, ilustrado na estampa 1 (Cap.2), caracteriza alguns dos aspectos relativos às anomalias delimitadas por esta metodologia, nomeadamente a alternância de xistos com coloração semelhante à dos xistos “borra de vinho” com xistos negros e o desenvolvimento de fendas de tracção com direcção N30°W, subconcordantes com a xistosidade; neste local, os encostos das fendas de tracção são ricos em óxidos e hidróxidos de ferro como se observa na estampa 1D (Cap.2). A contribuição do GFQ como fonte de metais e as sucessivas remobilizações hidrotermais processadas de forma heterogénea e incipiente ao longo de desligamentos tardios N – S, contribuem para que estas anomalias se concentrem espacialmente sobre o GFQ.

4.4.2) Alfarrobeira

Na subárea de Alfarrobeira as anomalias para os três metais encontram-se sobrepostas ao nível de vulcanitos máficos, onde são descritas e assinaladas no mapa da SMRA pequenas explorações artesanais de cobre situadas próximos de um pequeno chapéu de ferro. As observações de campo validam as anomalias, permitindo identificar zonas de fractura com direcção N20°W contendo precipitados hidrotermais de quartzo com finas disseminações de pirite, calcopirite e arsenopirite. O encaixante metassedimentar é afectado por alteração hidrotermal muito forte acompanhada por óxidos e hidróxidos de ferro (talvez resultantes da oxidação de sulfuretos de ferro). Do chapéu de ferro assinalado no mapa, apenas foi possível observar pequenos blocos soltos (estampa 2).

4.4.2) Serra Branca

Tal como para Alvares, a subárea de Serra Branca também apresenta diferentes mapas de anomalias consoante as campanhas de amostragem, e não totalmente coincidentes no espaço, o que permite a extrapolação para uma área maior.

O mapa relativo a Serra Branca I ilustra para o Cu, uma anomalia muito concentrada espacialmente, em dois pontos; para o Zn, existe correspondência de halos anómalos no sector NW do mapa; no entanto, observam-se em boa parte do mapa distribuições de concentração anómalas em Zn observam-se em boa parte do mapa. Também para a subárea de Serra Branca II, não existe coincidência entre os halos anómalos de Cu e Zn, observando-se um predomínio de halos anómalos para este último metal.

Após as observações de campo conclui-se que o sinal das anomalias (fortemente localizados e de elevada concentração) está associado a relevos em crista, condicionados pela presença de xisto “borra de vinho” silicificados, subconcordantes com as rochas metavulcânicas muito alteradas hidrotermalmente contendo óxidos e hidróxidos de ferro, sobre um corredor estrutural. A presença de calcopirite + especularite \pm goethite \pm pirite, em rochas metavulcânicas foi observada, conforme ilustrado estampa 3.

4.4.3) Alvares

Nas subáreas Alvares I e II é importante sublinhar que, apesar de terem a mesma denominação e se localizarem em zonas muito próximas espacialmente, não são totalmente coincidentes; não obstante, os valores de fundo regional obtidos para as distribuições de concentração são semelhantes, com uma margem de erro inferior a 3-4 ppm. Os valores de fundo local, variam de acordo com os gradientes geoquímicos locais impostos pela natureza do substrato rochoso.

Em Alvares I observa-se uma distinção clara das anomalias de Cu e Zn, a primeira com geometria mais regular e direcção preferencial coincidente com as estruturas geológicas da região. As anomalias referentes ao Zn são de uma ordem de grandeza superior (relativamente às concentrações), mas mais dispersas e concentradas espacialmente. Sobrepondo-se à formação de Mértola, esta concentração anómala em Zn poderá reflectir a remobilização de metais durante a actividade hidrotermal desencadeada pelos eventos sísmicos associados à propagação das zonas de falha NE – SW.

Na subárea de Alvares II as anomalias dos três metais em estudo não se sobrepõem. As distribuições de concentração anómalas em Zn e Pb são equiparadas espacialmente, sendo totalmente distintas das em Cu. Esta última, acima dos 69 ppm, reflecte a influência de rochas metavulcânicas e

do cavalgamento que põe em contacto o “Culm” e a sequência CVS/GFQ. Por sua vez, as concentrações anómalas em Zn e Pb associam-se preferencialmente aos metassedimentos, podendo haver alguma contribuição da actividade hidrotermal relacionada com zonas de falhas tardias, como já foi referido.

4.4.4) Chança

Na subárea de Chança, as anomalias das distribuições de concentração são distintas entre o Cu e o Zn/Pb; os halos anómalos identificados para os dois últimos metais coincidem espacialmente.

Para o Cu, a anomalia sobrepõe-se às rochas metavulcânicas fortemente alteradas hidrotermalmente, sob a forma de silicificação e cloritização; esta anomalia engloba ainda o chapéu de ferro da antiga Mina de Chança.

As distribuições de concentração em Zn e Pb anómalas apresentam-se geometricamente bem definidas. Localizam-se a W da Mina de Chança, sobre o Terreno Pulo do Lobo (Formações do Gafo e da Atalaia). No seio dos metassedimentos destas unidades litoestratigráficas ocorrem fendas de tracção subconcordantes com a xistosidade preenchidas por quartzo muito endurecido, ocasionalmente contendo sulfuretos finamente disseminados.

4.4.5) Chança N

Esta subárea situa-se próximo de Corte Pinto, a N da antiga Mina de Chança e, de acordo com o mapa geológico à escala 1:200.000, sobrepõe-se às formações constituintes do Terreno Pulo do Lobo; as observações realizadas confirmam a inexistência de litologias de origem vulcanogénica.

As diferentes anomalias nesta subárea reflectem na sua maioria, para o Cu e Zn, a presença de fendas de tracção preenchidas por agregados de quartzo endurecido contendo “boxworks” e a presença ocasional de sulfuretos. Estas ocorrências quartzosas são compostas também por clorite + pirite ± calcopirite, sin a pós deformacional com achatamento (marcando transpressão), algumas das vezes dispostas *en echelon*. Na estrada com direcção a Paymogo, um talude relativamente novo permite observar diversas estruturas quartzosas com diferentes dimensões volumétricas. Foi possível distinguir duas tipologias; uma contendo clorite e sulfuretos; outra, mais precoce, com albite e sem sulfuretos.

Para o Pb, as anomalias das distribuições de concentração nesta subárea não foram validadas. No entanto, a observação de estruturas semelhantes às anteriormente descritas, juntamente com a presença de óxidos e hidróxidos de ferro, sugerem a existência de disseminações de sulfuretos.

4.4.6) Mina de S. Domingos

A região que abrange toda a Mina de S.Domingos, como já foi explicitado, encontra-se dividida em 5 subáreas. As subáreas Mina Ib e Mina IIa, correspondem sensivelmente à mesma zona espacialmente, próxima da antiga corta mineira. Nestas duas subáreas as anomalias apresentam uma direcção geral NE – SW, coincidente com a linha de água e a linha de caminho de ferro proveniente da corta; como tal, as anomalias reflectem a presença de resíduos mineiros diversos com rochas metavulcânicas, transportados e depositados durante o período de exploração da mina. A NW do mapa da subárea Mina IIa, observa-se um halo de concentração anómalo bem definido para o Zn e Pb; este deve-se a um preenchimento hidrotermal quartzoso, brechificado e com indícios de mineralização que sublinha o corredor tectónico que marca o contacto entre GFQ e CVS referenciado em Matos et al. 2006.

A subárea Mina IIb mostra dois halos anómalos muito bem definidos e concentrados espacialmente para o Cu e Zn; o Pb aparece mais disperso e menos concentrado. A N, a anomalia situa-se sobre um corredor estrutural que estabelece o contacto entre rochas metavulcânicas (com “boxworks”) e metassedimentos de natureza quartzováquica; localmente, regista-se a presença abundante de hidróxidos de Mn. A S, a anomalia sobrepõe-se a uma antiga escombreira, junto à estrada que atravessa a população da Mina de S.Domingos, decorrente da antiga actividade extractiva.

Os restantes mapas das subáreas envolventes à Mina de S.Domingos reflectem essencialmente a composição das rochas metavulcânicas do CVS, localmente reforçada por eventuais remobilizações hidrotermais; associadas a diferentes zonas de falhas tardias.

5. Sedimentos de Corrente: Análise de Dados

Os dados de sedimentos de corrente foram obtidos em 1034 pontos de amostragem (campanha da SMRA, anos 90) conforme representado no mapa x da figura 53, cobrindo uma extensa área, entre Serra Branca e a Mina de S.Domingos. A análise química realizada para cada amostra abrangeu 42 elementos, muito embora o presente trabalho privilegie os metais Cu, Zn e Pb; as distribuições espaciais de concentração em Cr, Co e Ni foram adicionalmente caracterizadas mercê do seu significado geoquímico potencial. Apesar de terem sido amostrados 1034 pontos de amostragem, alguns dos metais apresentam menor número de amostras, pois revelam concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico usado, tomaram-se os conteúdos em Al_2O_3 , MgO, FeO, CaO, K_2O e Na_2O com o objectivo de aferir a aplicação dos índices de alteração (AI) e mineralização (CCPI) muitas vezes empregues na caracterização de domínios rochosos que hospedem mineralizações do tipo sulfuretos maciços vulcanogénicos (Large et al., 2001).

5.1) Distribuições espaciais de valores de concentração para o Cu, Zn e Pb

5.1.1) Estatística Descritiva

A Tabela 20 apresenta a síntese dos resultados da estatística descritiva para básicos em o Cu, Zn e Pb. Como já foi referido, a campanha foi realizada nos anos 90 pela empresa SMRA ao longo dos grandes cursos fluviais, Guadiana e Chança, mas também em diversos afluentes dos mesmos, tributários de 2ª e 3ª ordem.

A primeira leitura da Tabela nº20 coloca em evidência a heterogeneidade da população amostral. Tal como nos solos, os valores médios das distribuições de concentração em Cu, Zn e Pb superam sempre os valores da mediana, indicando o comportamento não normal. Os valores do terceiro quartil, revelando-se muito diferentes dos máximos das distribuições de concentração, sugerem a presença de domínios do espaço com valores de concentração anómalos. O valor do coeficiente de variação do Pb é o único acima da unidade, e neste caso, bastante superior 2.79. Este valor demonstra o carácter disperso deste metal na área em estudo; este valor pode ser explicado pela diferença entre o valor máximo (2400 ppm) e o valor maior seguinte (400 ppm). Esta diferença (apenas um ponto de amostragem com um valor muito elevado) pode ser explicada, por um erro analítico ou um ponto amostrado não representativo, causando efeito pepita. Neste caso, através da georeferenciação e subsequente validação no terreno, conclui-se que se trata de um ponto amostrado na antiga linha de comboio que transportava o minério.

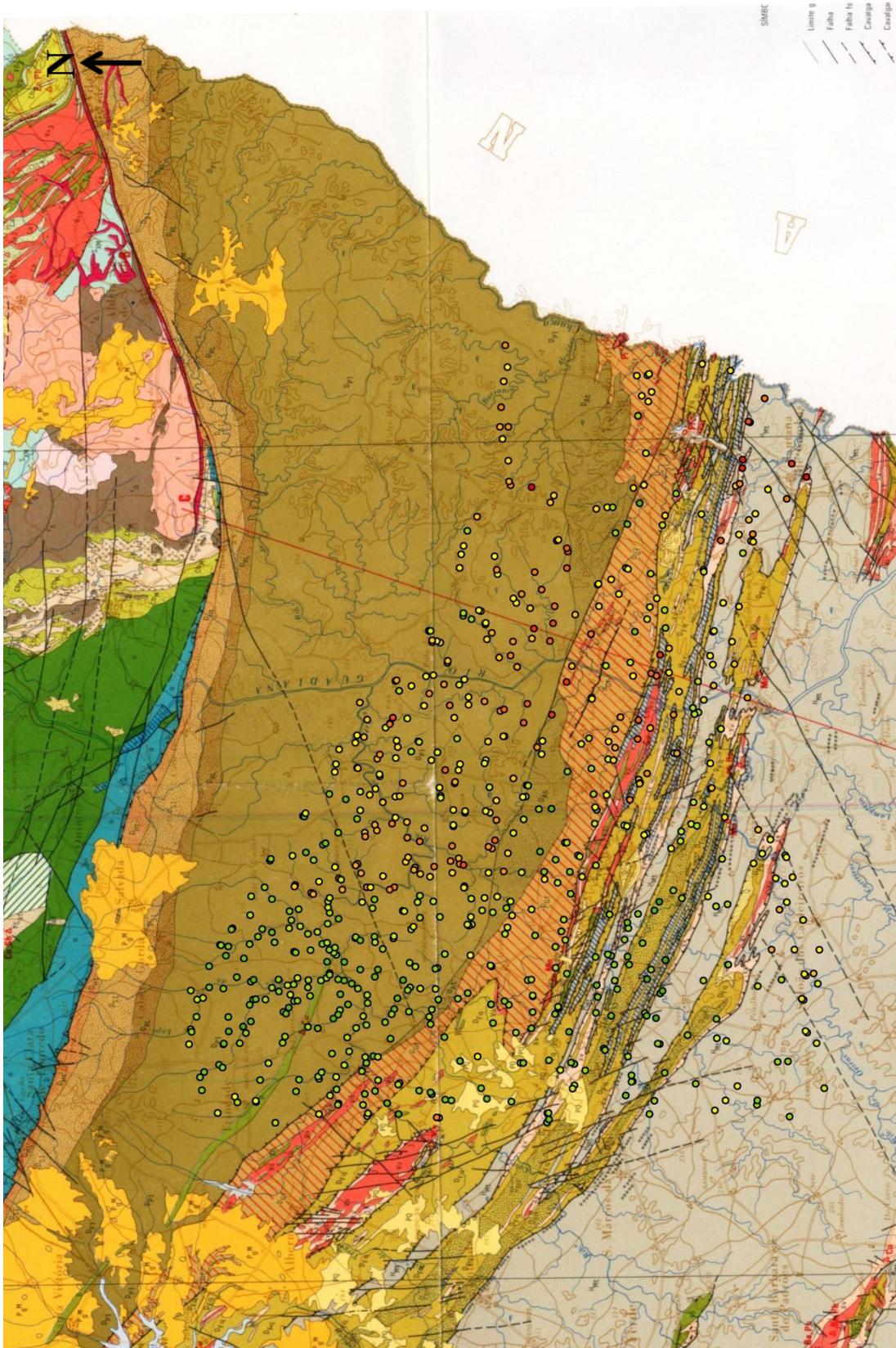


Fig. 53 – Rede de amostragem para os sedimentos de corrente (campanha da SMRA, anos 90); coordenadas UTM ED 50 – 29N.

Tabela 20- Síntese da Estatística Descritiva para as distribuições de concentração do Cu, Zn e Pb em sedimentos de corrente. N: número de amostras; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; * subdivisão desta área em duas.

Elementos	Cu	Zn	Pb
N	1033	1034	1025
Mínimo (ppm)	6	10	5
Máximo (ppm)	276	364	2400
Média (ppm)	25	51	27
Mediana (ppm)	23	49	24
Q1 (ppm)	18	38	18
Q3 (ppm)	28	62	30
Variância	212	463	5865
Coefficiente de variação	0.59	0.42	2.79
Assimetria	10	4	29
Curtose	155	54	903

Os valores para a curtose são bastante superiores a 0, indicando que os valores das distribuições de concentração muito dispersas em relação aos valores médios e medianos.

5.1.2) Variogramas

O modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas relativos às distribuições de concentração em Zn foi o exponencial. A Tabela 21 sintetiza os parâmetros utilizados nesta modelação de semi-variogramas. O valor da anisotropia (2) reflecte forte anisotropia para as distribuições de concentração em estudo e tomou-se 335° de direcção de acordo com as principais estruturas geológicas. No entanto, verifica-se que a direcção preferencial para o Cu e Zn é N – S de acordo com o sentido de escorrência dos principais cursos fluviais. Para o Pb a direcção preferencial de ajuste ao semi-variograma é NW – SE.

Os valores de efeito pepita não são muito elevados, o que indica maior grau de correlação entre pares de pontos. Os valores obtidos para o parâmetro alcance são elevados, isto é, valores demonstrando uma correlação espacial para alcances altos. Para o Cu e Pb, os valores são em torno dos 4000 – 5000; para o Zn o parâmetro é mais baixo (2250) pois este elemento em condições ambientais é moderadamente móvel (ref. Estudos brasileiro), e em algumas situações

utilizado para crescimento e nutrição das plantas, facilitando a sua fixação em locais distais da sua fonte. Por sua vez, o valor do patamar é diversificado para os três elementos.

Para cada elemento produziram-se os respectivos variogramas; os resultados do ajuste obtido encontram-se na figura 54.

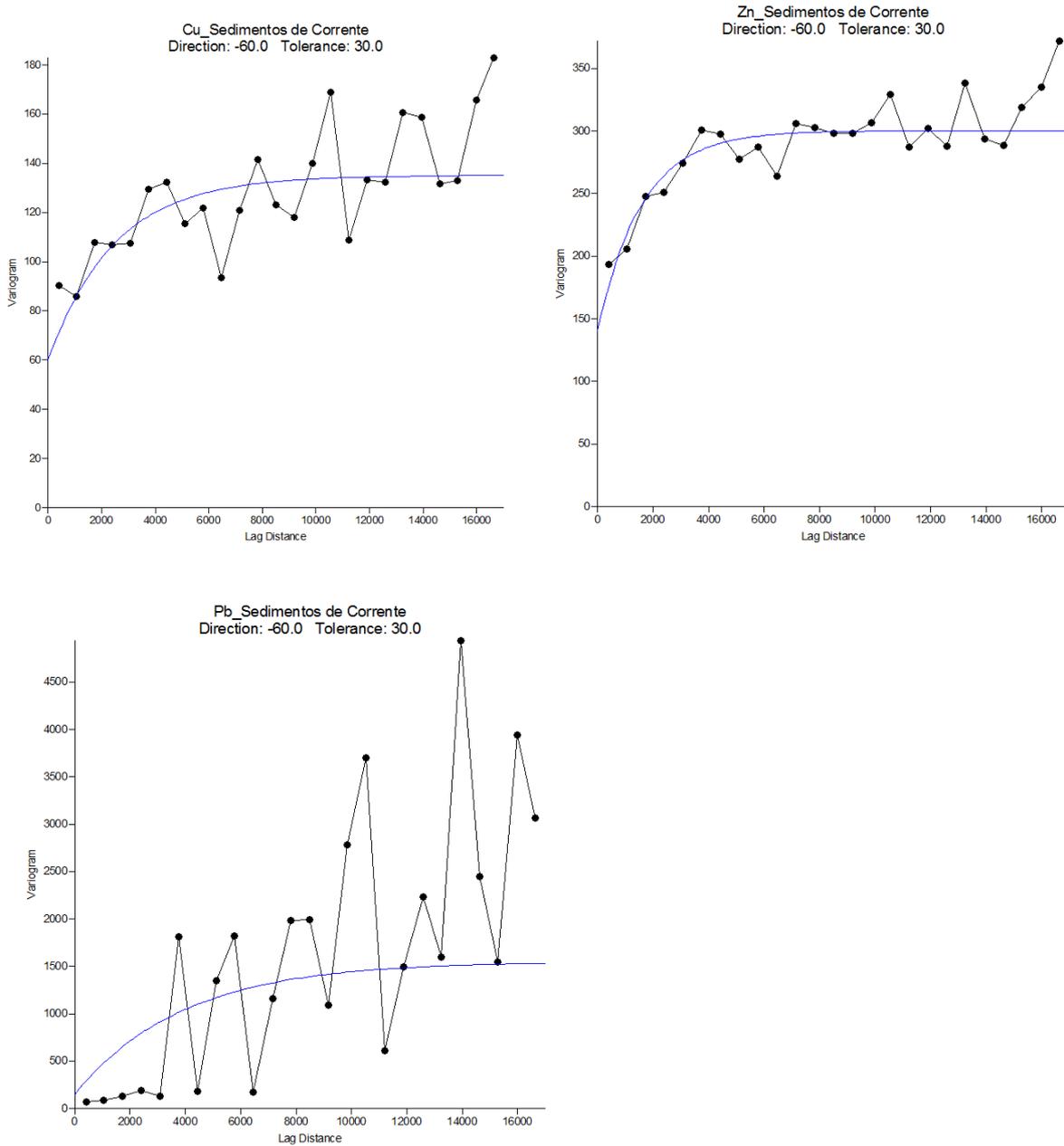


Figura 54 - Variogramas para a distribuição dos valores de concentração em Cu, Zn e Pb, respectivamente; o modelo teórico está representado pela curva contínua.

Tabela 21 - Tabela síntese dos parâmetros dos modelos de semivariogramas trabalhados para sedimentos de corrente para o Cu, Zn e Pb.

Elementos		Modelo	Patamar	Alcance	Efeito Pepita	Anisotropia	Direcção	Direcção preferencial
Serra Branca	Cu	Exponencial	55	4000	70	2	335	N - S
	Zn	Exponencial	14	2250	140	2	335	N - S
	Pb	Exponencial	1600	4750	0	2	335	NW - SE

5.1.3) Comportamento Multifractal

A figura 55 mostra os espectros $F(\alpha) - \alpha$ obtidos para as distribuições de concentração em Cu, Zn e Pb, revelando o seu comportamento multifractal. É importante referir, que para os três metais, o primeiro ramo da curva é mais disperso, pois para o intervalo α considerado existe um menor conjunto de valores amostrados.

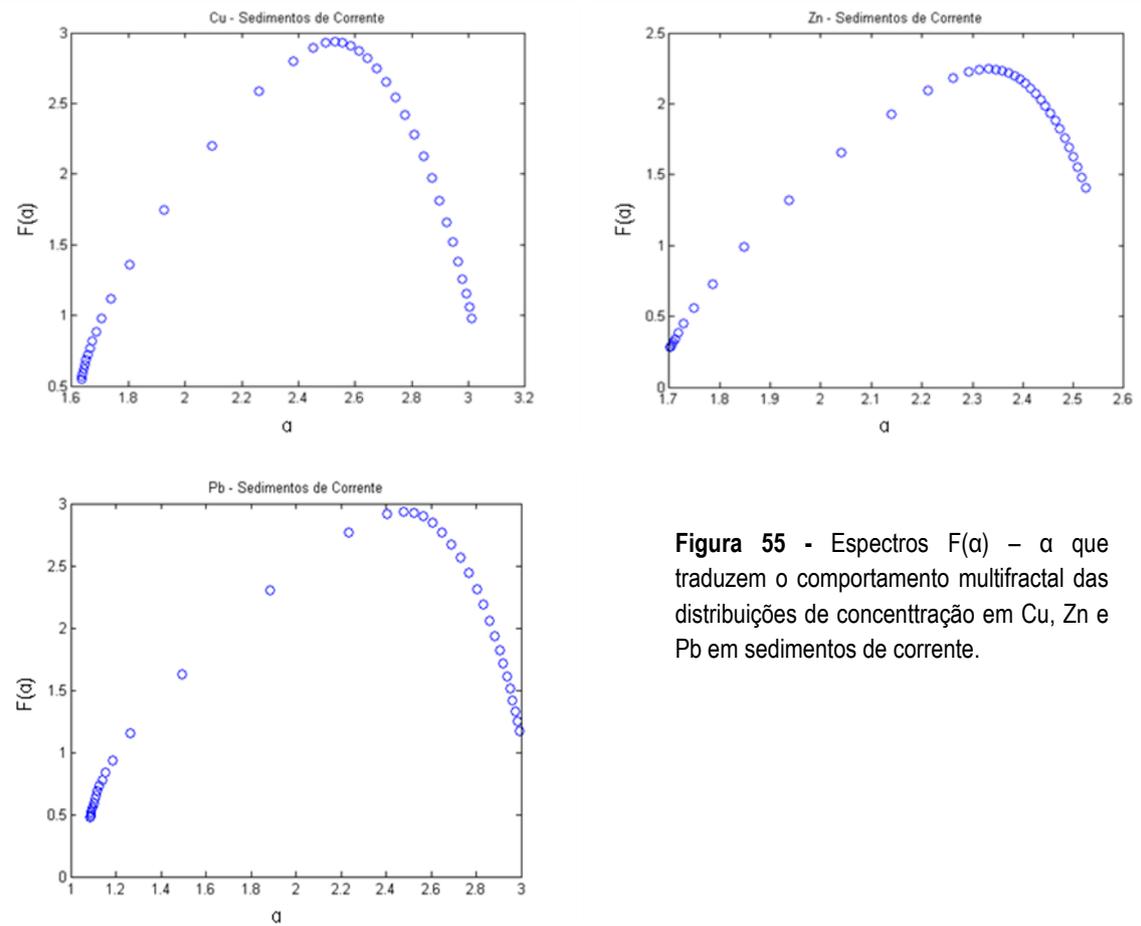


Figura 55 - Espectros $F(\alpha) - \alpha$ que traduzem o comportamento multifractal das distribuições de concentração em Cu, Zn e Pb em sedimentos de corrente.

5.1.4) Cálculo dos valores de fundo

Para calcular os fundos regionais e locais é utilizado o gráfico que resulta da projecção de log área vs log concentração. A quebra de linearidade no gráfico permite a distinção dos diferentes fundos (patamares).

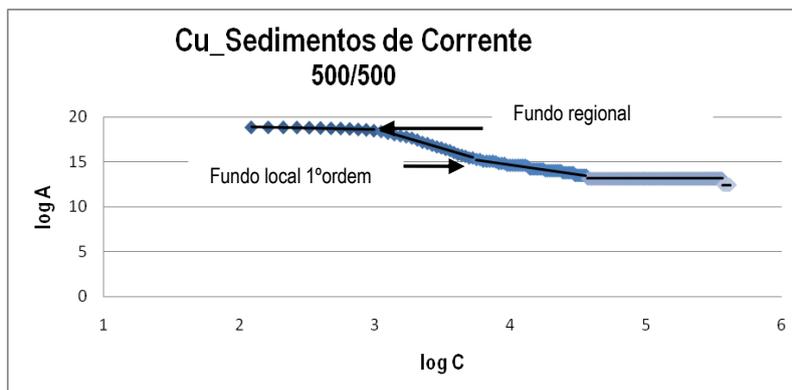


Figura 56 - Exemplo: Gráfico log A (área) vs log C (concentração) do Cu, para a janela 500/500, com as rectas de tendência ajustadas aos pontos.

Como exemplo, a figura 56 ilustra o gráfico log A vs log C, os valores anexados ao título refletem dois parâmetros (janelas) a ter em conta na obtenção destes gráficos. Os restantes gráficos encontram-se em anexo.

Analisando a tabela nº22, que mostra os resultados obtidos para o Cu, Zn e Pb, constata-se que os valores de fundo regional se encontram entre 20 e 45 ppm. Por sua vez, os valores para o fundo local de 1º ordem são mais elevados, em especial para o Zn (com um fundo regional também superior aos outros elementos), cifrando-se em 94 ppm.

No capítulo 4 apresenta-se os fundos regionais obtidos através da geoquímica de solo: 28, 48 e 23 ppm, respectivamente para o Cu, Zn e Pb. Como se pode constatar os resultados obtidos para os sedimentos de corrente são muito semelhantes aos obtidos para os solos, com um erro inferior a 8 ppm.

Tabela 22 - Fundos regionais e locais de 1º ordem para sedimentos de corrente na área de concessão de Serra Branca para o Cu, Zn e Pb.

Sedimentos de Corrente	Área	Fundo Regional (ppm)	Fundo Local (ppm)
Cu	Serra Branca	20	40
Zn		45	94
Pb		30	70

5.1.5) Mapa de anomalias

Os mapas de anomalias foram elaborados no programa SURFER® utilizando o *kriging* ordinário como método de interpolação de dados. Os mapas resultantes deste processo encontram-se nas figuras 57 - 59, traduzindo apenas as distribuições espaciais dos valores de concentração acima do fundo regional calculado para cada metal.

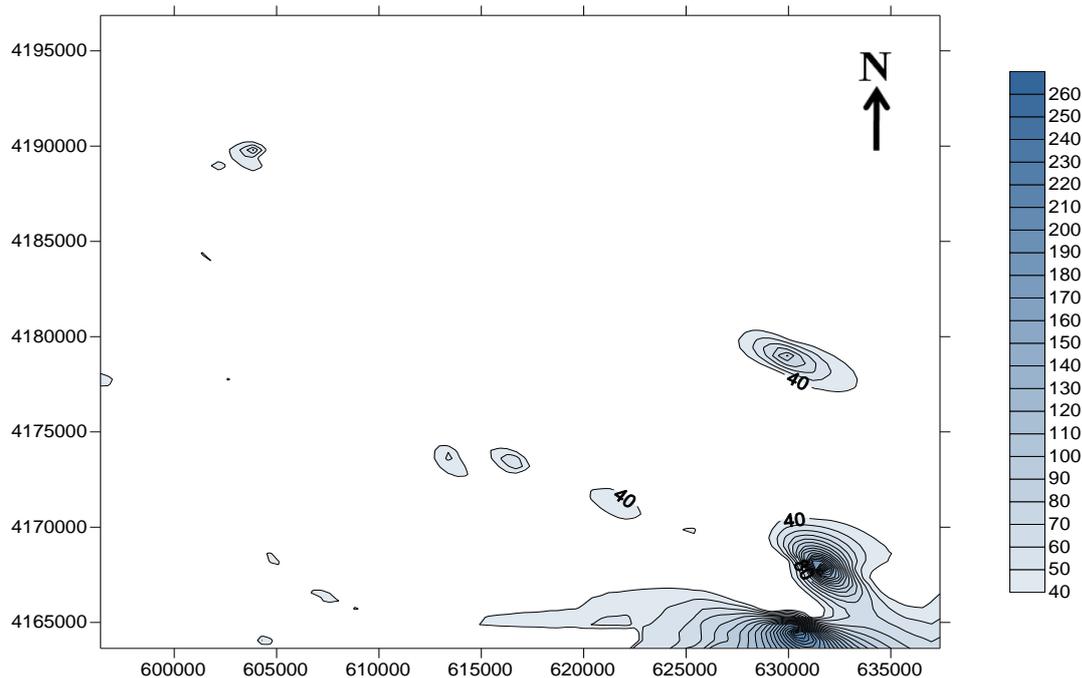


Fig. 57 - Isolinhas de concentração para o Cu; escala em ppm e coordenadas UTM – European Datum 1950 29N.

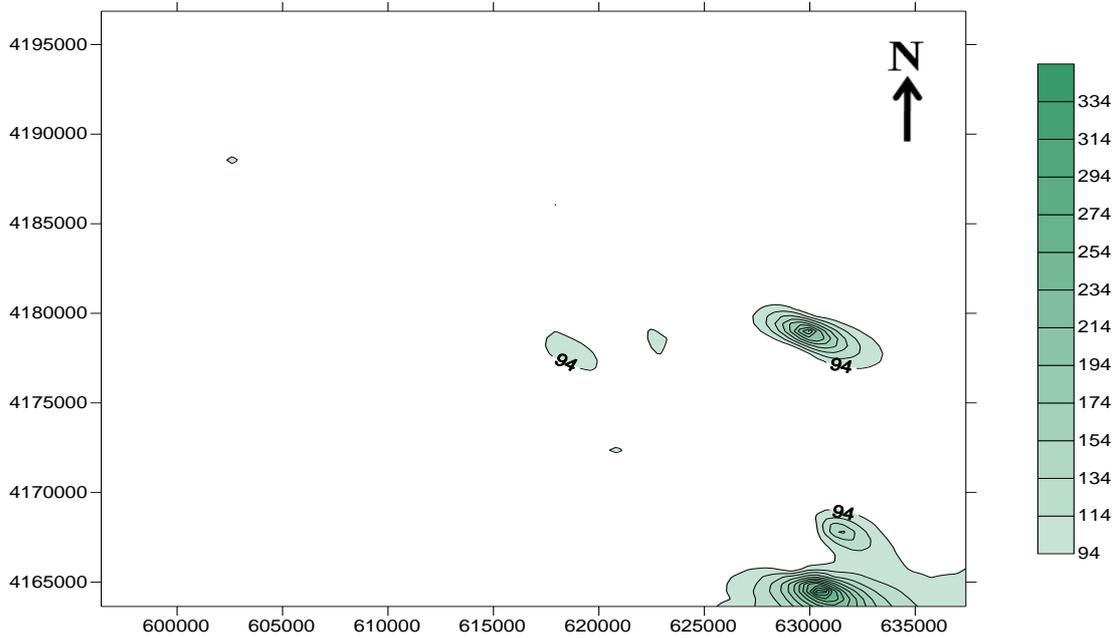


Fig. 58 - Isolinhas de concentração para o Zn; escala em ppm e coordenadas UTM – European Datum 1950 29N.

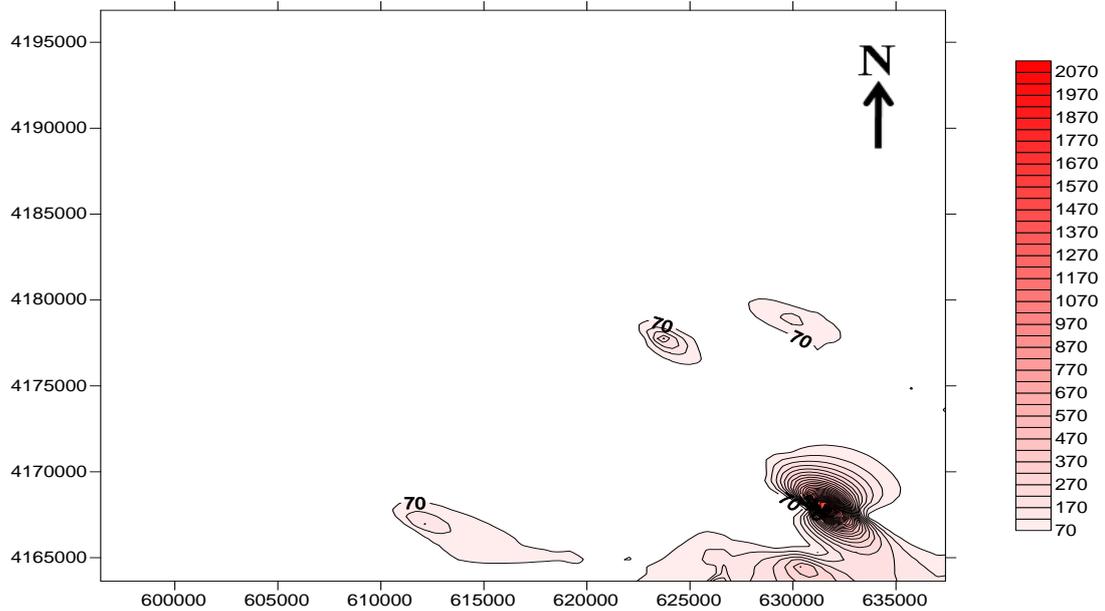


Fig. 59 – Isolinhas de concentração para o Pb; escala em ppm e coordenadas UTM – European Datum 1950 29N.

Os mapas de isolinhas de concentração presentes nas figuras 55 - 57 delimitam as anomalias relativas aos valores de fundo local. Tipicamente a análise dos sedimentos de corrente são apenas discriminativas a nível regional; no entanto, as anomalias representadas delimitam a influência da Mina de São Domingos, sobretudo ao longo da ribeira de São

Domingos (Achada do Gamo). A análise de resultados relativos a sedimentos de corrente requiere algum cuidado. Os três mapas apresentam duas áreas onde se encontram anomalias bem delimitadas. A primeira mais a N e a segunda no sector SE dos mapas, ambas com uma anisotropia com direcção aproximada de NW – SE.

A anomalia mais a N associa-se a tributários de 2º e 3º ordem e sobrepõem-se à formação metassedimentar do Terreno do Pulo do Lobo (interessante em termos de prospecção), a geometria das anomalias é bastante consistente para o Cu e Zn e inferior para o Pb. As anomalias a SE relacionam-se com a actividade extractiva realizada em S.Domingos.

5.2) Distribuições espaciais de valores de concentração: Co, Cr e Ni

5.2.1) Estatística Descritiva

A Tabela 23 lista os valores obtidos para as medidas de tendência central nas distribuições de concentração em Co, Cr e Ni. Tal como referido, no início deste subcapítulo, estes metais foram seleccionados por apresentarem valores de concentração significativos e também por, potencialmente, serem indicativos de uma influência da geologia a montante proveniente da rede de drenagem principal (Rio Guadiana), nomeadamente da Zona de Ossa Morena (ZOM).

É importante referir que o número de amostras para cada metal é diferente. No caso do Cr, analisaram-se o total das amostras colhidas; para o Co e Ni, o número é inferior na medida em que existem muitos casos em que os conteúdos se posicionam abaixo do limite de detecção usado.

Com os valores medianos sempre acima dos valores médios verifica-se um comportamento não normal da população amostral. Os valores máximos das distribuições de concentração para os três elementos são bastante superiores aos valores do terceiro quartil, indicando a possibilidade de ocorrência de domínios anómalos.

Os coeficientes de variação não são muito elevados, tomando valores inferiores à unidade, o que indica um carácter não disperso (pouco disperso) dos metais em estudo, em especial o Co. Os valores obtidos para a curtose são iguais ou superiores à unidade

Tabela 23 - Síntese da Estatística Descritiva para as distribuições de concentração do Co, Cr e Ni. N: número de amostras; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; * subdivisão desta área em duas.

Elementos	Co	Cr	Ni
N	726	1033	900
Mínimo (ppm)	4	8	5
Máximo (ppm)	42	189	81
Média (ppm)	17	30	30
Mediana (ppm)	16	25	30
Q1 (ppm)	14	22	24
Q3 (ppm)	19	31	36
Variância	18	16	126
Coefficiente de variação	0.26	0.55	0.37
Assimetria	1	3	0.54
Curtose	4	16	1

No caso do Cr, regista-se um valor muito elevado; este sugere-nos que os valores são muito dispersos em relação aos valores médios/medianos.

5.2.2) Variogramas

Tal como para a maioria dos metais e subáreas em estudo neste trabalho, o modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas experimentais foi o modelo exponencial. Na Tabela 24 reportam-se os parâmetros utilizados na modelação dos semivariogramas. Os valores tomados para a direcção de anisotropia e anisotropia foram de 335° e 2, respectivamente, por razões equivalentes às explicitadas anteriormente para os solos. Apesar da rede de drenagem principal ter orientação N – S, a direcção de melhor ajuste dos semivariogramas é de NW – SE para o Co, Cr e Ni.

O efeito pepita não toma valores relativos muito elevados, no entanto para o Cr e Ni são superiores ao Co. Os valores para o alcance variam entre 2650, 3650 e 5450, valores a partir da qual deixa de haver correlação, para o Ni, Co e Cr, respectivamente. O valor do patamar é bastante diferente para os três metais em estudo.

Na figura 60 apresentam-se os semivariogramas para as distribuições de concentração, entre Serra Branca e Mina de S.Domingos para o Co, Cr e Ni. A análise dos semivariogramas permite-nos dizer que o ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental é melhor para o Cr, apesar de visualmente o Co e Ni parecerem melhores. O valor de alcance para o Cr é superior aos restantes, assim, a correlação verifica-se até uma distância superior aos dos outros casos.

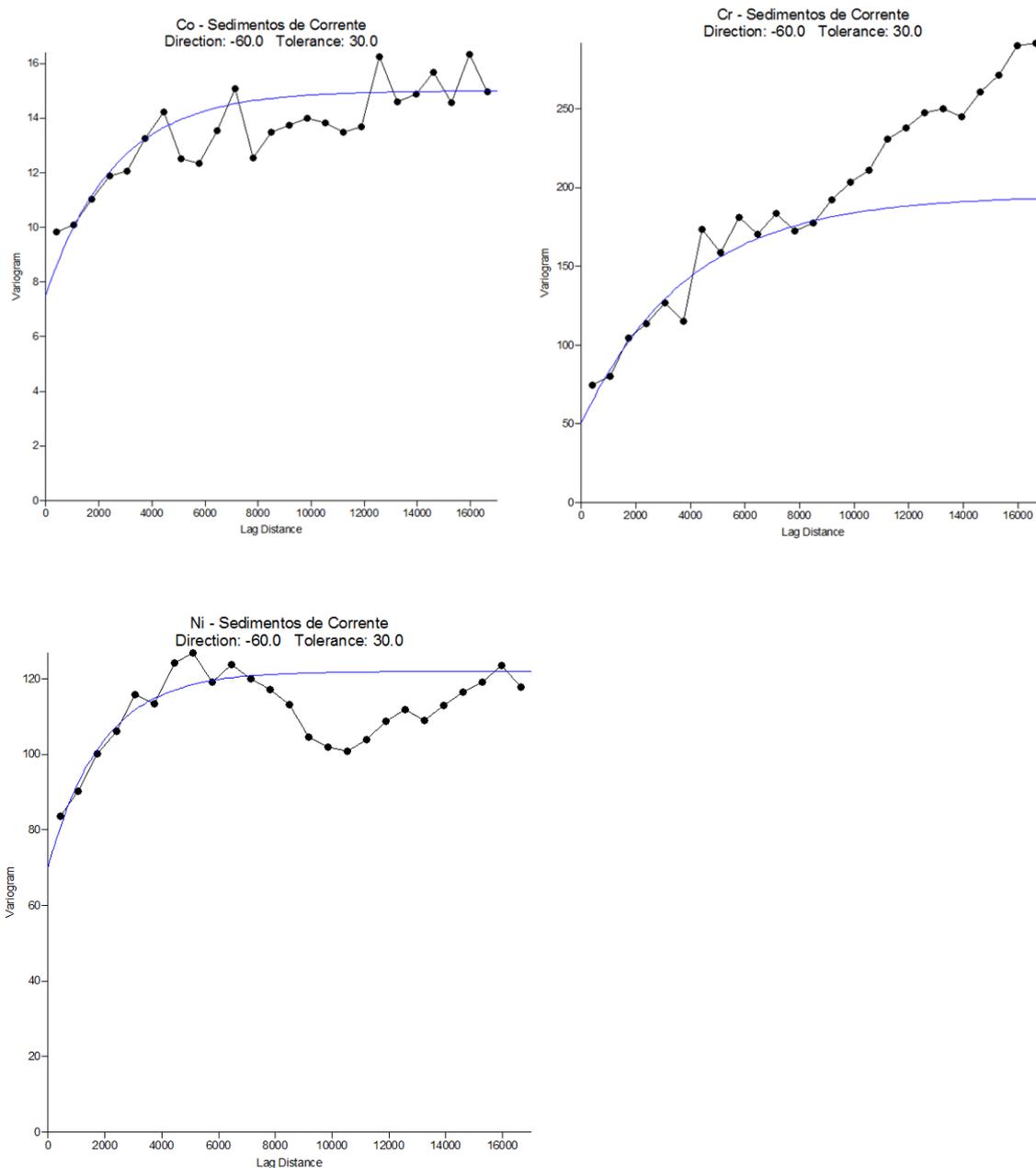


Figura 60 - Variogramas para a distribuição dos valores de concentração em Co, Cr e Ni, respectivamente; o modelo teórico está representado pela curva contínua.

Tabela 24 - Tabela síntese dos parâmetros dos modelos de semivariogramas trabalhados para sedimentos de corrente para o Co, Cr e Ni.

Elementos		Modelo	Patamar	Alcance	Efeito Pepita	Anisotropia	Direção	Direção preferencial
Serra Branca	Co	Exponencial	7.5	3650	7.5	2	335	NW - SE
	Cr	Exponencial	145	5450	50	2	335	NW - SE
	Ni	Exponencial	52	2650	70	2	335	NW - SE

5.2.3) Comportamento Multifractal

Na figura 61 estão ilustrados os espectros $F(\alpha)$ – α resultantes para as distribuições de concentração em Co, Cr e Ni mostrando o seu comportamento multifractal. O espectro multifractal obtido para o Co é o mais típico. O Cr e o Ni apresentam espectros multifractais quase simétricos.

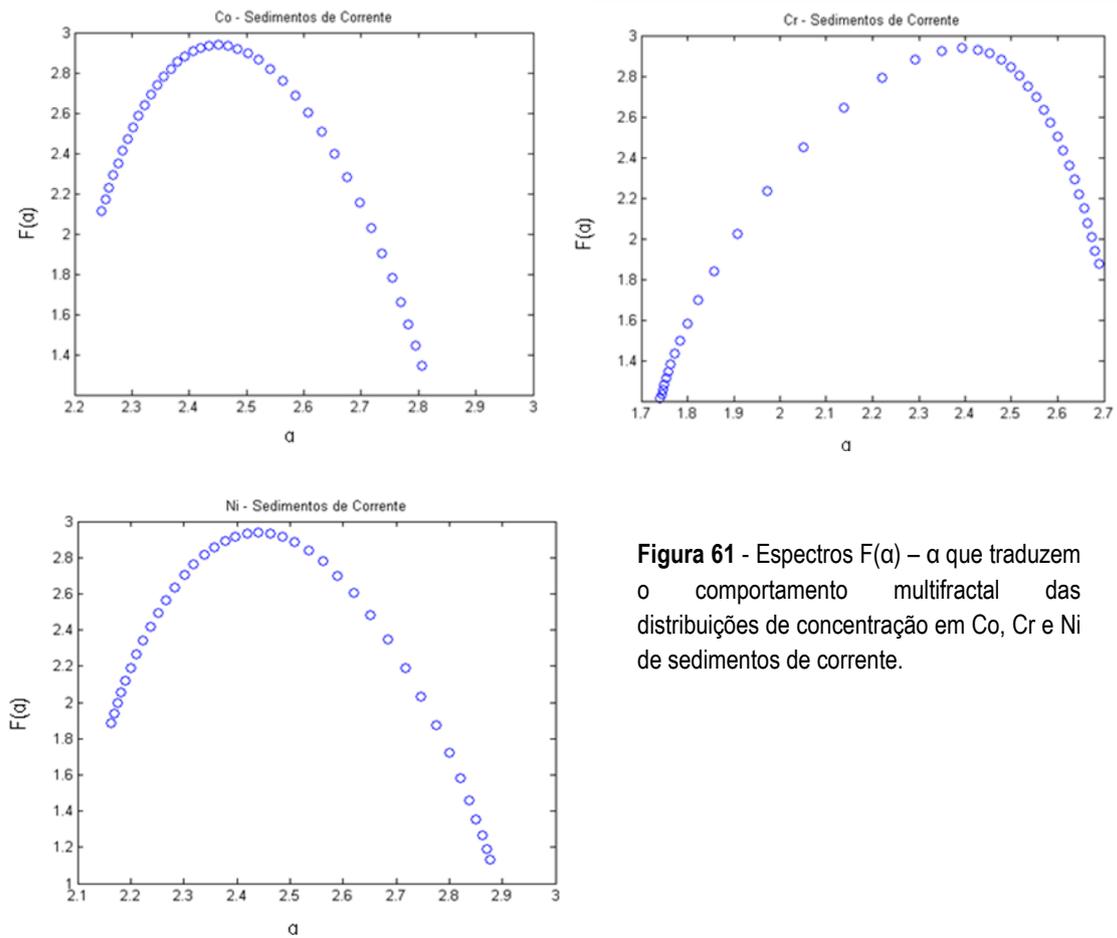


Figura 61 - Espectros $F(\alpha)$ – α que traduzem o comportamento multifractal das distribuições de concentração em Co, Cr e Ni de sedimentos de corrente.

5.2.4) Cálculo dos Valores de Fundo

O gráfico presente na figura 62 exprime a relação $\log A$ vs $\log C$, que permite calcular os valores de fundo regional e local através da quebra de linearidade. Os restantes gráficos encontram-se em anexo.

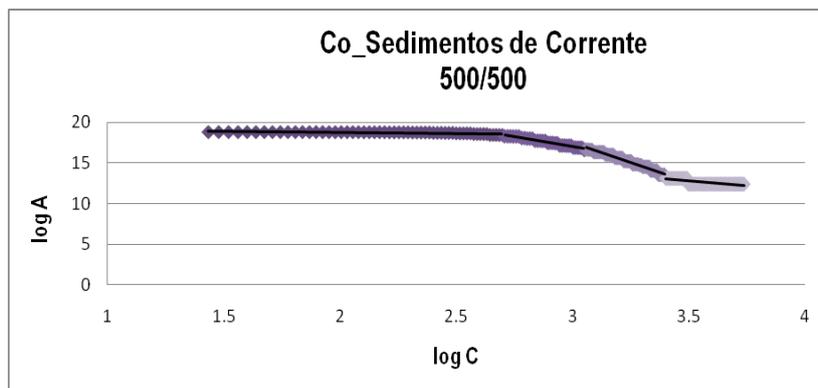


Fig. 62 - Exemplo: Gráfico $\log A$ (área) vs $\log C$ (concentração) do Co, para a janela 500/500, com as rectas de tendência ajustadas aos pontos.

A análise da tabela 25 permite-nos observar que o valor de fundo regional, para os três elementos varia entre 15 e 25 ppm. Os valores de fundo local de 1º ordem apresentam conteúdos inferiores aos metais anteriormente estudados (Cu, Zn e Pb), mas ainda assim, elevados, tendo em conta as inferências sobre a sua origem geológica (sobre as formações metassedimentares do Pulo do Lobo); discutidas posteriormente.

Tabela 25- Fundos regionais e locais de 1º ordem para sedimentos de corrente na área de concessão de Serra Branca para o Co, Cr e Ni.

Sedimentos de Corrente	Área	Fundo Regional (ppm)	Fundo Local (ppm)
Co	Serra Branca	15	21
Cr		22	37
Ni		25	42

5.2.5) Mapa de Anomalias

Os mapas ilustrados nas figuras 63 – 65 expõem os resultados obtidos através do kriging para o Co, Cr e Ni, produzidos em ambiente SURFER®.

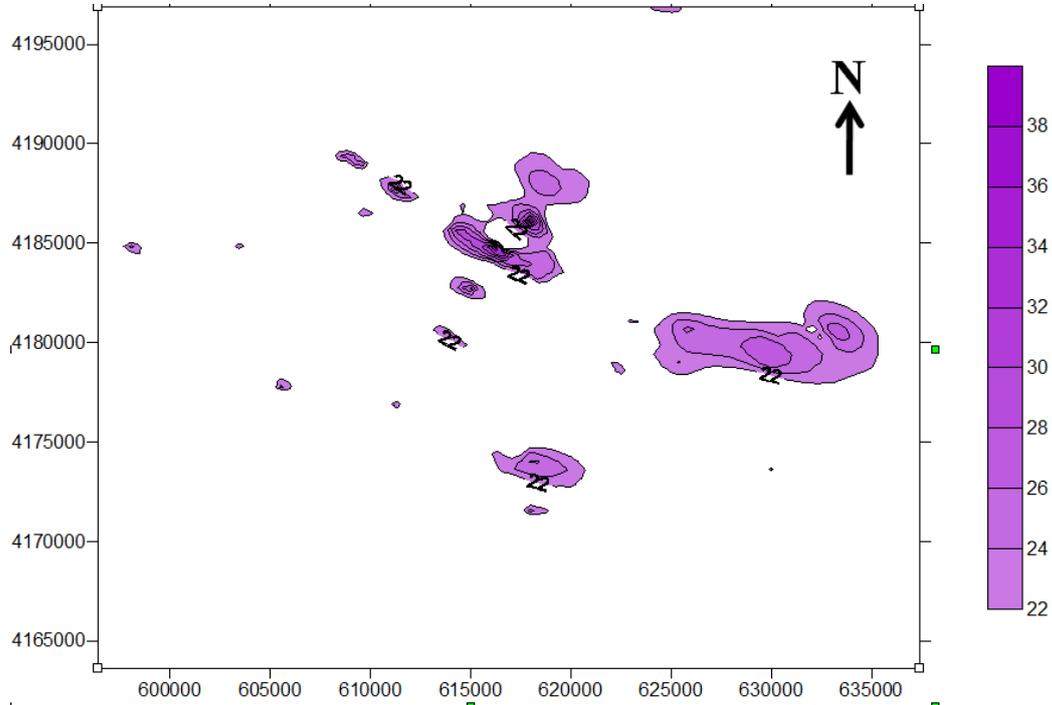


Fig. 63 – Isolinhas de concentração para o Co; escala em ppm e coordenadas: UTM – European Datum 1950 29N

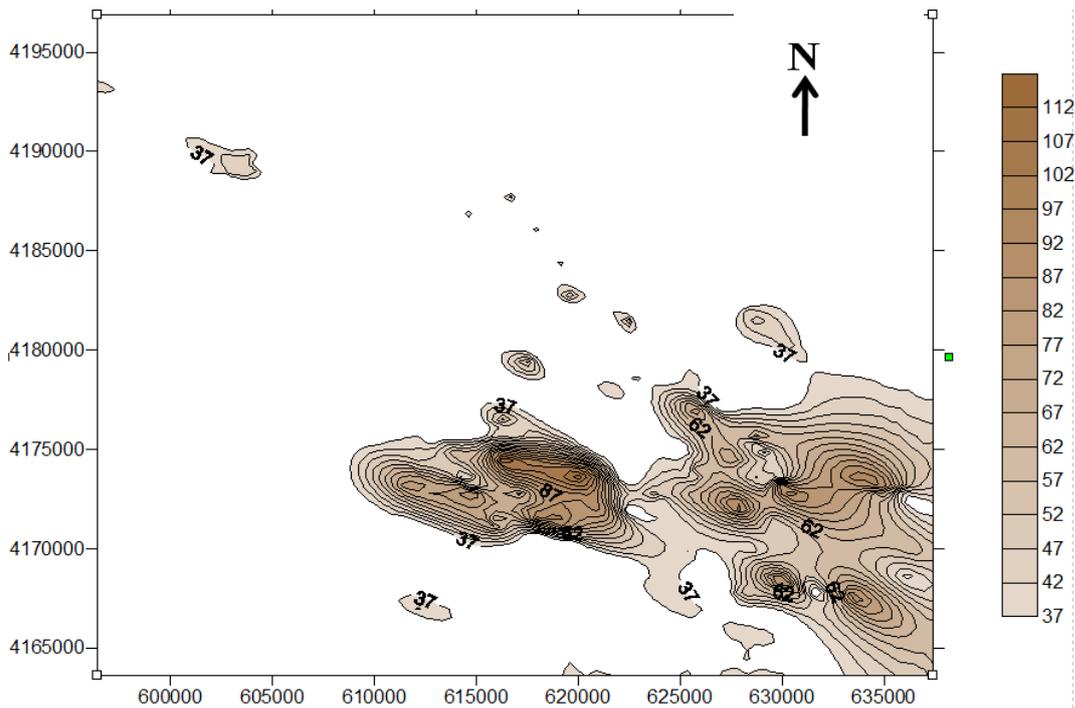


Fig. 64 – Isolinhas de concentração para o Cr; escala em ppm e coordenadas: UTM – European Datum 1950 29N

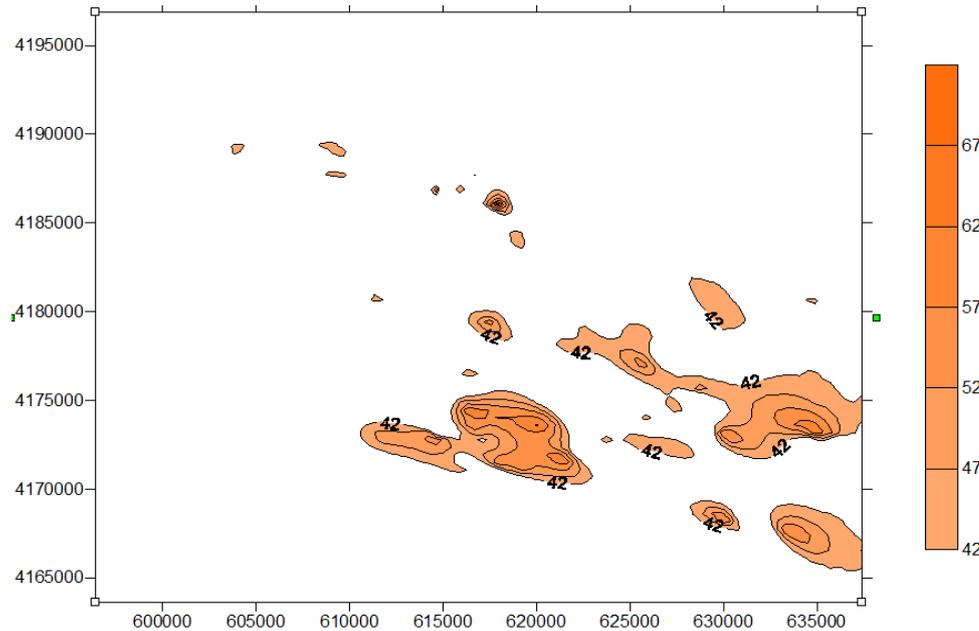
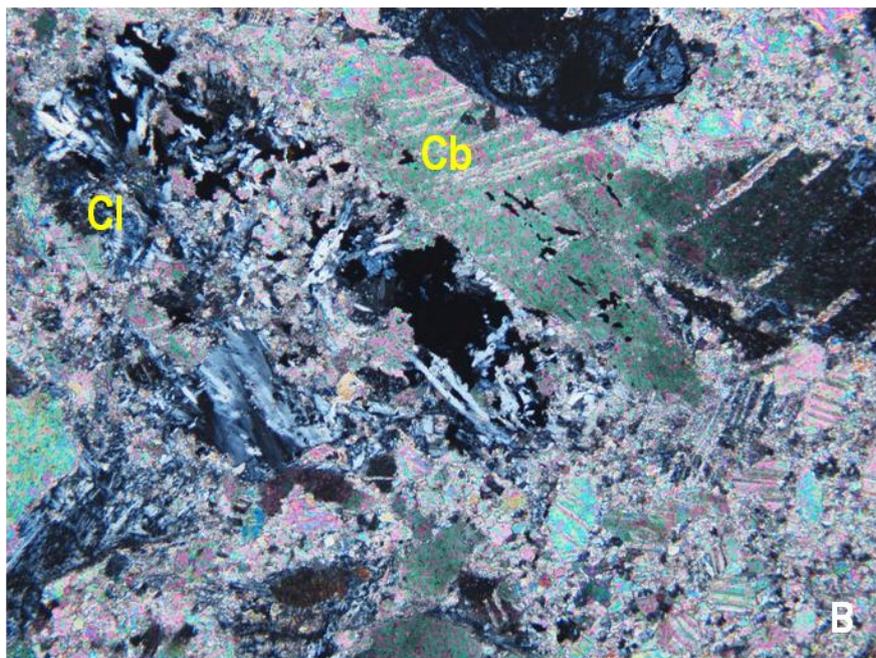


Fig.65 – Isolinhas de concentração para o Ni; escala em ppm e coordenadas: UTM – European datum 1950 29N

Os mapas de isolinhas de concentração patentes nas figuras 62 - 64 obtidos para o Co, Cr e Ni consideram apenas os valores de concentração acima do fundo regional. Para os três metais delimita-se uma mesma anomalia, aproximadamente a E que coincide também com as indicações fornecidas pelas distribuições de concentração em Cu, Zn e Pb. Este domínio anómalo sobrepõe-se a metassedimentos do Terreno Pulo do Lobo. As observações de campo realizadas permitem concluir que tais valores se relacionam com preenchimentos hidrotermais de fracturas diversas; o melhor exemplo foi identificado no local Ponta Vermelha (estampa 6). Aqui, os precipitados carbonatados revelam forte deformação intracristalina e disseminações finas de pirite e pirrotite, ocasionalmente acompanhadas por esfalerite; fracturas intergranulares tardias estão preenchidas por calcopirite e pirite. Para o Co, Cr e Ni observa-se também um halo anómalo com direcção aproximada NNW – SSE / N – S, coincidente com o rio Guadiana, mas sobrepondo-se às formações do Terreno Pulo do Lobo. Não houve oportunidade de validar no terreno esta anomalia, assim fica em aberto a justificação, podendo apenas apresentar algumas sugestões geologicamente válidas; (1) ocorrências de estruturas carbonatadas descritas anteriormente e (2) contribuição de outras formações geológicas não identificadas.

A distribuição espacial anómala em Cr apresenta maior extensão que a dos restantes metais; reflectindo sobretudo rochas metavulcânicas do CVS.



Estampa 5 – Precipitado carbonatado com forte deformação intracristalina e disseminações de pirite e esfalerite; A) Luz reflectida simplesmente polarizada (ampliação 10X); B) Luz transmitida duplamente polarizada (ampliação 10x). Py: pirite; CL: clorite; Cb: carbonatos.

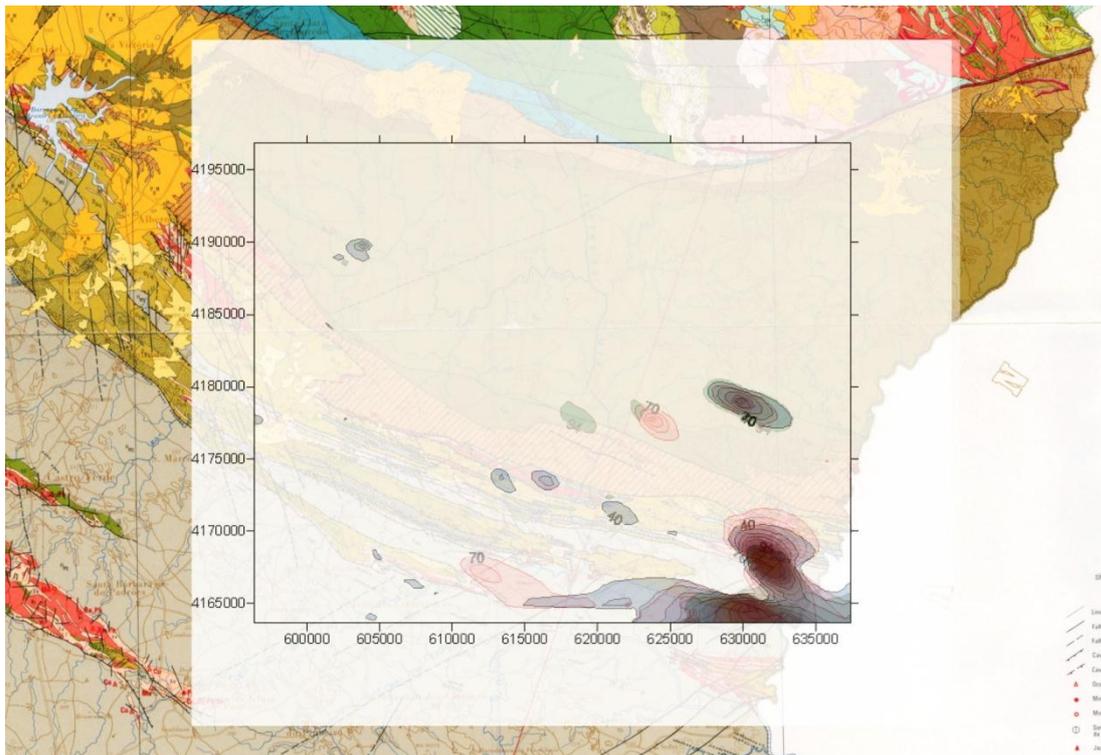


Fig. 66 - Mapa de distribuição de concentração anômala (em sedimentos de corrente) em com a sobreposição de três metais, Cu, Zn e Pb com valores superiores ao fundo local; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

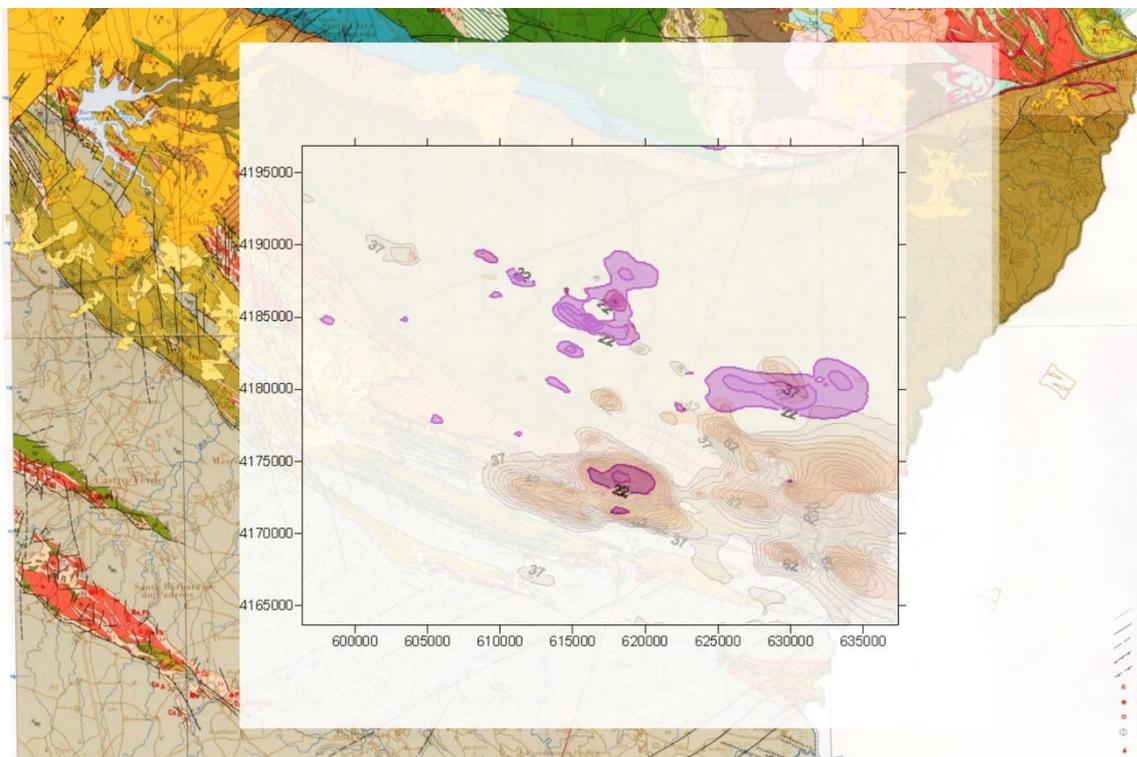


Fig. 67 - Mapa de distribuição de concentração anômala (em sedimentos de corrente) em com a sobreposição de três metais, Co, Cr e Ni com valores superiores ao fundo local; sobreposição com a geologia (mapa geológico, 1:200.000, folha 8, SGP, 1992).

O conjunto de dados sobre distribuições de concentração para elementos maiores, tais como os óxidos elementares (%): SiO₂, MgO, FeO, Na₂O, K₂O e CaO, foram utilizados para tentar compreender as tendências gerais da composição das rochas que constituem a área entre Serra Branca e Mina de S.Domingos. Para efeitos de comparação utilizaram-se valores de análises químicas para rocha total, publicadas em diversos trabalhos (Barriga, 1983; Relvas, 2000).

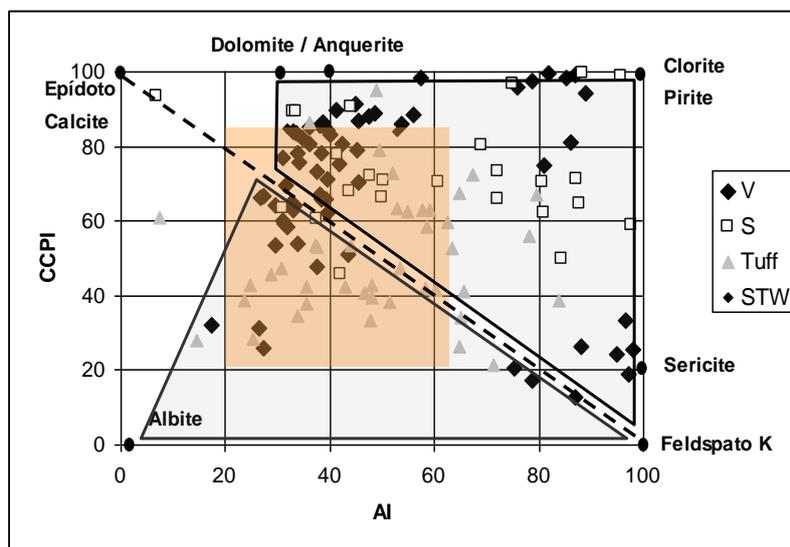


Fig. 68 - Gráfico Al – CCPI para o conjunto total de metavulcanitos, metassedimentos e metatufos e respectivas áreas de alteração correspondentes aos domínios: hidrotermal (zona superior da diagonal) e diagenético e metassomatismo (zona inferior da diagonal) (Feliciano et al , 2008).

Assim a análise do gráfico patente na figura 66 permite retirar as seguintes conclusões, segundo Feliciano et al (2008):

- (1) as rochas vulcânicas apresentam diferentes tendências geoquímicas que traduzem contraste composicional (interacção fluido/rocha). As metavulcânicas félsicas indicam tendência para sericitização forte, alteração potássica moderada e por sua vez, albitização muito fraca. As rochas máficas apresentam tendência para a carbonatização;
- (2) as amostras metavulcânicas indiferenciadas que ocorrem no domínio da clorite e pirite (alteração forte/extrema), sugerem possíveis mineralizações;
- (3) as amostras metavulcanoclásticas mostram tendências não bem delimitadas (alteração diagenética e hidrotermal);
- (4) as amostras metassedimentares não apresentam uma tendência bem definida, no entanto, tendem para o campo da clorite e da sericite.

Assim se pode concluir que apesar da composição original da rocha, esta pode apresentar duas tendências geoquímicas diferentes: diagenético e metassomatismo (zona inferior do gráfico) e hidrotermal (zona superior do gráfico) e muitas vezes dando origem a mineralizações.

A análise dos sedimentos de corrente em estudo para a área entre Serra Branca e Mina de S.Domingos, permitiu projectar num gráfico Al – CCPI, os dados geoquímicos analisados. Na figura 67 representam-se as tendências geoquímicas dos sedimentos de corrente na área em estudo.

A maioria, quase a totalidade, dos sedimentos de corrente analisa dos sedimentos amostrados. A primeira marca alteração clorítica ± sericítica ± pirite, envolvendo rochas metavulcânicas (félsicas e máficas) do CVS; por sua vez e com menor expressão, a segunda tendência é marcada inicialmente por alteração sericítica e posteriormente, intensa alteração clorítica ± sericítica ± pirite em metavulcânicas do CVS. Os valores extremos e muito elevados sugere fontes próximas a massas de sulfuretos maciços, como a Mina de S.Domingos).

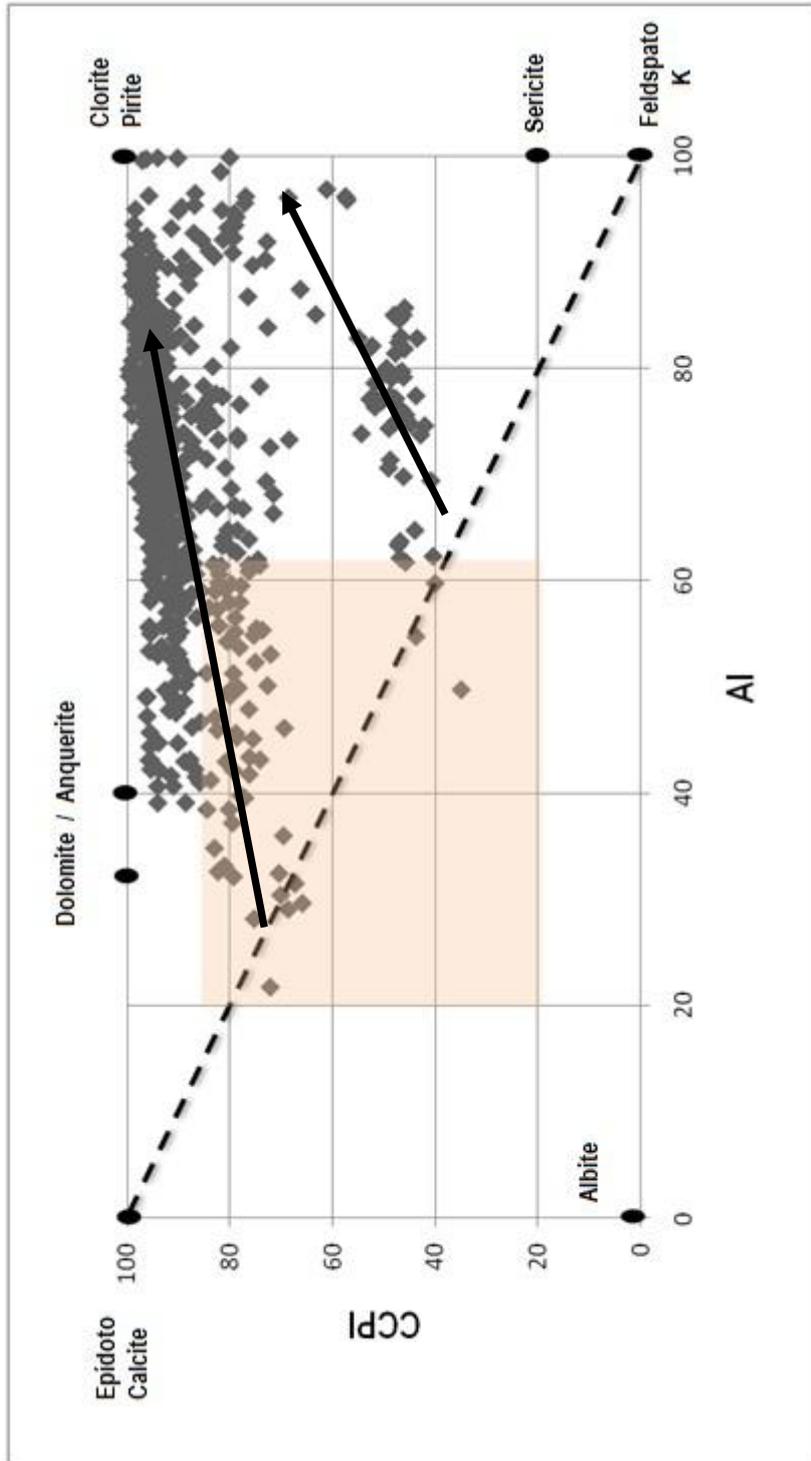


Fig. 69 - Gráfico de alteração (AI) / mineralização (CCPI) para o conjunto de amostras de sedimentos de corrente da área de Serra Branca.

6. Discussão

Atendendo aos objectivos específicos indicados para o trabalho, a discussão dos resultados obtidos (apresentados nos capítulos 4 e 5) será realizada com base em quatro pontos essenciais:

- i.* Significado do fundo regional determinado via caracterização do comportamento multifractal das distribuições de concentração em solos ou sedimentos de corrente e respectiva comparação com os valores médios elementares apresentados pelas diferentes litologias (presente no capítulo 2 e 4);
- ii.* Significado dos fundos locais de concentração e respectivas validações no terreno;
- iii.* Aplicabilidade dos índices AI / CCPI na caracterização dos sedimentos de corrente com o propósito de reconhecer fontes adjacentes a sistemas mineralizados;
- iv.* Utilidade e pertinência da metodologia utilizada em campanhas de prospecção e pesquisa mineral, tendo em conta as condicionantes impostas pela rede de amostragem;

I - Significado do fundo regional determinado via caracterização do comportamento multifractal das distribuições de concentração em solos ou sedimentos de corrente e respectiva comparação com os valores médios elementares apresentados pelas diferentes litologias (presente no capítulo 2 e 4)

Em função dos dados de solos e de litogeoquímica coligidos e obtidos neste trabalho elaborou-se uma tabela comparativa dos valores de concentração médios para os metais estudados.

De acordo com as tabelas 2 - 6 (no capítulo 2) a análise das composições químicas permite verificar que a concentração média dos três metais estudados (Cu, Zn e Pb) é semelhante para as diferentes litologias consideradas. A tabela 26 sintetiza os diferentes conteúdos médios / medianos e os valores de fundo regional obtidos através da caracterização do comportamento multifractal das distribuições de concentração. A análise da tabela permite colocar em evidência algumas diferenças entre os valores obtidos neste trabalho e os reportados na literatura para a litogeoquímica, registando-se menores divergências quando se tomam como referência as composições das rochas metavulcânicas. No caso do Zn e Pb, os desvios são da ordem de ± 3 ppm; para o Cu a diferença cifra-se em 11 ppm em relação às rochas metavulcânicas, aumentando de forma significativa quando comparados com os conteúdos apresentados pelas

restantes litologias (a incerteza envolvida na determinação dos fundos regionais em Cu é, também, superior à que se associa aos fundos em Zn e Pb). Lembra-se que as amostras de solos estudadas neste trabalho se sobrepõem em grande parte ao CVS, pelo que não é de estranhar o facto dos valores de fundo regional serem da mesma ordem de grandeza das rochas metavulcânicas inclusas naquele complexo lito-estratigráfico. Apesar de não tomarem os mesmos valores verifica-se alguma disparidade entre os valores obtidos e as concentrações médias em rochas metassedimentares, em particular segundo Spiro e Tornos (1999), estes valores incluem xistos mineralizados, incrementando assim os conteúdos médios dos metais em metassedimentos.

Não obstante esta similaridade, certo é que a escassez de dados analíticos publicados na literatura e as características da rede de amostragem que os sustentam, colocam sérios obstáculos ao uso dos conteúdos médios em Cu, Zn e Pb como valores representativos das rochas características da FPI. Com efeito, todas as distribuições de concentração são assimétricas e heterogéneas, revelando um comportamento não normal e a possibilidade de existência de domínios anómalos. Algumas das anomalias em causa, considerando os valores de fundo regional como base, apresentam anisotropia bem definida segundo a direcção WNW – ESE, concordante com os principais alinhamentos litológicos-estruturais cartografados neste sector da Zona Sul-Portuguesa; note-se, contudo, que a anisotropia adquire melhor definição quando se consideram os valores de fundo local. Acresce referir que os conteúdos médios em Zn, bem como o fundo regional determinado para este metal, sobressaem relativamente aos do Cu e Pb, com excepção do que acontece na Faixa Serra Branca – Mina de S. Domingos.

Tabela 26 - Comparação dos conteúdos em Cu, Zn e Pb de diferentes fontes bibliográficas com o fundo regional obtido através da metodologia utilizada neste trabalho.

* Spiro e Tornos (1999); **SMRA

	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)
Rochas Metassedimentares*	91	179	88
Rochas Metavulcânicas*	39	47	20
Faixa Serra Branca - Mina de S.Domingos (litologias não especificadas)**	68	30	80
Fundo regional	28	48	23

// - Significado dos fundos locais de concentração e respectivas validações no terreno

De acordo com o que foi explicitado no capítulo 4.4 conclui-se que existem três razões possíveis para a justificação dos diferentes halos anómalos de distribuição de concentração em Cu, Zn e Pb:

- Composição das rochas metavulcânicas;
- Veios de quartzo de exsudação (sin-deformação a pós-pico metamórfico);
- Preenchimento hidrotermal de fracturas ou de zonas de falha (acompanhado por disseminações de sulfuretos).

As anomalias directamente influenciadas pela composição das rochas metavulcânicas são, em geral, mais intensas em termos de valores absolutos de concentração, como é o caso, de Serra Branca, Mina de S.Domingos e Mina de Chança. As rochas metavulcânicas alteradas hidrotermalmente (silicificação e cloritização) no caso particular de Serra Branca, relevando disseminações de calcopirite, specularite e pirite em corredores estruturais, apresentam fundo local elevado de Cu (443 ppm), podendo atingir o valor máximo de 2000 ppm. As sondagens realizadas pela empresa SMRA neste local referem a presença de um stockwork esparsos que se desenvolve em profundidade. As elevadas concentrações (em Cu) e a geometria relativamente regular e consistente das anomalias geoquímicas indicam possíveis alvos para prospecção e pesquisa mineral futura. Nos casos particulares das minas de sulfuretos maciços (São Domingos e Chança) abrangidas pelas redes de amostragem examinadas, sobrepostas essencialmente ao CVS, verifica-se que as anomalias delimitam a geometria (quase coincidente, na Mina de Chança) dos chapéus de ferro que aí se reconhecem, apesar dos conteúdos locais em Cu não serem muito elevados. A partir das observações efectuadas no terreno foi possível identificar a existência de veios de quartzo de exsudação que proliferam em algumas das subáreas em estudo (e.g. Alfarrobeira) o que poderá justificar parte das anomalias de menor amplitude detectadas, uma vez que estes veios contêm finas disseminações de sulfuretos. Note-se que muitas destas anomalias se sobrepõem a formações metassedimentares constituintes do Terreno Pulo do Lobo, pelo que a abundância relativa de quartzo de exsudação (em conjunto com clorite e/ou escassos sulfuretos) deverá reflectir a progradação de diversas reacções de desidratação (para além da compactação) a que foram sujeitos os sedimentos acumulados no prisma acrecionário da ZSP, seguida de sobre-pressurização dos fluidos entretanto gerados. A mesma justificação pode explicar o desenvolvimento dos precipitados hidrotermais em fracturas seguidamente abordados.

O preenchimento de fracturas sin- a pós-deformação, certamente na sua maioria após o pico metamórfico, gera estruturas com diferentes dimensões volumétricas (filonetes, veios, filões) que se distribuem no seio de metassedimentos, em diferentes formações constituintes do Terreno Pulo do Lobo; globalmente estas estruturas filonianas apresentam, direcções W–E a NW–SE, concordantes aos principais alinhamentos litológico-estruturais. Os preenchimentos hidrotermais observados nestas fracturas são de natureza quartzosa ou carbonatada. Os preenchimentos quartzosos são frequentemente acompanhados por disseminações de sulfuretos como calcopirite, pirite, arsenopirite entre outros. As observações de terreno permitem discriminar duas associações mineralógicas diferentes, que se revelam importantes como possíveis guias de prospecção e pesquisa mineral: (1) quartzo + clorite \pm sulfuretos e (2) quartzo + albite; os preenchimentos quartzosos apresentam muitas vezes “boxworks”. Os precipitados carbonatados, descritos pela primeira vez neste estudo, evidenciam forte deformação intracristalina e finas disseminações de pirite e pirrotite, por vezes acompanhadas por esfalerite; nas fracturas intergranulares tardias ocorrem clorite e pirite; o caso mais interessante foi colocado em evidência por anomalias resultantes da análise dos sedimentos de corrente, junto ao vértice geodésico de Ponta Vermelha, no seio da formação do Terreno Pulo do Lobo. Estes precipitados encontram-se associados a tributários de 2º e 3º ordem, na bacia hidrográfica do Guadiana, reflectindo distribuições anómalas de concentração de carácter local.

A actividade hidrotermal associada à génese/propagação dos desligamentos tardi-orogénicos é também responsável pelo desenvolvimento de diversos precipitados hidrotermais, geralmente siliciosos e contendo quantidades acessórias de sulfuretos disseminados. Não é pois ocasional a identificação de valores relativamente anómalos sobrepostos a alguns segmentos destas zonas de falha. A configuração geométrica destas anomalias, assim como os valores de fundo local que permitem a sua delimitação, são, contudo, distintos dos que caracterizam os halos directamente influenciados pelos preenchimentos hidrotermais anteriormente referidos.

III - Aplicabilidade dos índices AI / CCPI na caracterização dos sedimentos de corrente com o propósito de reconhecer fontes adjacentes a sistemas mineralizados

Trabalhos anteriores (*e.g.* Feliciano et al., 2008) mostram que as anomalias obtidas para o Cu, Zn e Pb com base em sedimentos de corrente são apenas discriminativas a nível regional. O trabalho presente corrobora esta conclusão, revelando que os halos anómalos principais para os três metais, colocados em evidência pela caracterização dos sedimentos de corrente, se sobrepõem, em geral, às rochas do CVS. Não obstante este resultado os valores de fundo local

em Cu, Zn e Pb delimitam a área de influência da Mina de São Domingos; para o Co, Cr e Ni a metodologia utilizada conduz a outras anomalias, algumas das quais de carácter local. Uma anomalia situada a E (vértice geodésico de Ponta Vermelha) do mapa das distribuições de concentração, bem delimitada e coincidente para a maioria dos metais, reflecte a ocorrência de precipitados carbonatados contendo sulfuretos disseminados (tal como explicitado anteriormente). Os restantes domínios anómalos em Co, Cr e Ni transcrevem, na sua essência, a abundância relativa de rochas metavulcânicas.

Os índices AI e CCPI procuram caracterizar a intensidade de alteração (metassomatismo regional ou alteração hidrotermal) das rochas fonte dos sedimentos de corrente. Ao contrário da geoquímica de solos, a interpretação dos resultados deve ser realizada com especial cuidado mercê do desenraizamento das anomalias em relação às fontes do sedimento (como resultado do transporte fluvial, mais ou menos extenso). Conforme referido no capítulo 3, a utilização destes índices tem como base as relações estabelecidas entre as concentrações de óxidos elementares maiores de acordo com as especificações indicadas em Large et al. (2001). Os resultados obtidos permitem concluir que grande parte dos sedimentos de corrente denuncia a existência de fontes que registam tendências fortes a muito fortes de alteração hidrotermal (zona superior do gráfico AI vs CCPI). A primeira tendência denuncia a contribuição de fontes com alteração clorítica ± sericítica ± pirite [eventualmente rochas metavulcânicas (félsicas e máficas) do CVS]; a segunda tendência, com menor expressão, reflecte a influência de fontes (metavulcânicas e metassedimentares?) inicialmente marcadas por sericitização incipiente, seguida de alteração clorítica ± sericítica ± pirite; algumas composições extremas, dominadas por clorite e pirite, complementam o registo obtido. A existência de valores extremos e muito elevados sugere fontes próximas a massas de sulfuretos maciços (ex. Mina de São Domingos); ou seja domínios rochosos adjacentes a minério, afectados por alteração hidrotermal muito intensa. Os sedimentos de corrente amostrados não revelam tendências composicionais atribuíveis a transformações mineralógicas de filiação diagenética ou metassomática (oceânica).

Os resultados obtidos neste trabalho para os sedimentos de corrente são muito promissores no que diz respeito à utilização da metodologia ensaiada em prospecção e pesquisa mineral, corroborando os resultados obtidos através da geoquímica de solos. Este facto comprova a eficácia da metodologia usada e permite extrapolações semelhantes para áreas desconhecidas.

IV - Utilidade e pertinência da metodologia utilizada em campanhas de prospecção e pesquisa mineral, tendo em conta as condicionantes impostas pela rede de amostragem.

Apesar de já terem sido discutidos os quatro pontos essenciais deste trabalho, outros aspectos reconhecidos durante a elaboração do mesmo requerem alguns comentários.

As observações de campo permitiram reconhecer que as campanhas de amostragem de solos foram efectuadas em solos pouco desenvolvidos, reflectindo directamente a influência do substrato rochoso. O facto de o rególito ser incipiente e a actividade biológica bastante limitada, restringiu significativamente a intervenção de processos bioquímicos e biofísicos na interpretação na mobilidade relativa dos diferentes metais.

As sucessivas remobilizações hidrotermais processadas de forma heterogénea durante a propagação/reactivação de desligamentos tardios com direcção geral N-S contribuem para o reforço local do sinal geoquímico sobre as seqüências metavulcânicas e metassedimentares, sugerindo ainda a possibilidade do GFQ se constituir como fonte de metais, originando assim anomalias bem definidas.

Outra observação relevante consiste na inexistência de sobreposição entre as anomalias definidas para o Cu, Pb e Zn; isto é, os halos anómalos em Cu normalmente não coincidem com os demarcados para o Zn e Pb (estes dois últimos frequentemente coincidentes no espaço). Por exemplo, na subárea de Chança, a anomalia de Cu situa-se no chapéu de ferro da antiga exploração mineira e os halos anómalos em Zn e Pb situam-se no extremo oposto da subárea considerada. Outro exemplo claro pode ser observado na subárea de Alvares onde as anomalias em Zn e Pb (parcialmente coincidentes) se discriminam da de Cu. A ausência de sobreposição das anomalias para os metais considerados poderá ter grande importância na interpretação e definição de guias de prospecção geoquímica, possibilitando a detecção de mineralizações distintas ou de zónas composicionais dos mesmos sistemas mineralizantes decorrentes do comportamento diferencial destes metais (impondo, assim, gradientes composicionais de natureza local).

O sucesso da aplicação da metodologia utilizada depende do cumprimento de uma série de aspectos, entre os quais o planeamento das campanhas de amostragem (constrangendo os parâmetros espaciais da rede de amostragem) e tratamento estatístico subsequente. O primeiro factor afigura-se determinante dado que a rede/regularidade da amostragem condiciona o tratamento, análise e posterior caracterização dos domínios anómalos. A utilização de uma rede de amostragem regular com malha apertada (i.e. com espaçamento mais curto) permite uma

caracterização mais fidedigna e próxima da realidade. Em geral, as campanhas realizadas pelo SFM, utilizando redes de amostragem regulares demonstram resultados mais coerentes com a realidade geológica.

7. Conclusão

Os principais objectivos deste trabalho foram cumpridos. Após toda a análise de dados e discussão dos mesmos, conclui-se que a metodologia adoptada ao longo deste trabalho é de utilização fidedigna, bem como bastante útil, desde que sejam salvaguardados alguns requisitos, poderá ser utilizada em trabalhos de prospecção e pesquisa de mineralizações sulfuretadas.

Os valores de fundo regional obtidos, para solos, através desta metodologia são semelhantes aos que se encontram nas referências bibliográficas consultadas. Relativamente à análise dos solos foi possível distinguir três justificações possíveis para os halos anómalos das distribuições de concentração em Cu, Zn e Pb. A composição das rochas metavulcânicas (CVS), os veios de quartzo de exsudação (sin-deformação a pós pico metamórfico) e o preenchimento de fracturas ou zonas de falha foram as três justificações possíveis, encontradas (através de observações no terreno) para explicar os domínios anómalos.

Quanto aos sedimentos de corrente, ao contrário de outros trabalhos, o presente trabalho demonstra a validade da caracterização de domínios anómalos de carácter local. Trabalhos como o de Feliciano (2008) e outros demonstram que a utilização dos sedimentos de corrente são discriminativos apenas quando tomado em conta o carácter regional. Este facto poderá estar relacionado com a rede de drenagem e a colheita das amostras. A aplicação dos índices AI/CCPI verificou-se útil na identificação e caracterização das possíveis fontes sedimentares; os resultados obtidos corroboram a composição geológica das rochas aflorantes na região. Assim, e como já foi referido, a utilização de dados de sedimentos de corrente em conjunto com os dados de solos, no que diz respeito à metodologia testada, revela-se muito promissor em campanhas de prospecção e pesquisa mineral.

A realização deste trabalho permitiu ainda retirar algumas conclusões interessantes a nível deste sector da FPI e outros que se podem revelar muito importantes em projectos de prospecção e pesquisa mineral futuros.

Ao nível deste sector da FPI, a propagação/reactivação de muitos desligamentos tardios N-S promove sucessivas remobilizações hidrotermais (que ocorrem de forma heterogenea) reforçam o sinal geoquímico local sobre a sequência metavulcânica sugerindo a possibilidade do GFQ como fonte de metais.

Relativamente a conclusões que possam ser úteis no futuro, destacam-se as relatadas. Na sequência geológica estudada verificou-se a inexistência de sobreposição de anomalias definidas para o Cu, Zn e Pb, isto é, os halos anómalos em Cu não coincidem com os delimitados para o Zn e Pb (que frequentemente coincidem no espaço). Este aspecto toma uma

grande relevância na interpretação e definição de guias de prospecção. Assim, possibilita a existência de mineralizações diferentes ou de zonas composicionais dos mesmos sistemas mineralizantes (gradientes composicionais de natureza local).

Outro aspecto a ter em conta, no planeamento de campanhas de prospecção geoquímica é a rede e regularidade da rede de amostragem. Demonstrou-se que uma rede regular e com espaçamentos mais curtos possibilita uma avaliação mais fidedigna dos halos anómalos, delimitados posteriormente.

A realização deste trabalho permite sugerir a utilização deste tipo de abordagem, bem como a utilização regular de dados de prospecção geoquímica como uma ferramenta muito útil em prospecção e pesquisa. A multidisciplinariedade em campanhas de prospecção e pesquisa mineral incrementa a potencialidade das mesmas. Além disso, este tipo de mapas poderá ser útil na construção de mapas de vulnerabilidade geoquímica, utilizados muitas vezes em municípios em políticas de ordenamento do território.

Referências

- Alvarenga, P.; Matos, J.X.; Fernandes, R.M. (2002) – Avaliação do impacto das minas de Chança e Vuelta Falsa (Faixa Piritosa Ibérica) nas águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Chança. Actas do Congresso Internacional Sobre Património Geológico e Mineiro, IGM/SEDPGYM, Beja, Portugal, pp. 611-620.
- Carvalho, D. (1979) – Geologia, metalogenia e metodologia da investigação de sulfuretos polimetálicos do Sul de Portugal, Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, t.65, pp 169 – 191.
- Cheng, Q.; Agterberg, F.P.; Ballantyne, S.B. (1994) – The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 51: 109-130.
- Cheng, Q.; Agterberg, F.P.; Bonham-Carter, G.F. (1996) – A spatial analysis method for geochemical anomaly separation, *Journal of Geochemical Exploration*, 56, pp. 183 – 195.
- Davis, J. (1986) - *Statistics and Data Analysis in Geology*, by Kansas Geological Survey, published by John Wiley & Sons, Inc.
- Feliciano, R.; Mateus, A.; Matos, J. X. - Distribuições espaciais de concentrações em Cu, ZN, Pb e Co apresentadas por sedimentos de corrente na Zona Sul Portuguesa : implicações para a prospecção mineral. In: V Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, Vila Real, UTAD, 16-18 Outubro 2008, p. 23-32.
- Fernandes, P.; Jorge, R.C.G.S.; Oliveira, J.T.; Pereira, Z.; Rodrigues, B. (2010) – Análise de proveniência dos sedimentos siliciclásticos do Grupo Flysh do Baixo Alentejo, Zona Sul Portuguesa, VIII CN Geologia, Braga.
- Fonseca, P.E. (2005) – O terreno do Pulo do Lobo: implicações geodinâmicas da sutura com a Zona de Ossa – Morena (SW da Cadeia Varisca Ibérica, Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña, Vol. 30, pp. 213 – 222.
- Gonçalves, M. (2001) – Characterization of Geochemical Distributions Using Multifractal Models, *Mathematical Geology*, Vol.33, No 1.
- Jesus, A.P.; Mateus, A.; Gonçalves, M.A.; Oliveira, V. (2003) – Cu anomaly separation by multifractal modelling of soil geochemistry data from Ferreira do Alentejo, Serpa (Alentejo, Portugal) In: IV Congresso Ibérico de Geoquímica, Coimbra (Portugal):205-207.
- Large, R.R., Gemmel, J.B., Paulick, H. (2001) – The Alteration Box -Plot: A simple Approach to Understanding the Relationship between Alteration Mineralogy and Litogeochemistry Associated with Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits – *Economic Geology*, Vol.96, pp. 957 – 971.
- Matos, J.X. & Martins, L.P. (2006) – Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: estado da arte e perspectivas futuras. *Boletim Geológico y Minero*, 117(2): 283-304.

Matos, J.X.; Pereira, Z.; Oliveira, V.; Oliveira, J.T. (2006) – The geological setting of the São Domingos pyrite orebody, Iberian Pyrite Belt, VII Congresso Nacional de Geologia, Évora.

Munhá, J.M.U. (1976) – Nota preliminar sobre o metamorfismo na faixa piritosa portuguesa, Comunicações dos Serviços Geológicos Portugueses, t 60, pp 151 – 161.

Munhá, J.M.U. (1983b) – Low grade regional metamorphism in Iberian Pyrite Belt, Comunicações dos Serviços Geológicos, Portugal. 69:3-35.

Oliveira J.T.; Relvas J.M.R.S.; Pereira, Z.; Matos, J.X.; Rosa, C.; Rosa, D.; Munhá, J.; Jorge, R.; Pinto, A. (2006). O Complexo Vulcano-Sedimentar da Faixa Piritosa: estratigrafia, vulcanismo, mineralizações associadas e evolução tectonoestratigráfica no contexto da Zona Sul-Portuguesa, in Dias R, Araújo A, Terrinha P, e Kulberg JC (eds.), Geologia de Portugal no contexto da Ibéria, Universidade de Évora, Portugal: 207-244.

Oliveira, J. (1990) – Metamorphic Evolution of the South Portuguese/Pulo do Lobo Zone. In: Dallmeyer R.D., Martinez Garcia E., (Eds.), Pre-Mesozoic Geology of Iberia, 363-368.

Oliveira, J. (1990) – Stratigraphy and syn-sedimentary tectonism in the South Portuguese Zone. In: Dallmeyer R.D., Martinez Garcia E., (Eds.), Pre-Mesozoic Geology of Iberia, 334-347.

Oliveira, J. T. (1992) – Notícia Explicativa da Folha 8 da Carta Geológica de Portugal (1:200.000), Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Oliveira, J.T. & Matos, J.X. (2004) – O caminho de ferro da Mina de S.Domingos ao Pomarão: um percurso geo-educacional na Faixa Piritosa Ibérica. XXIV Encontro de Prof. De Geociências da Assoc. Portuguesa de Géologos, Beja, 19pp. – PARTE A e B.

Oliveira, J.T.; Pereira, Z.; Rosa, C.; Rosa, D.; Matos, J.X. (2005) – Recent advances in the study of the stratigraphy and the magmatism of the Iberian Pyrite Belt, Portugal, Journal of the Virtual Explorer, Vol. 19, paper 9.

Oliveira, T., Silva, J. (2007) - Notícia explicativa da Folha 46-D, Mértola. Departamento de Geologia. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, p 46.

Pereira, Z.; Matos, J.X.; Fernandes, P. & Oliveira, J.T. (2007) – Devonian and Carboniferous palynostratigraphy of the South Portuguese Zone, Portugal – An overview. Comunicações Geológicas, t.94, pp 53 – 79.

Pereira, Z.; Matos, J.X.; Fernandes, P. & Oliveira, J.T. (2008) – Palynostratigraphy and systematic palynology of the Devonian and Carboniferous successions of the South Portuguese Zone, Portugal. Memórias Geológicas, Vol.34

Rock, N.M.S. (1988) – Numerical Geology, Lecture Notes in Earth Sciences, Springer-Verlag (eds) Vol. 18, pp. 263-274.

Rosa, C. (2007) - Facies Architecture of the Volcanic Sedimentary Complex of the Iberian Pyrite Belt, Portugal and Spain, Australia, University of Tasmania - CODES, PhD Thesis.

Rosa, D.; Inverno, C.M.C.; Oliveira, J.T.; Rosa, C. (2004) – Geochemistry of Volcanic Rocks, Alvernoa Area, Iberian Pyrite Belt, Portugal, *International Geology Review*, Vol. 46, pp. 366 – 383.

Rosa, D.; Inverno, C.M.C.; Oliveira, J.T.; Rosa, C. (2006) – Geochemistry and geothermometry of volcanic rocks from Serra Branca, Iberian Pyrite Belt, Portugal, *International Association for Gondwana Research*, 10, pp. 328 – 339.

Silva, J.B.; Oliveira, J.T.; Ribeiro, A. (1990) – Structural Outline. In: Dallmeyer R.D., Martinez Garcia E., (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, 348-362.

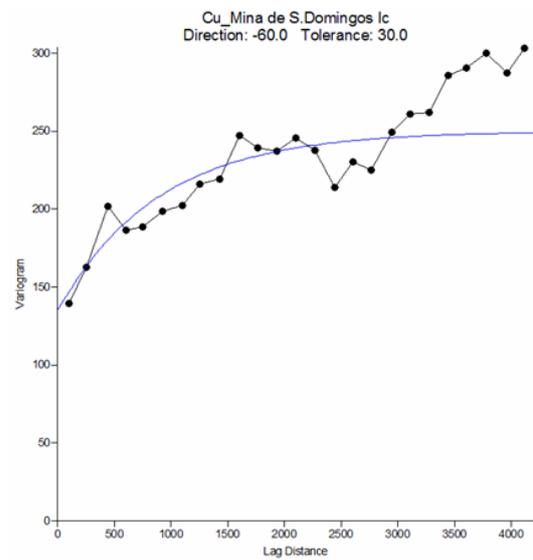
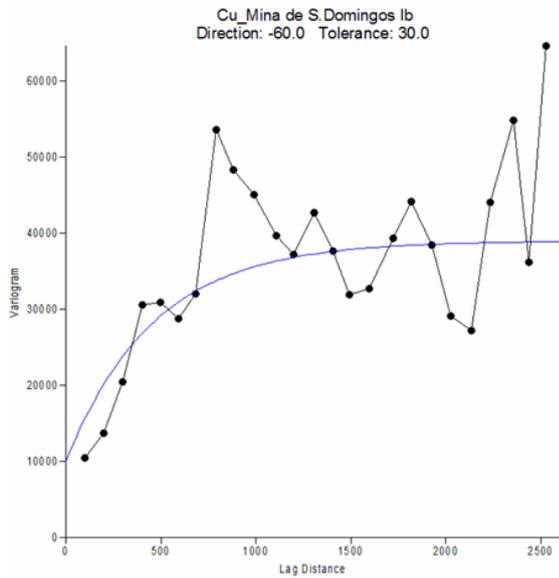
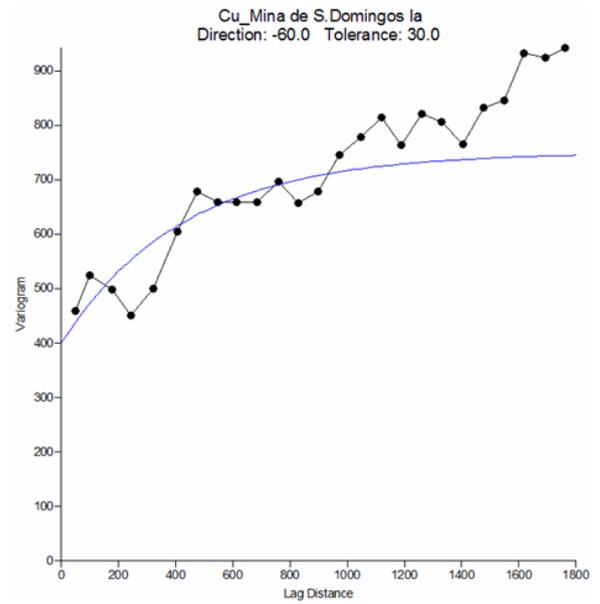
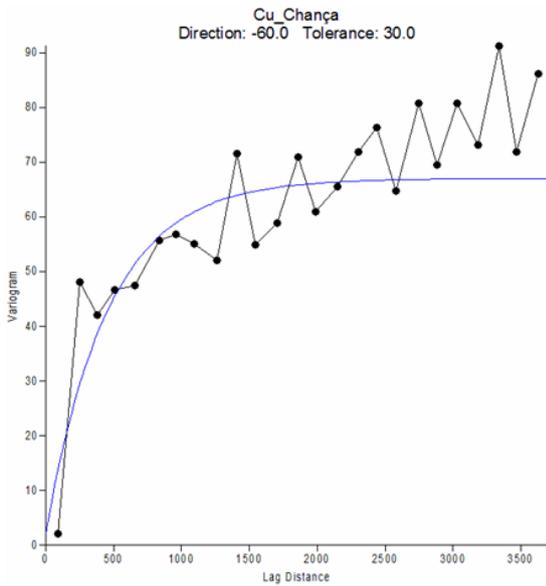
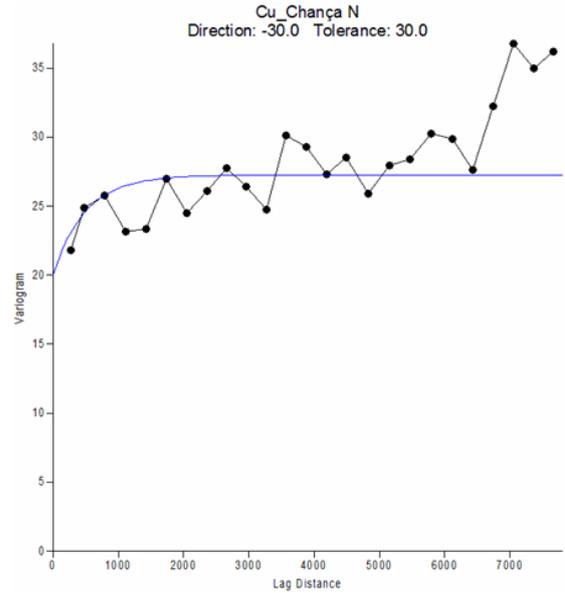
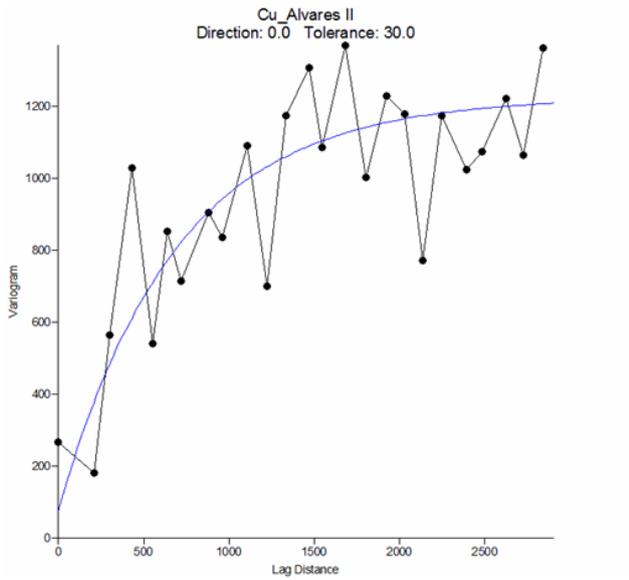
Tornos, F. & Spiro, B. (1999) – The genesis of shale-hosted massive sulphides in the IPB (Eds), *Mineral Deposits: Processes to Processing*, Balkema, Rotterdam, pp. 605 – 608.

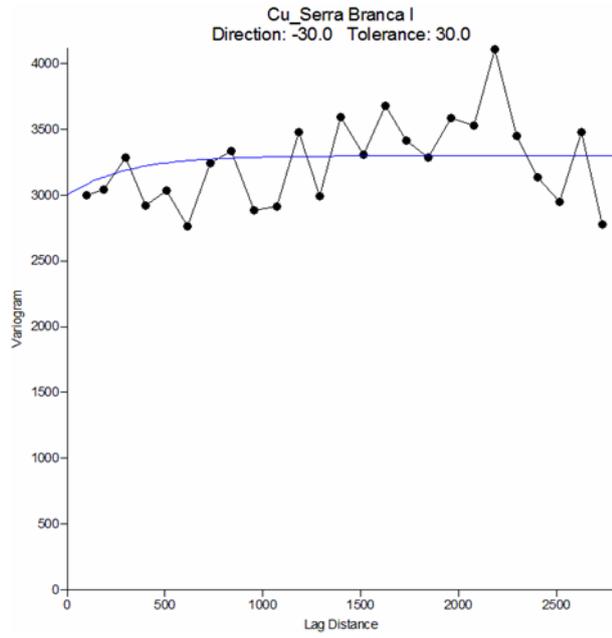
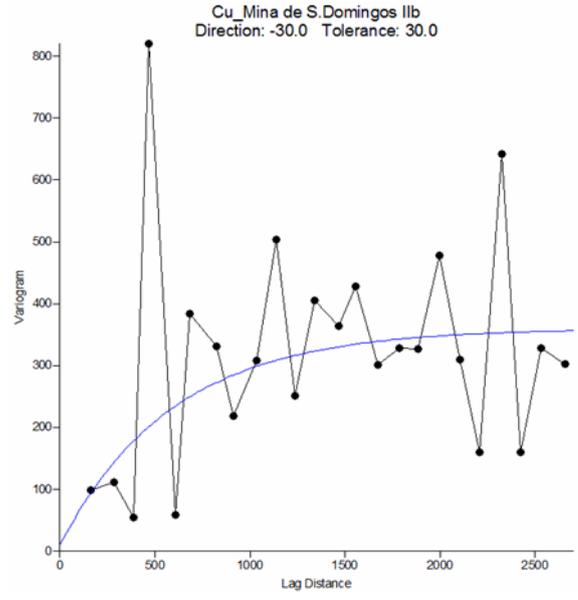
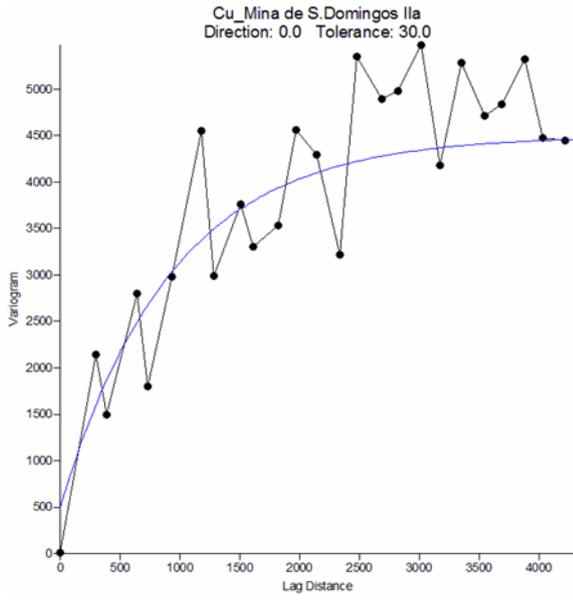
Créditos das fotografias: João X. Matos e Filipa Luz

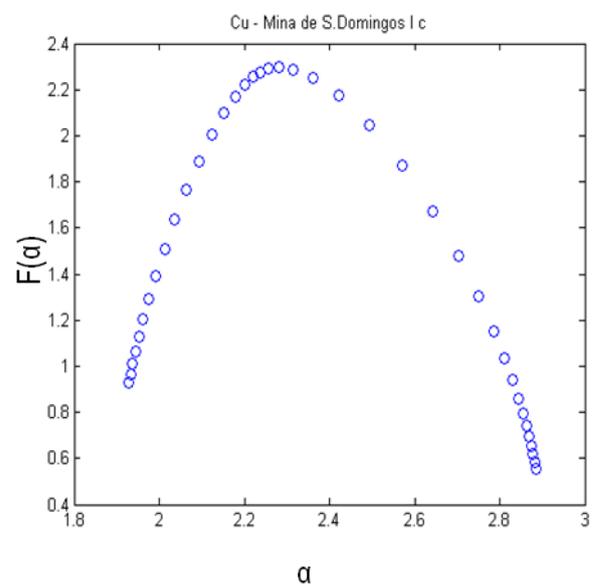
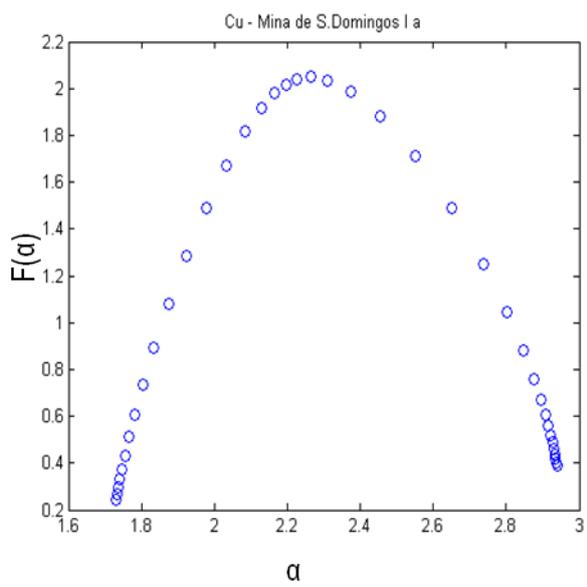
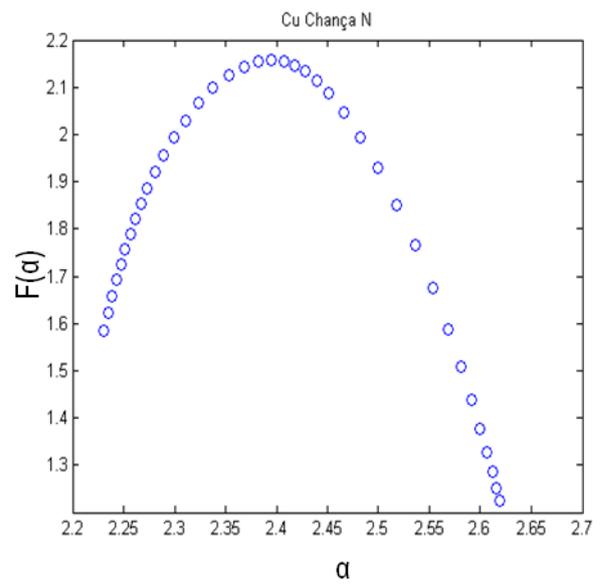
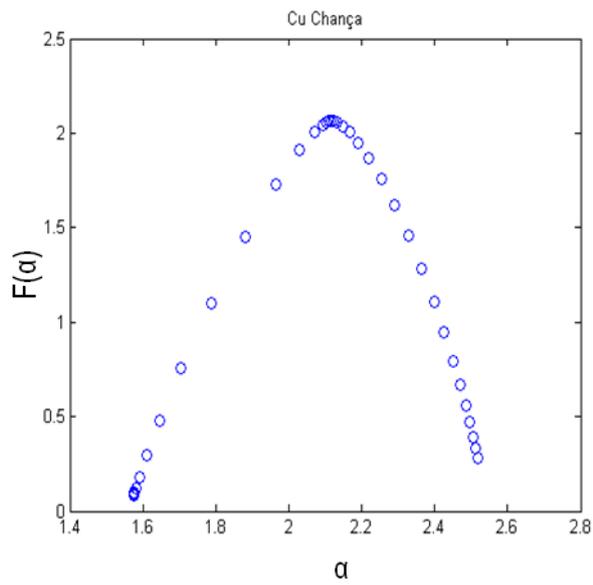
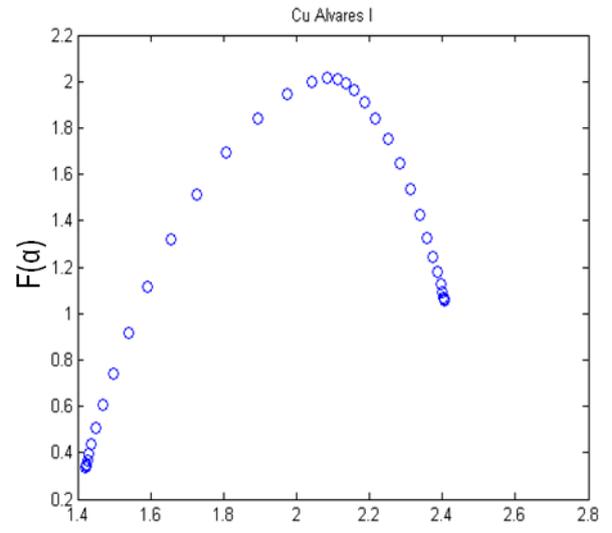
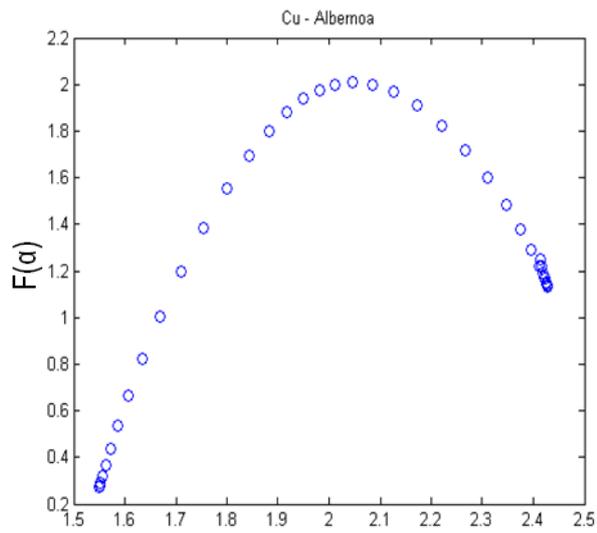
Anexos

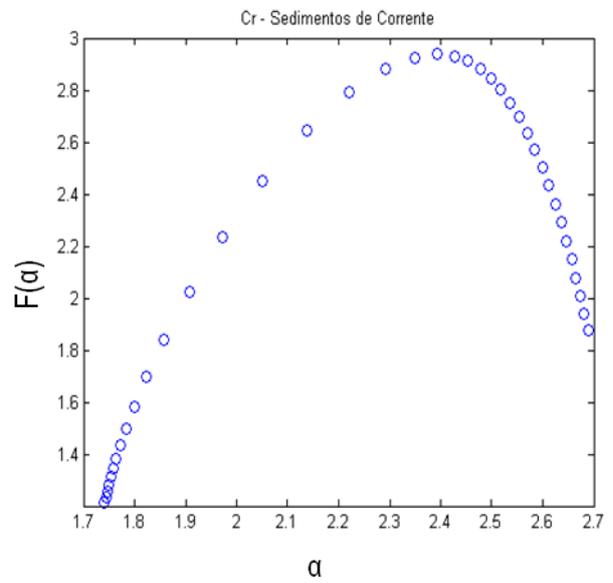
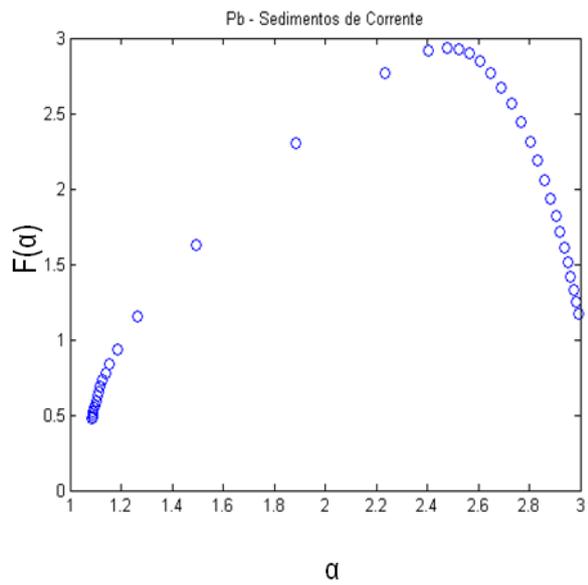
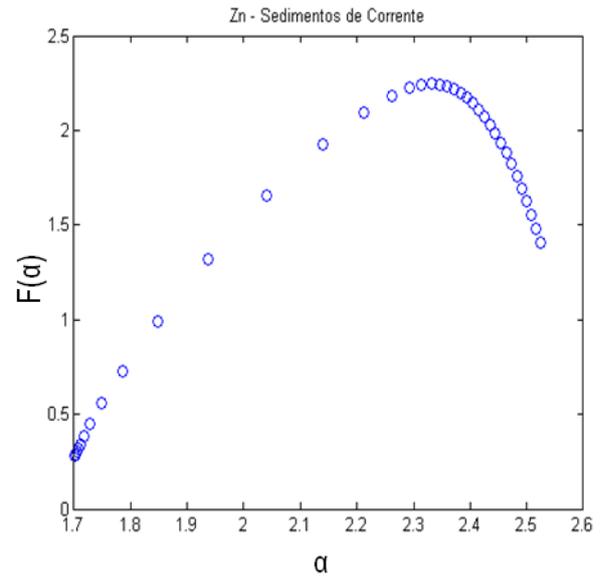
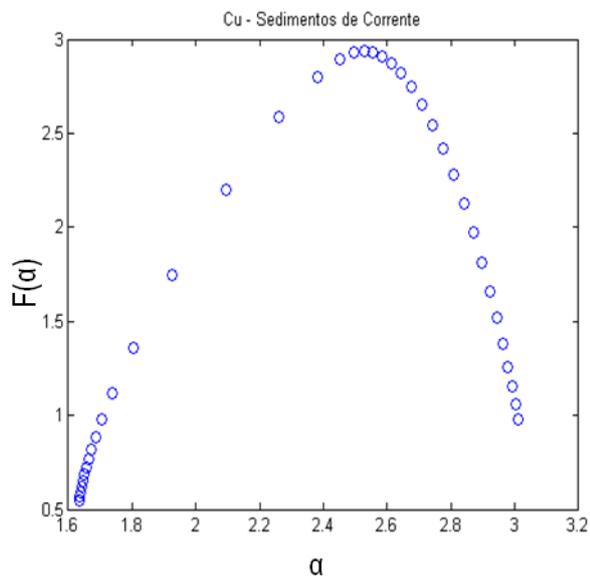
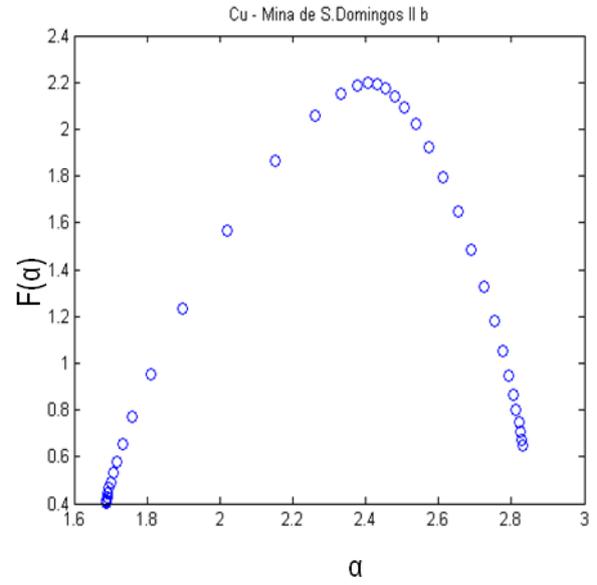
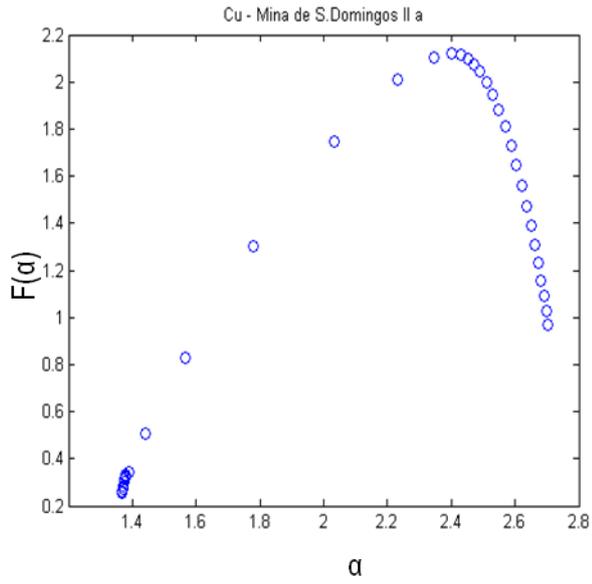
Anexos

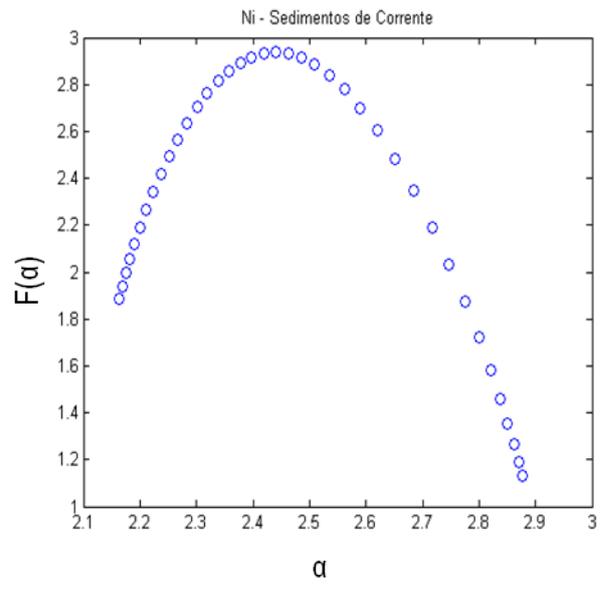
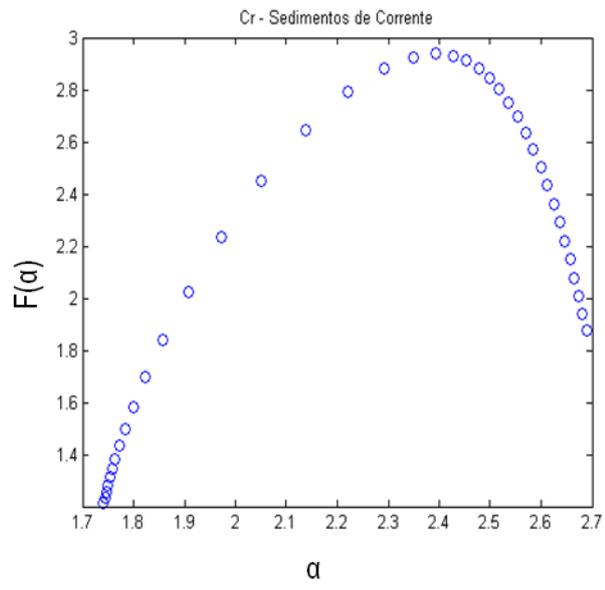
1. **Informações relativas ao cobre (Cu)**
 - 1.1) Cu - Semivariogramas
 - 1.2) Cu - Espectros Multifractais
 - 1.3) Cu - Tabelas de incerteza
 - 1.4) Cu - Gráficos Log A vs Log C











Mina de S.Domingos IIa

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.53387	0.034762
-2.5	-8.27415	0.029413
-2	-7.02421	0.024333
-1.5	-5.78373	0.019642
-1	-4.55242	0.015699
-0.5	-3.33064	0.013397
0	-2.12079	0.014083
0.5	-0.93013	0.018082
1	0.223216	0.024217
1.5	1.301691	0.030498
2	2.256865	0.034808
2.5	3.081276	0.038006
3	3.821569	0.043234

Mina de S.Domingos IIb

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.64561	0.041653
-2.5	-8.36788	0.035535
-2	-7.10697	0.030172
-1.5	-5.86088	0.025441
-1	-4.62791	0.02135
-0.5	-3.40688	0.018166
0	-2.19749	0.016554
0.5	-1.00087	0.017309
1	0.178844	0.020468
1.5	1.331819	0.025094
2	2.440407	0.03004
2.5	3.484929	0.034963
3	4.460271	0.041173

Chança N

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.44486	0.043564
-2.5	-8.21572	0.036583
-2	-6.99315	0.030714
-1.5	-5.77635	0.026775
-1	-4.56484	0.025689
-0.5	-3.35855	0.027763
0	-2.15781	0.032347
0.5	-0.96324	0.03853
1	0.224481	0.045684
1.5	1.40479	0.0535
2	2.577457	0.061869
2.5	3.742657	0.070786
3	4.900924	0.080289

Serra Branca II

q	tau	Error (2delta)
-3	NaN	NaN
-2.5	NaN	NaN
-2	NaN	NaN
-1.5	NaN	NaN
-1	NaN	NaN
-0.5	NaN	NaN
0	-2.12184	0.010395
0.5	-0.72747	0.039036
1	0.248944	0.072942
1.5	1.168251	0.098201
2	2.085212	0.121888
2.5	2.998043	0.14573
3	3.906582	0.169957

Alvares II

q	tau	Error (2delta)
-3	-10.2172	0.048669
-2.5	-8.83256	0.040897
-2	-7.47039	0.033723
-1.5	-6.13394	0.027182
-1	-4.82658	0.021459
-0.5	-3.55184	0.017231
0	-2.31304	0.016022
0.5	-1.11276	0.018956
1	0.047937	0.025093
1.5	1.169818	0.033073
2	2.255347	0.042174
2.5	3.308157	0.052088
3	4.332468	0.062676

Alfarrobeira

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.52266	0.044104
-2.5	-8.28678	0.037015
-2	-7.05846	0.03042
-1.5	-5.83828	0.024752
-1	-4.62699	0.020833
-0.5	-3.42565	0.01981
0	-2.23582	0.022193
0.5	-1.05989	0.027255
1	0.098606	0.034091
1.5	1.234903	0.042385
2	2.343578	0.052388
2.5	3.419961	0.064555
3	4.461602	0.079024

Albernoa

q	tau	Error (2delta)
-3	-8.53237	0.010952
-2.5	-7.38734	0.008231
-2	-6.26511	0.005752
-1.5	-5.16704	0.003633
-1	-4.09283	0.001929
-0.5	-3.04087	0.0008
0	-2.00889	0.001082
0.5	-0.99469	0.001942
1	0.003372	0.002783
1.5	0.986077	0.003594
2	1.953236	0.00442
2.5	2.90371	0.005337
3	3.835627	0.006462

Serra Branca I

q	tau	Error (2delta)
-3	-8.8538	0.021825
-2.5	-7.68909	0.016861
-2	-6.54164	0.012872
-1.5	-5.4081	0.009753
-1	-4.28485	0.007229
-0.5	-3.16899	0.004991
0	-2.0595	0.003991
0.5	-0.95876	0.007063
1	0.124262	0.013149
1.5	1.167906	0.020977
2	2.132428	0.029961
2.5	2.979078	0.040286
3	3.714659	0.052799

Alvares I

q	tau	Error (2delta)
-3	-8.50243	0.008787
-2.5	-7.38561	0.005636
-2	-6.28512	0.003271
-1.5	-5.19951	0.001668
-1	-4.12653	0.000756
-0.5	-3.06434	0.000469
0	-2.01349	0.000831
0.5	-0.97937	0.001645
1	0.027473	0.002789
1.5	0.995781	0.004313
2	1.920109	0.006613
2.5	2.802168	0.010315
3	3.64642	0.015929

Mina de S.Domingos Ia

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.46615	0.033421
-2.5	-8.11617	0.02377
-2	-6.81434	0.01596
-1.5	-5.56381	0.009951
-1	-4.35915	0.005482
-0.5	-3.19055	0.003565
0	-2.04875	0.006045
0.5	-0.92708	0.010367
1	0.178374	0.015817
1.5	1.268882	0.022768
2	2.343143	0.031615
2.5	3.397717	0.042415
3	4.428273	0.054865

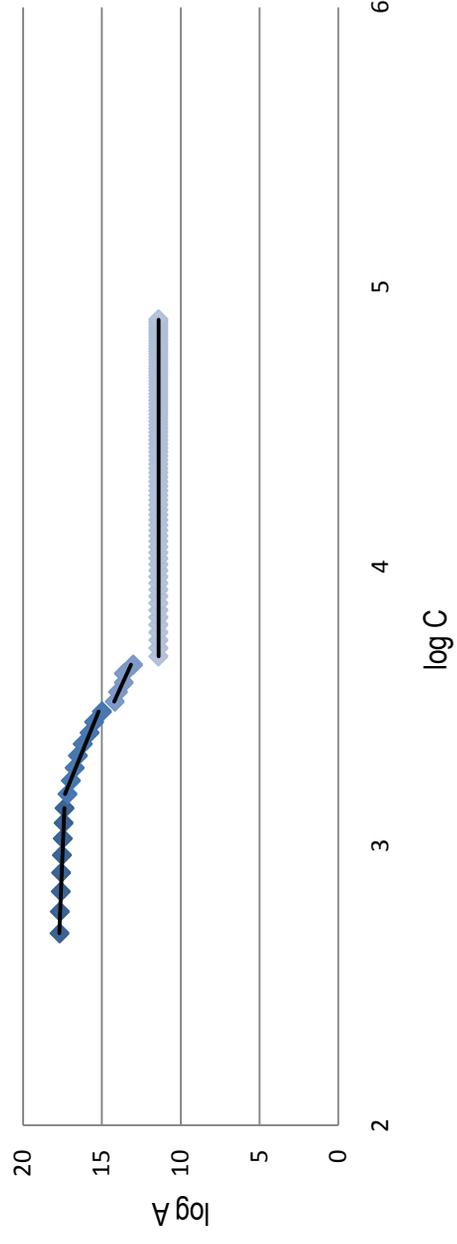
Mina de São Domingos Ib

q	tau	Error (2delta)
-3	-10.8193	0.161355
-2.5	-9.31931	0.133657
-2	-7.85992	0.105921
-1.5	-6.43504	0.07844
-1	-5.03164	0.052212
-0.5	-3.62966	0.029886
0	-2.21017	0.016236
0.5	-0.8088	0.011011
1	0.390317	0.009712
1.5	1.250315	0.018521
2	1.933088	0.032178
2.5	2.565858	0.045563
3	3.185189	0.058473

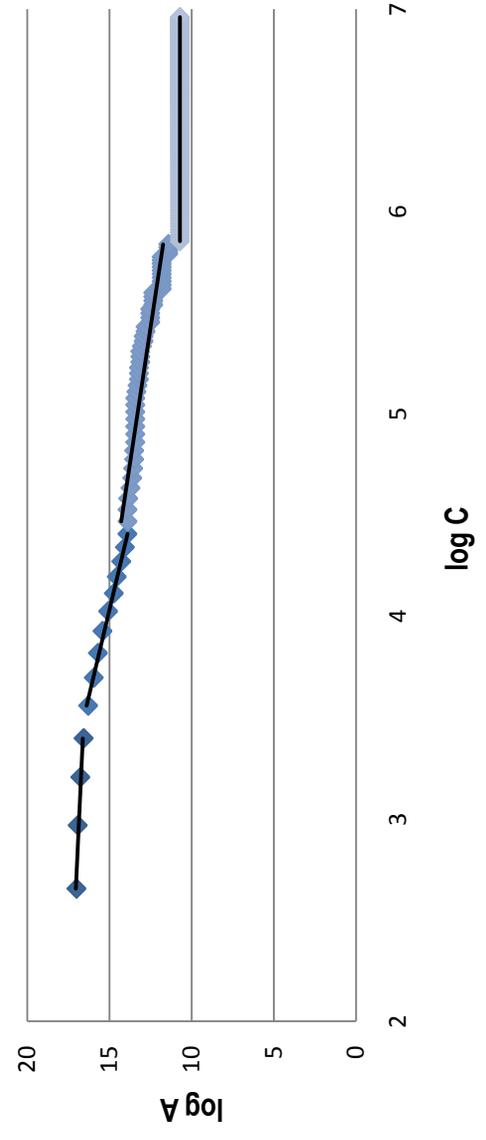
Mina de São Domingos Ic

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.60284	0.040399
-2.5	-8.29847	0.029982
-2	-7.03245	0.021626
-1.5	-5.8047	0.015389
-1	-4.61063	0.011619
-0.5	-3.44324	0.011437
0	-2.2955	0.015081
0.5	-1.16181	0.021275
1	-0.03855	0.029144
1.5	1.075928	0.038299
2	2.18154	0.048488
2.5	3.276978	0.059481
3	4.360327	0.071059

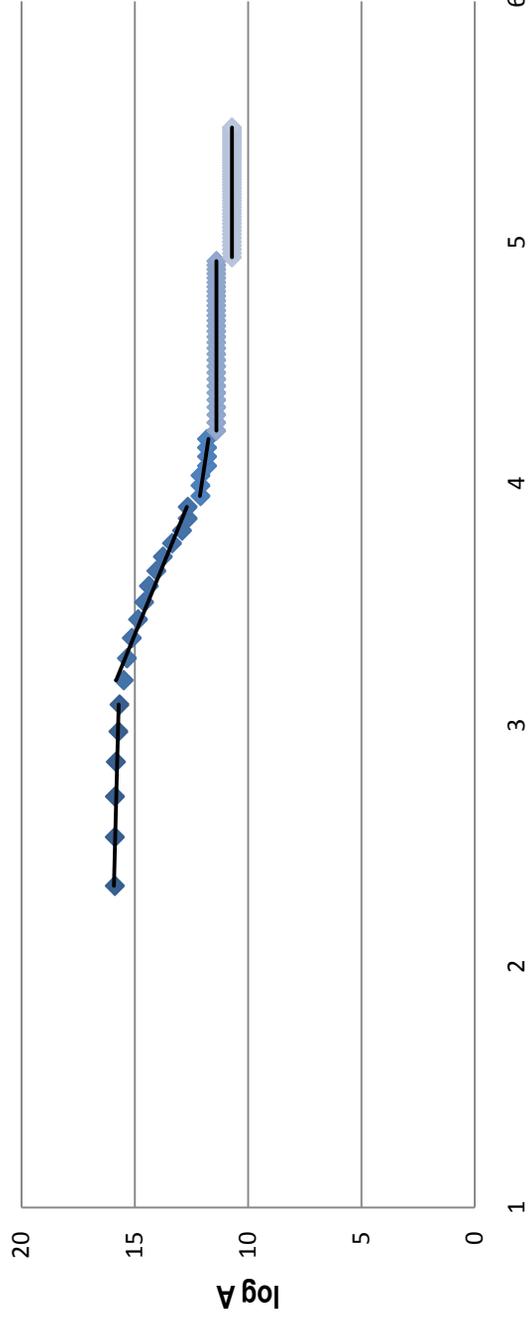
Cu_Chança 600/300



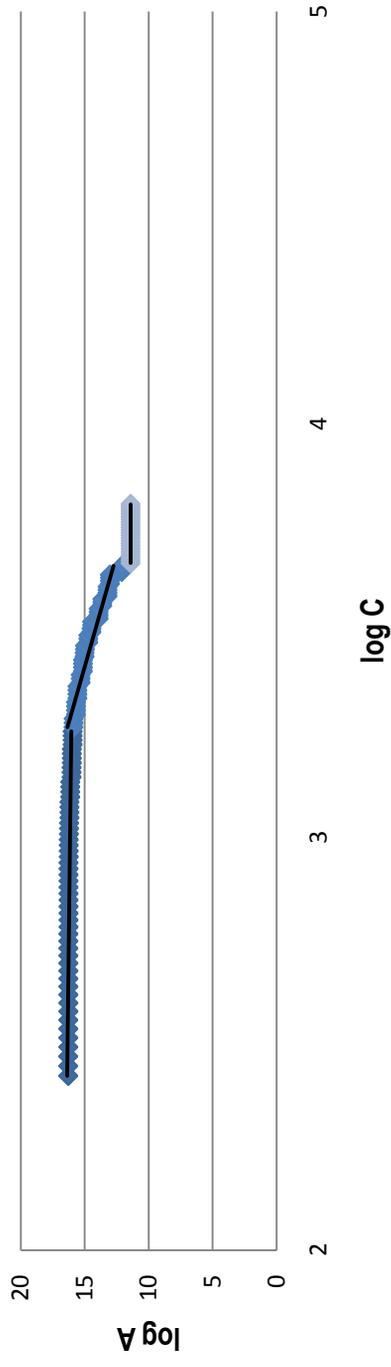
Cu_Mina de S.Domingos Ila 300/200



Mina de S. Domingos IIb

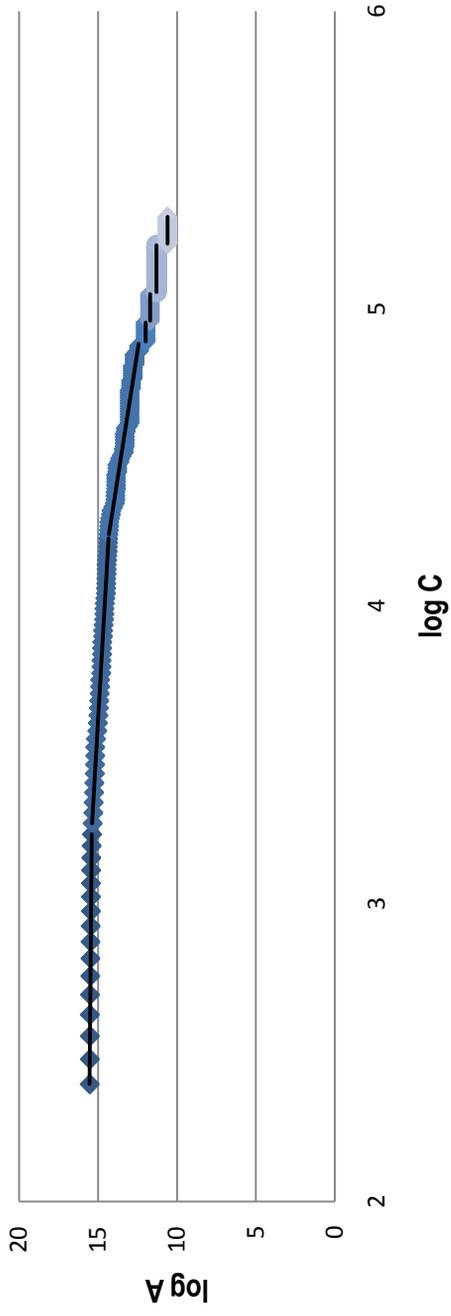


Cu_Chança N 300/250



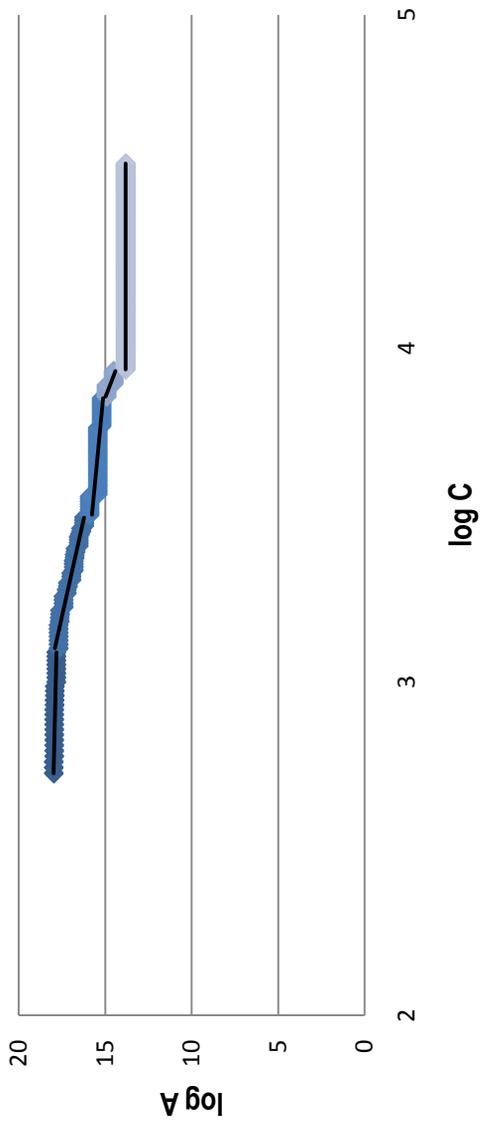
Cu_Alvares II

200/200

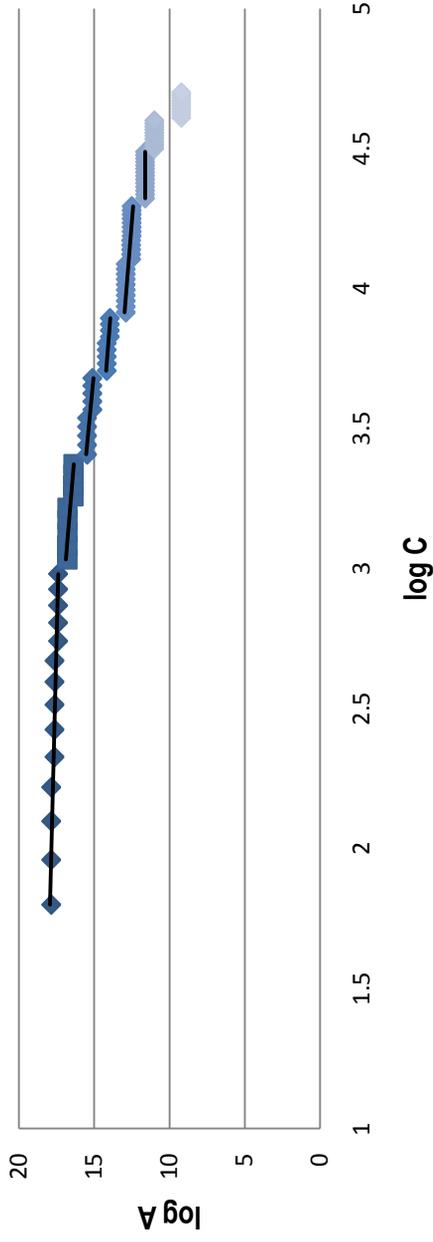


Cu_Alfarrobeira

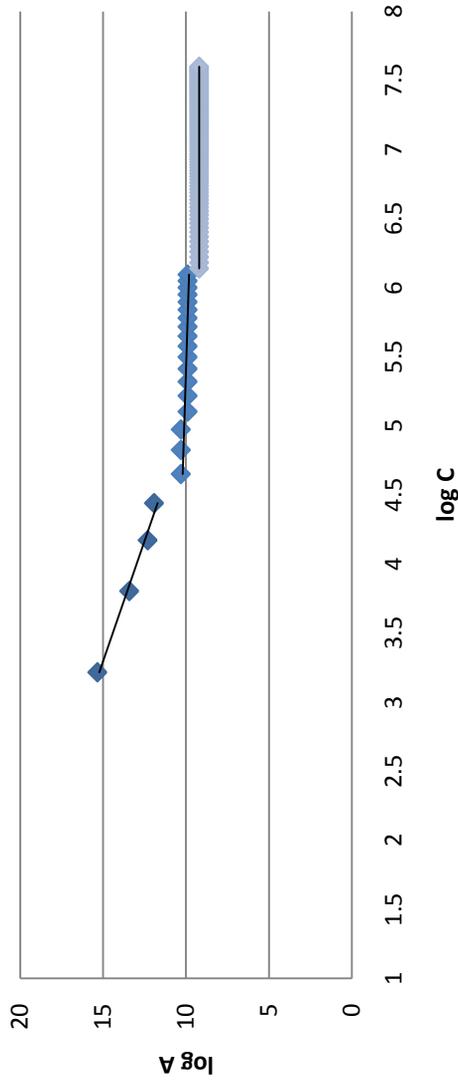
1000/1000



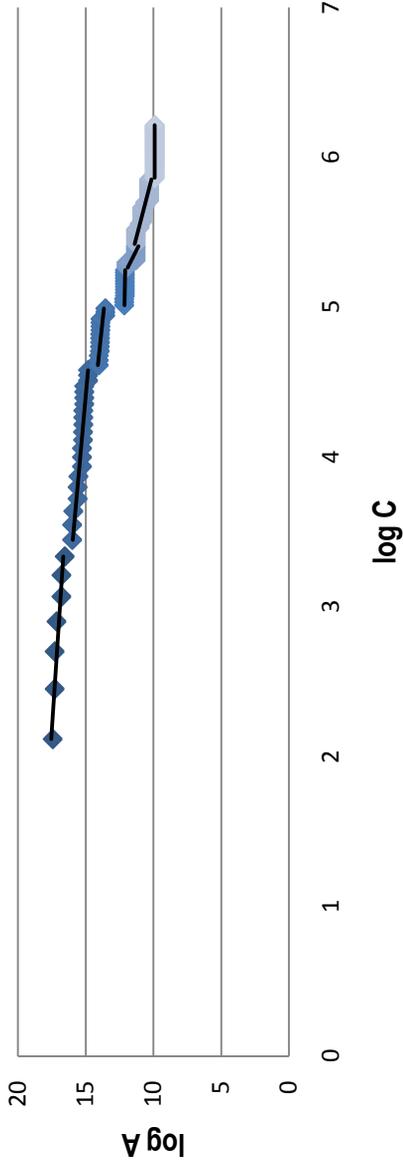
Cu_Albernoa 100/100



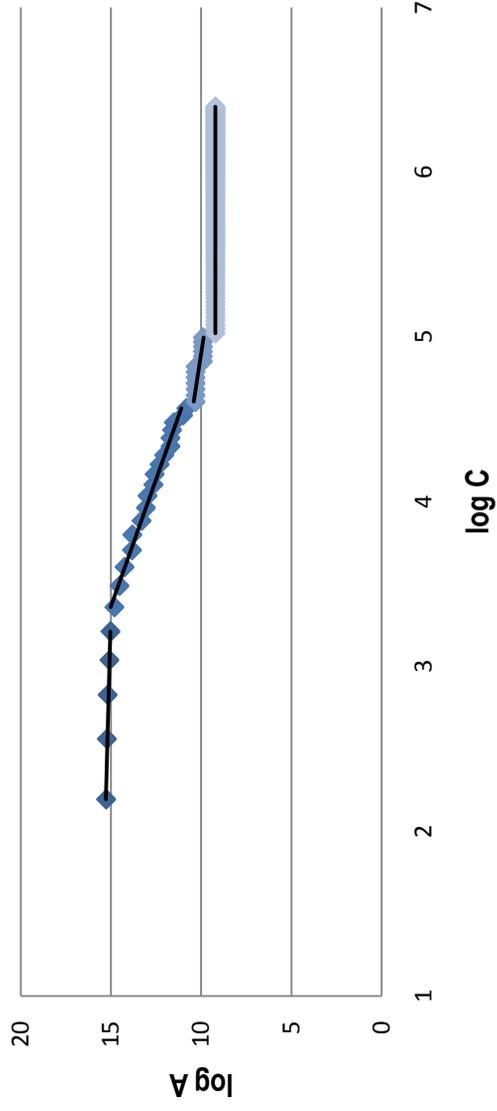
Cu_Serra Branca I 100/100



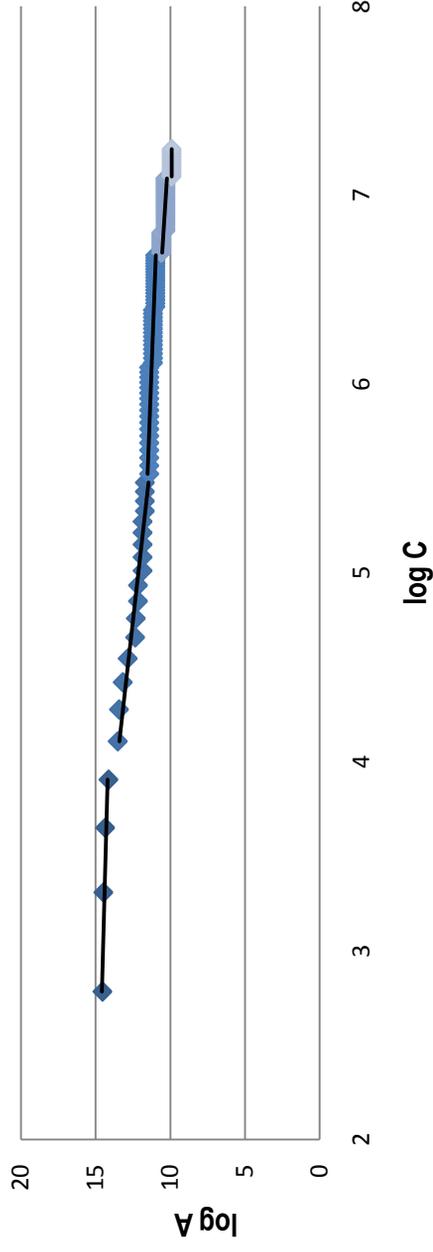
Cu_Alvares I 100/100



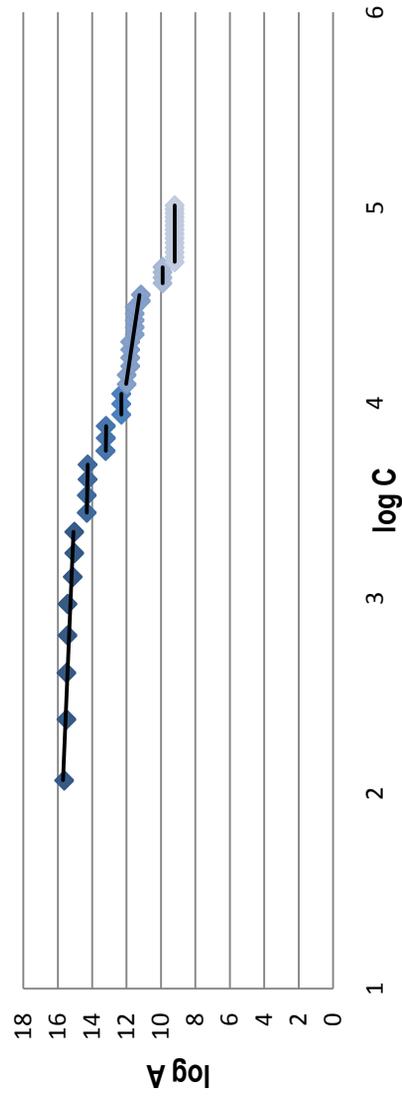
Cu_Mina de S.Domingos la 100/100



Cu_Mina de S.Domingos Ib 100/100



Cu_Subárea Mina de S.Domingos Ic 100/100



Anexos

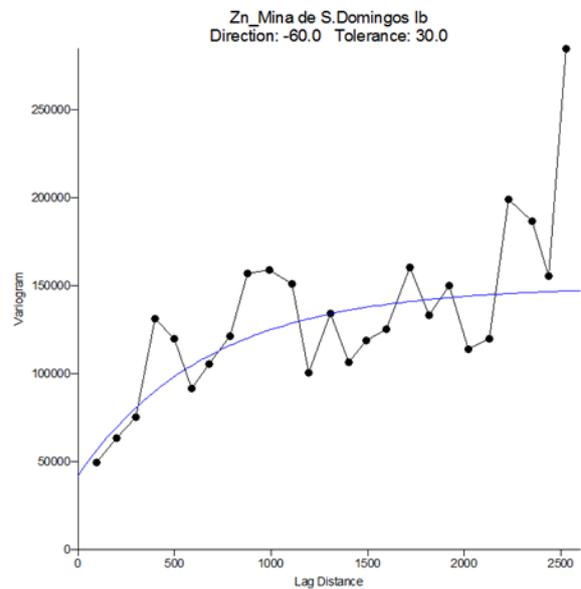
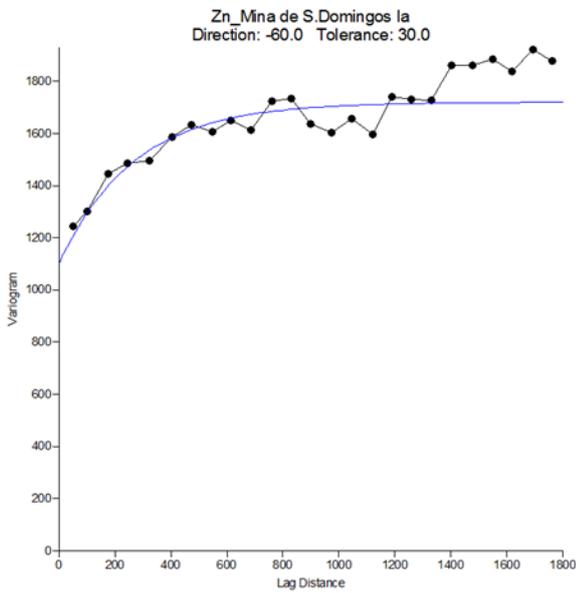
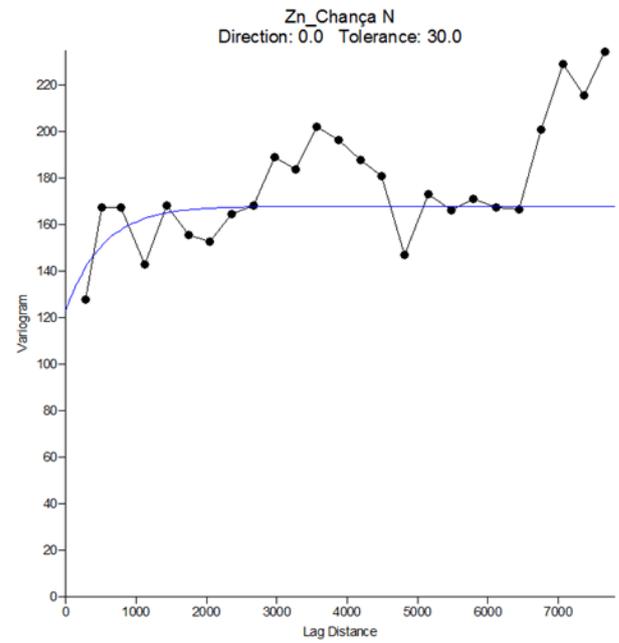
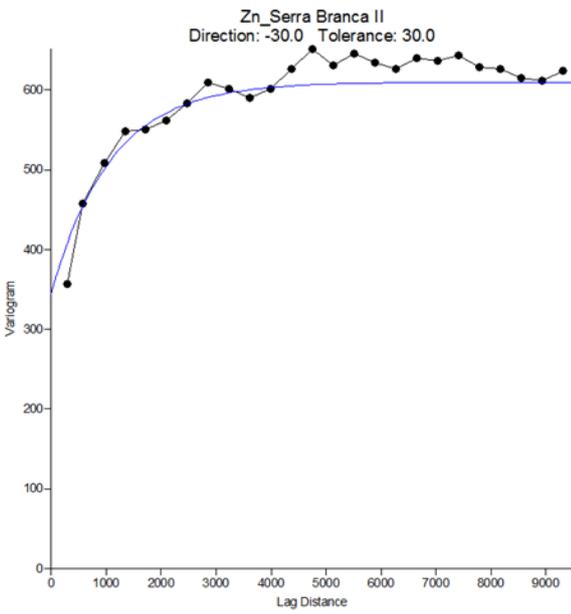
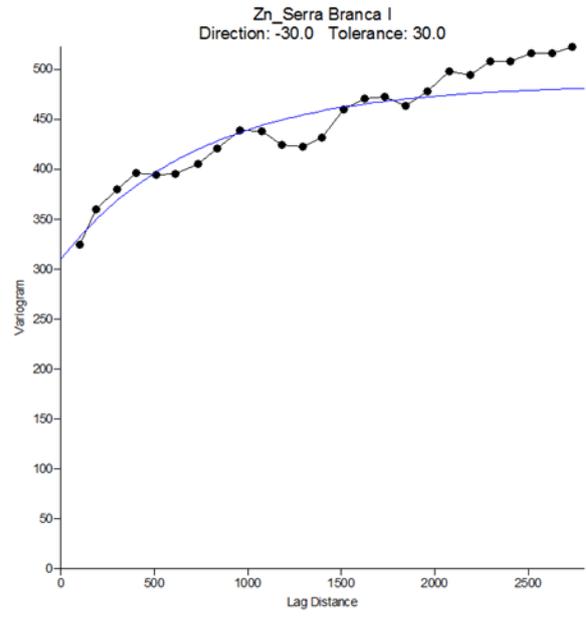
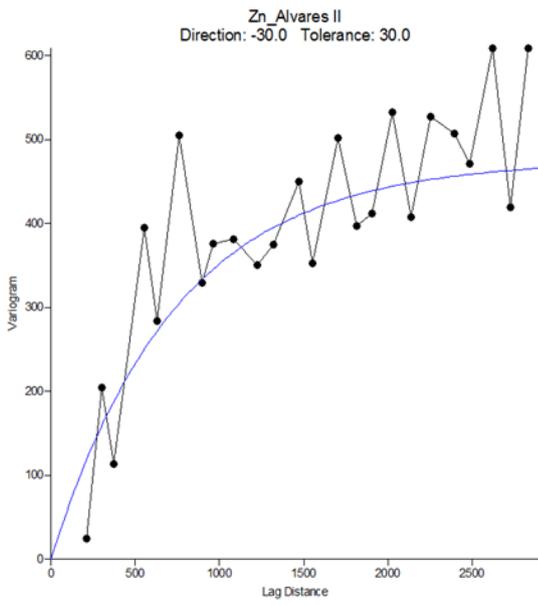
2. Informações relativas ao zinco (Zn)

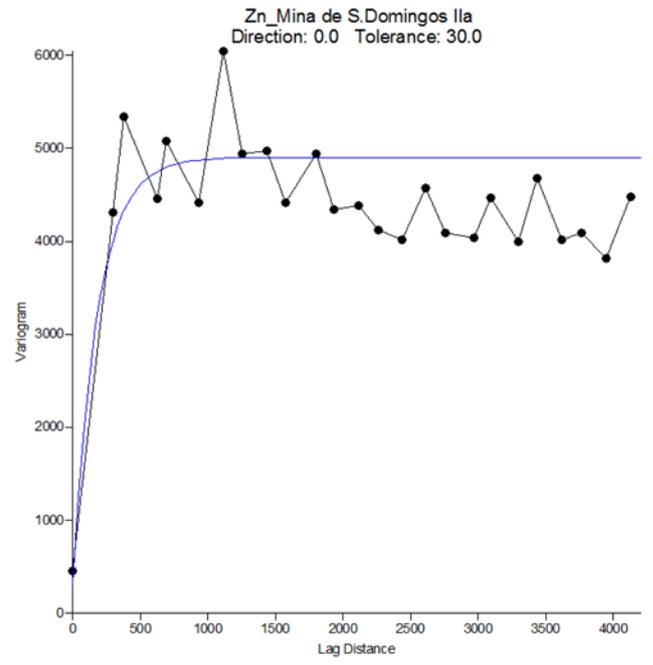
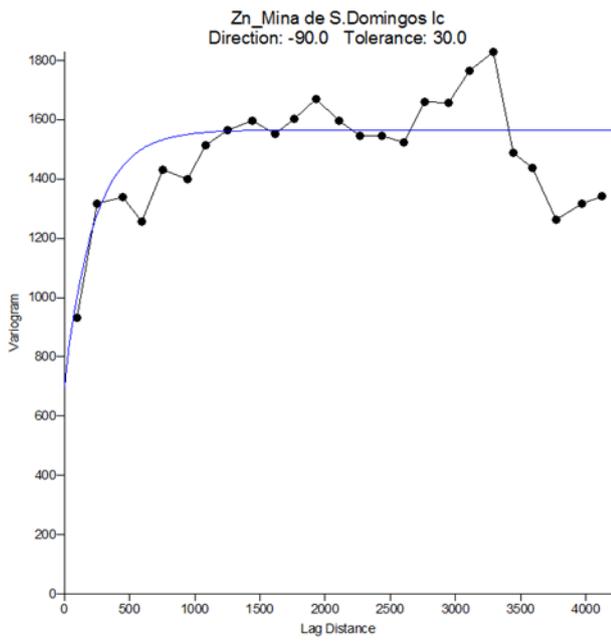
2.1) Zn - Semivariogramas

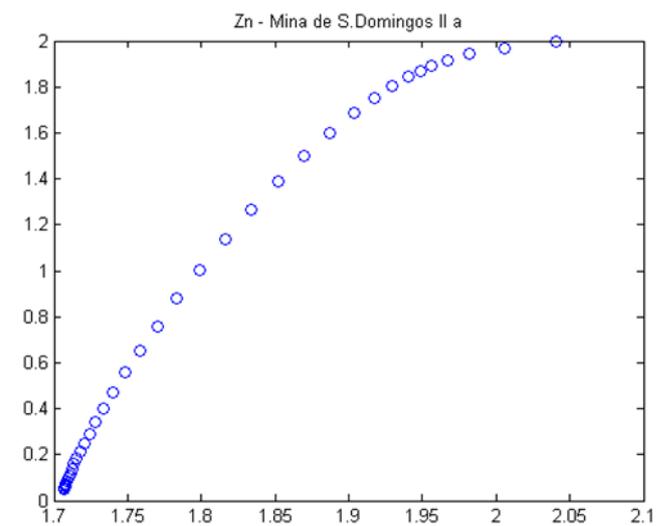
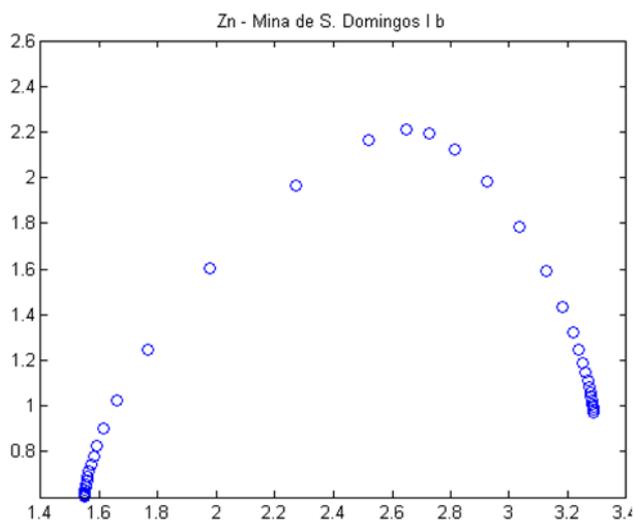
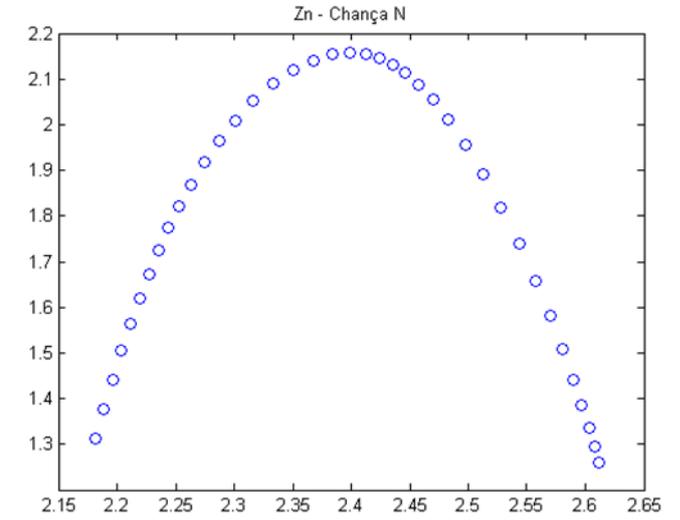
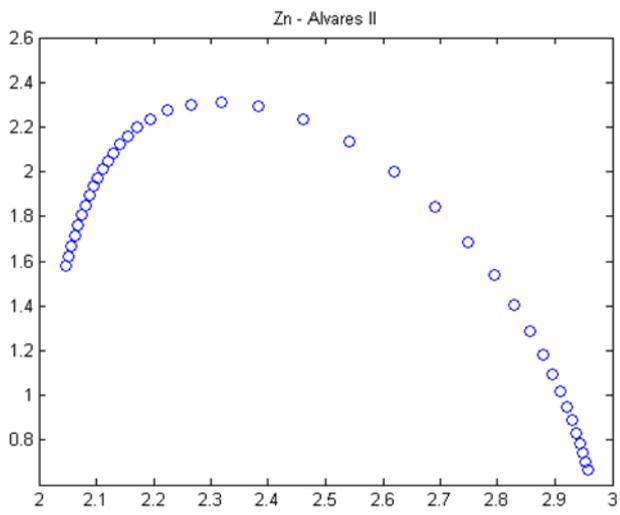
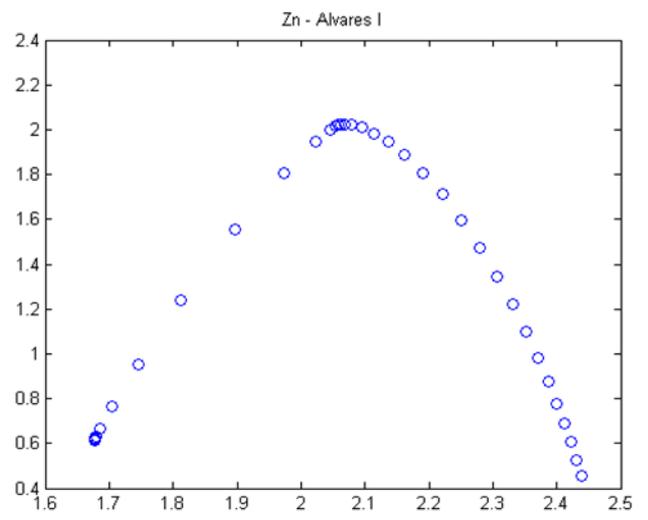
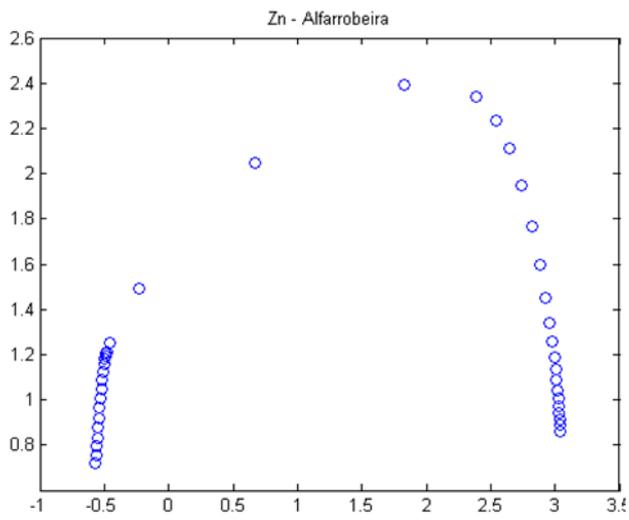
2.2) Zn - Espectros Multifractais

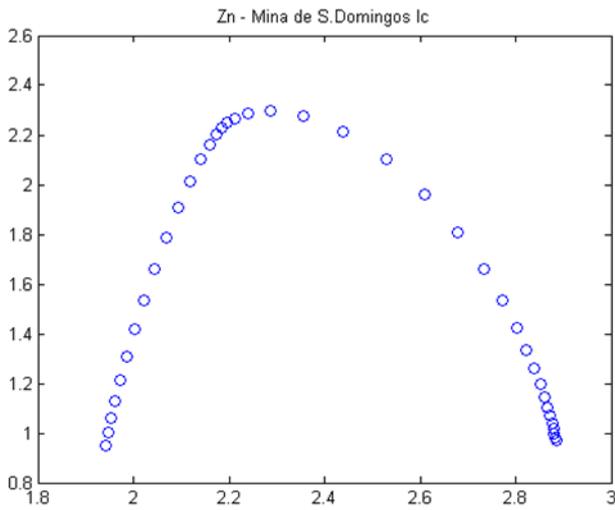
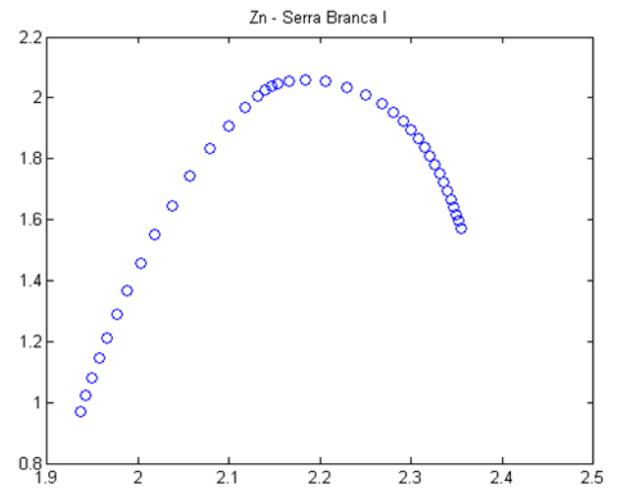
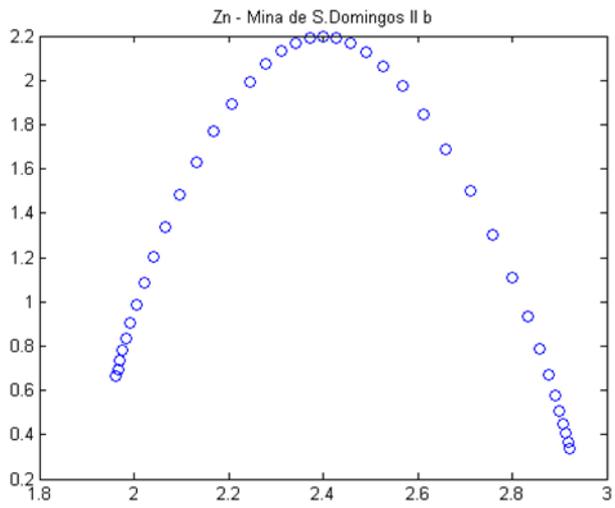
2.3) Zn - Tabelas de incerteza

2.4) Zn - Gráficos Log A vs Log C









Mina de S.Domingos IIa

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.66117	0.046313
-2.5	-8.32679	0.037044
-2	-7.02731	0.029067
-1.5	-5.75747	0.02219
-1	-4.51167	0.016367
-0.5	-3.28539	0.012126
0	-2.07619	0.011056
0.5	-0.88497	0.013955
1	0.281688	0.019084
1.5	1.409195	0.024753
2	2.4771	0.029901
2.5	3.471079	0.034096
3	4.395686	0.037763

Mina de S.Domingos IIb

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.68394	0.042295
-2.5	-8.38983	0.035549
-2	-7.11703	0.029773
-1.5	-5.86311	0.024843
-1	-4.62606	0.020779
-0.5	-3.40448	0.017841
0	-2.19749	0.016554
0.5	-1.00469	0.017382
1	0.173876	0.020219
1.5	1.337729	0.024493
2	2.485969	0.029637
2.5	3.617385	0.035236
3	4.730712	0.041009

Chança N

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.46308	0.043188
-2.5	-8.23147	0.036312
-2	-7.00566	0.030613
-1.5	-5.78529	0.026866
-1	-4.57028	0.025898
-0.5	-3.36093	0.027933
0	-2.15781	0.032347
0.5	-0.96174	0.038292
1	0.226494	0.045178
1.5	1.406253	0.052701
2	2.577265	0.060739
2.5	3.739659	0.06926
3	4.893919	0.078272

Serra Branca II

q	tau	Error (2delta)
-3	NaN	NaN
-2.5	NaN	NaN
-2	NaN	NaN
-1.5	NaN	NaN
-1	NaN	NaN
-0.5	NaN	NaN
0	-2.13047	0.006067
0.5	-0.74682	0.020225
1	0.204209	0.050227
1.5	0.982064	0.082693
2	1.742502	0.118976
2.5	2.497951	0.157948
3	3.24899	0.198411

Alvares II

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.92813	0.051201
-2.5	-8.56719	0.042185
-2	-7.23834	0.033791
-1.5	-5.94719	0.026266
-1	-4.69691	0.020062
-0.5	-3.48692	0.016151
0	-2.31304	0.016022
0.5	-1.16893	0.019887
1	-0.04792	0.026356
1.5	1.055751	0.034339
2	2.14653	0.043322
2.5	3.227592	0.053057
3	4.301101	0.063395

Albernoa

q	tau	Error (2delta)
-3	NaN	NaN
-2.5	NaN	NaN
-2	NaN	NaN
-1.5	NaN	NaN
-1	NaN	NaN
-0.5	NaN	NaN
0	-2.0047	0.000541
0.5	-0.97446	0.001228
1	0.035772	0.002374
1.5	1.031621	0.004202
2	2.017965	0.006946
2.5	2.998308	0.010782
3	3.974472	0.015789

Alfarrobeira

q	tau	Error (2delta)
-3	-10.2496	0.053779
-2.5	-8.82018	0.041928
-2	-7.42706	0.032185
-1.5	-6.07935	0.024718
-1	-4.78136	0.019555
-0.5	-3.53494	0.016522
0	-2.3912	0.014827
0.5	-1.71004	0.03644
1	-1.72074	0.10496
1.5	-1.93661	0.181841
2	-2.17573	0.258046
2.5	-2.41749	0.332779
3	-2.66064	0.40607

Serra Branca I

q	tau	Error (2delta)
-3	-8.79578	0.019967
-2.5	-7.65255	0.017537
-2	-6.51515	0.014764
-1.5	-5.38529	0.011631
-1	-4.26505	0.00827
-0.5	-3.15628	0.005162
0	-2.0595	0.003991
0.5	-0.97317	0.00622
1	0.105782	0.009985
1.5	1.180399	0.014604
2	2.252074	0.020134
2.5	3.32013	0.026649
3	4.382501	0.034161

Alvares I

q	tau	Error (2delta)
-3	-8.79578	0.019967
-2.5	-7.65255	0.017537
-2	-6.51515	0.014764
-1.5	-5.38529	0.011631
-1	-4.26505	0.00827
-0.5	-3.15628	0.005162
0	-2.0595	0.003991
0.5	-0.97317	0.00622
1	0.105782	0.009985
1.5	1.180399	0.014604
2	2.252074	0.020134
2.5	3.32013	0.026649
3	4.382501	0.034161

Mina de S.Domingos Ia

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.30731	0.028736
-2.5	-8.00667	0.020169
-2	-6.74871	0.013573
-1.5	-5.53076	0.008568
-1	-4.34602	0.00485
-0.5	-3.18727	0.003478
0	-2.04875	0.006045
0.5	-0.92619	0.010593
1	0.18375	0.016591
1.5	1.283682	0.024229
2	2.375509	0.033685
2.5	3.460366	0.044964
3	4.53876	0.057887

Mina de São Domingos Ib

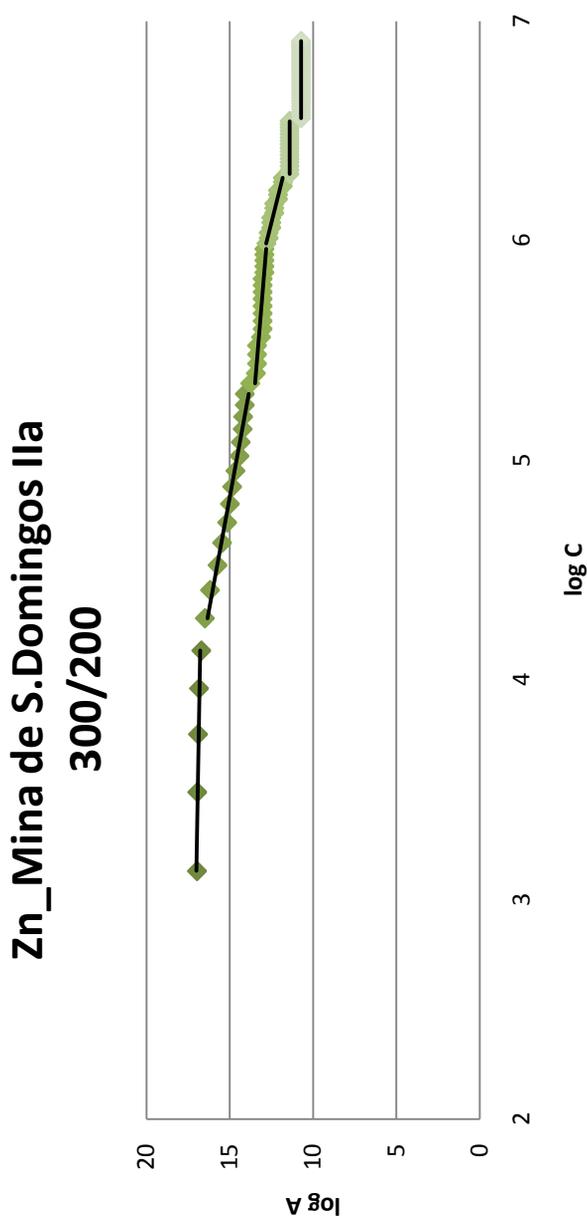
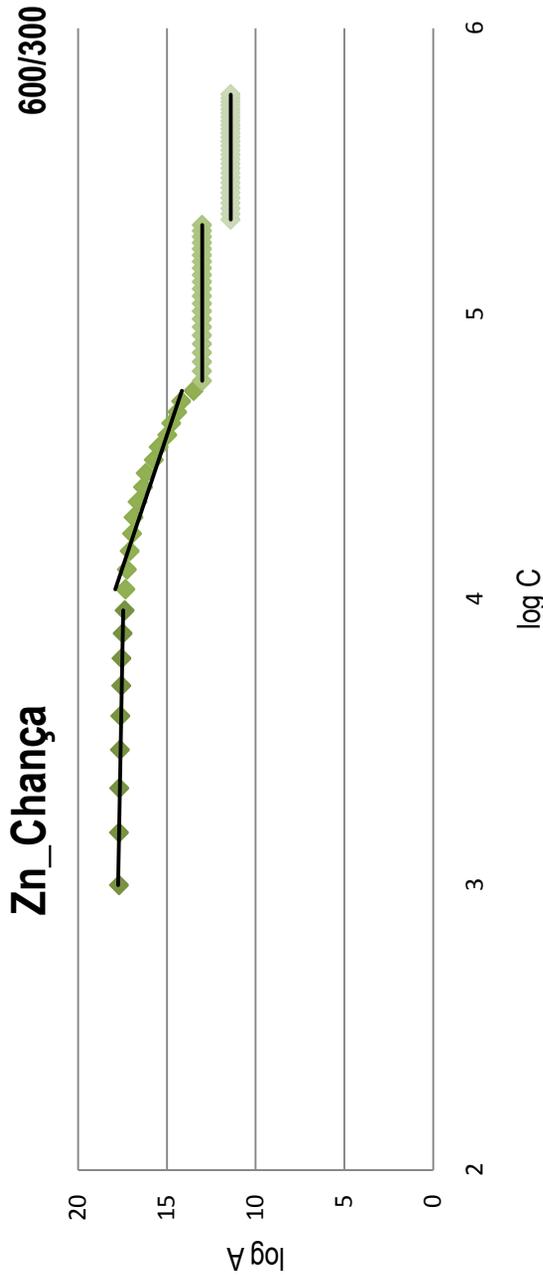
q	tau	Error (2delta)
-3	-10.9854	0.105639
-2.5	-9.40467	0.085136
-2	-7.85996	0.06597
-1.5	-6.36792	0.0488
-1	-4.93626	0.034189
-0.5	-3.55539	0.022951
0	-2.21017	0.016236
0.5	-0.90604	0.014208
1	0.307657	0.015999
1.5	1.366679	0.022521
2	2.286227	0.035021
2.5	3.132942	0.050632
3	3.948271	0.066963

Mina de São Domingos Ic

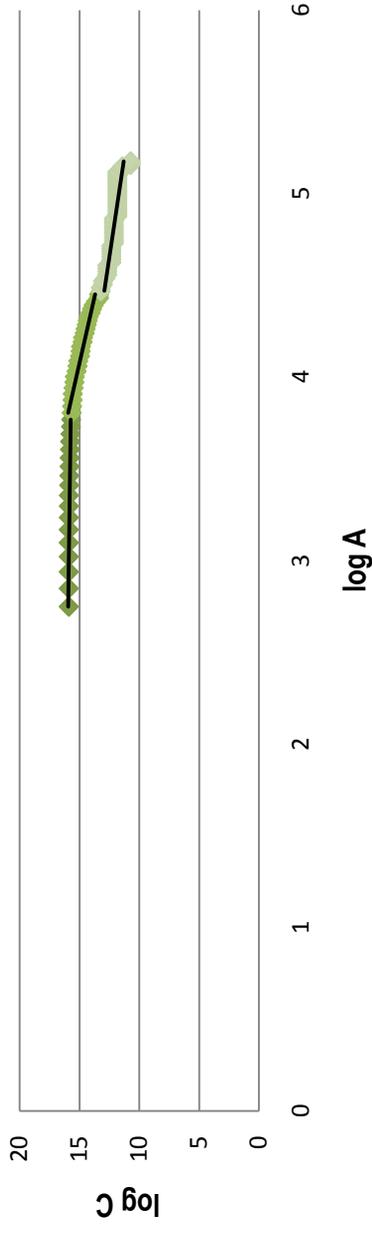
q	tau	Error (2delta)
-3	-9.85971	0.039315
-2.5	-8.50475	0.030611
-2	-7.18013	0.022456
-1.5	-5.89374	0.015233
-1	-4.65141	0.010012
-0.5	-3.45389	0.009749
0	-2.2955	0.015081
0.5	-1.16607	0.023369
1	-0.05478	0.033676
1.5	1.046515	0.045705
2	2.141988	0.059129
2.5	3.232411	0.073538
3	4.316495	0.088528

Chança

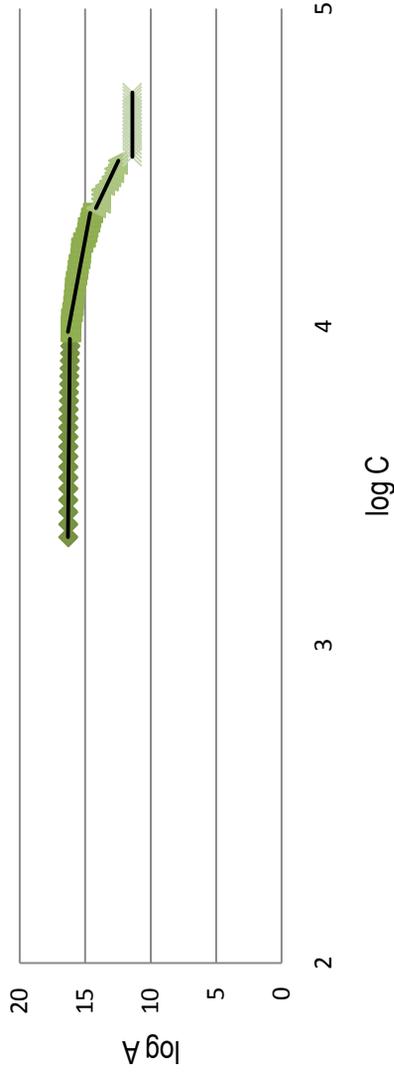
q	tau	Error (2delta)
-3	-8.73241	0.01903
-2.5	-7.57257	0.013372
-2	-6.43372	0.008755
-1.5	-5.31569	0.005387
-1	-4.2169	0.003901
-0.5	-3.13487	0.004825
0	-2.06722	0.007109
0.5	-1.01283	0.01014
1	0.026169	0.013839
1.5	1.040006	0.017993
2	2.003612	0.022021
2.5	2.877329	0.025982
3	3.641434	0.032701



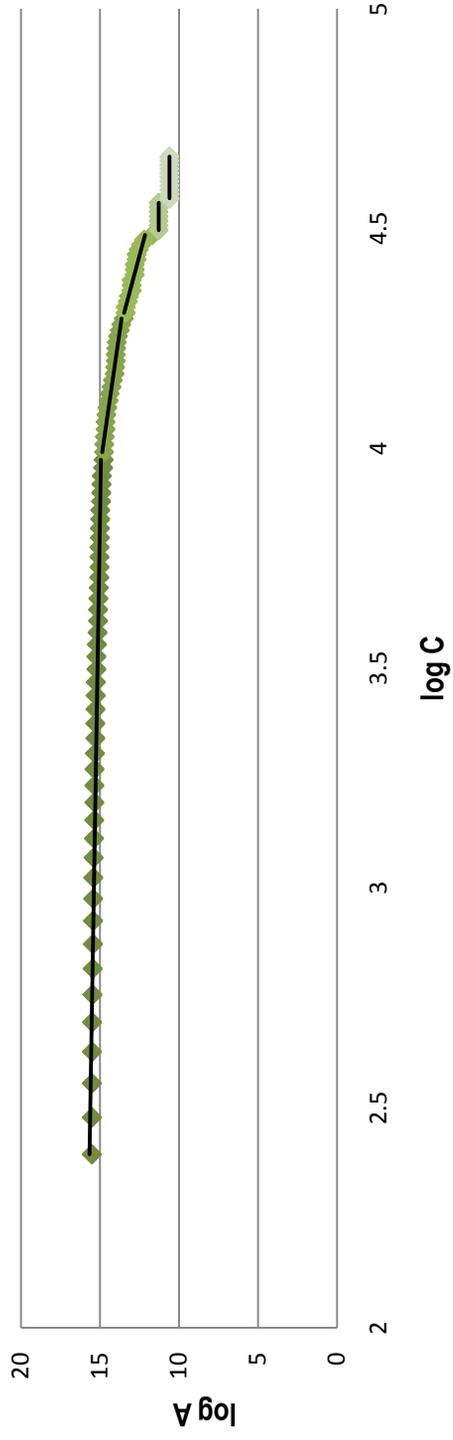
Zn_Mina de S.Domingos IIb 300/200



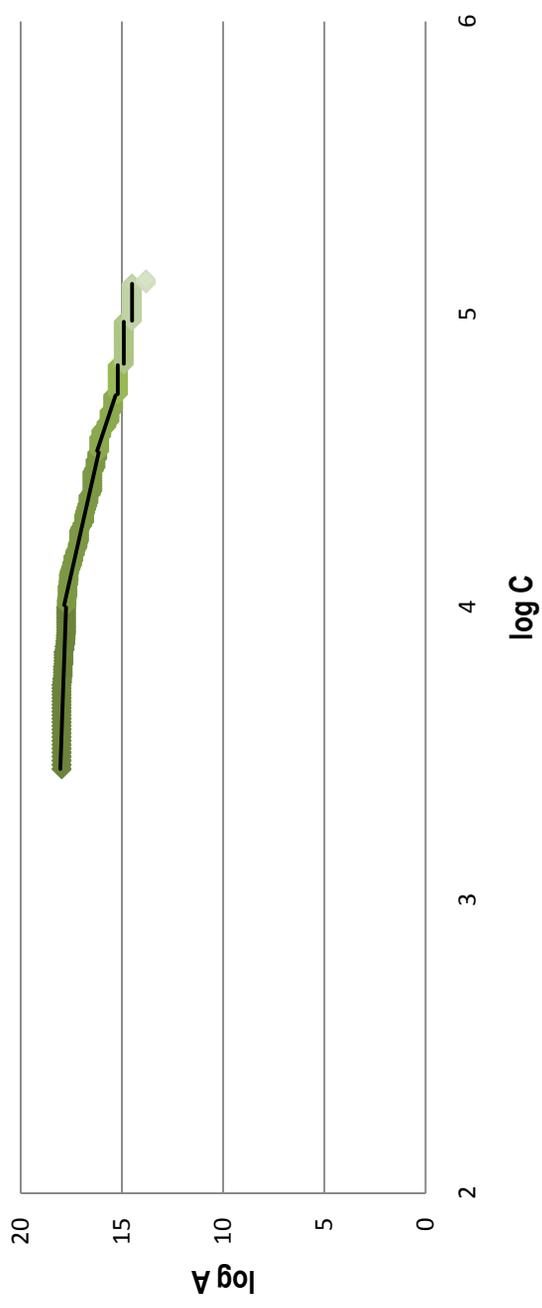
Zn_Chança N 300/250



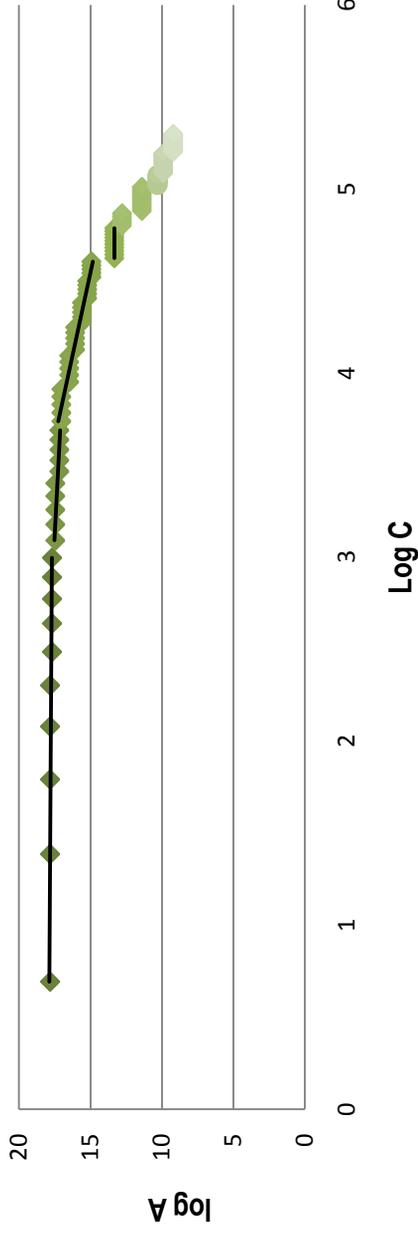
Zn_Alvares II 200/200



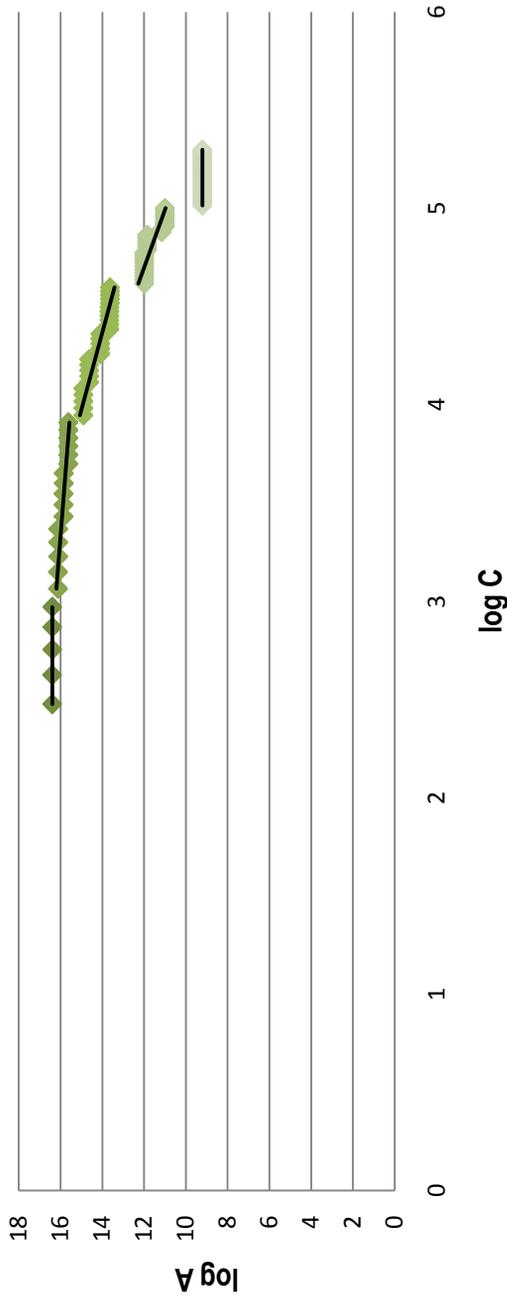
Zn_Alfarrobeira 1000/1000



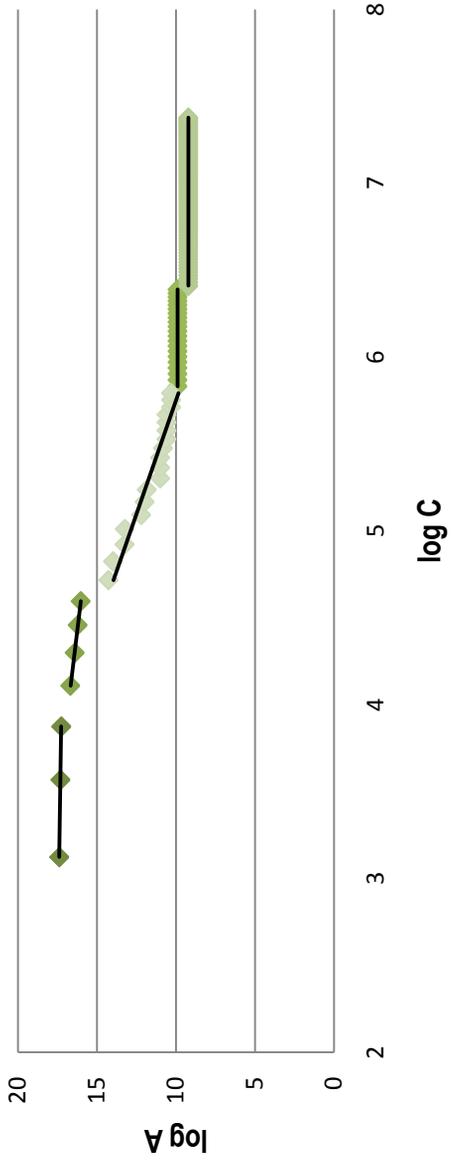
Zn_Albernoa 100/100



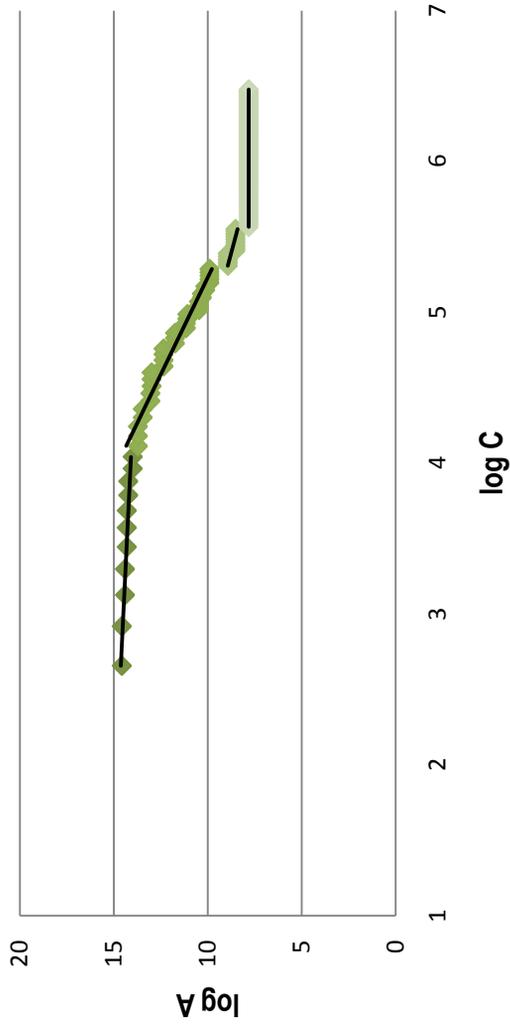
Zn_Serra Branca I 100/100



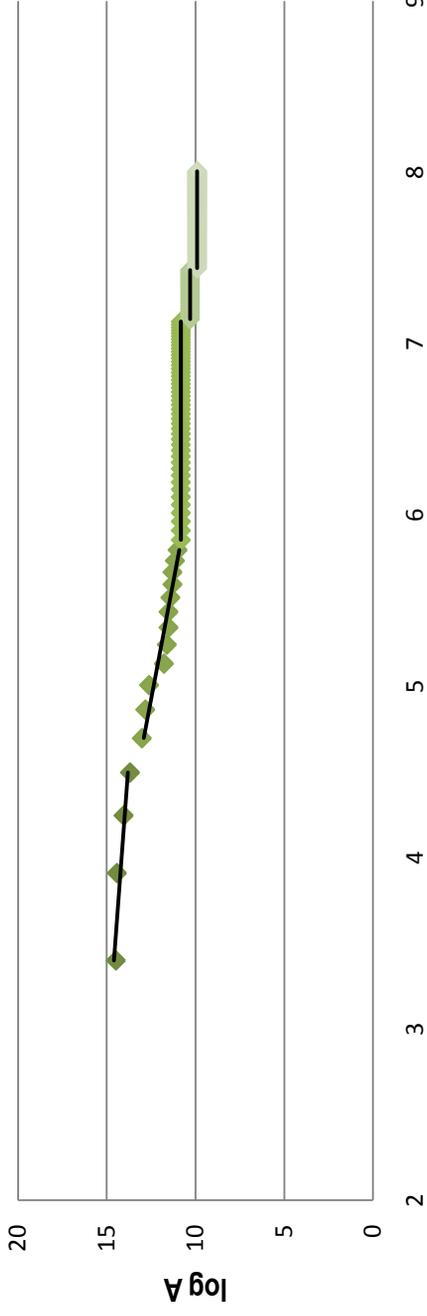
Zn_Alvares I 100/100



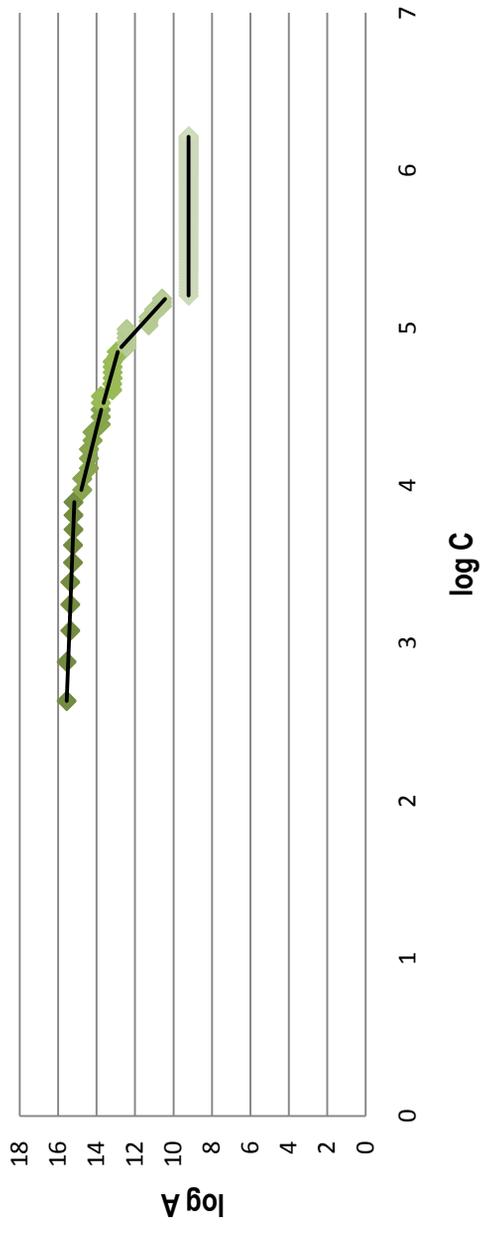
Zn_Mina de S.Domingos la 50/50



Zn_Mina de S.Domingos Ib 100/100



Zn_Mina de S.Domingos Ic 100/100



Anexos

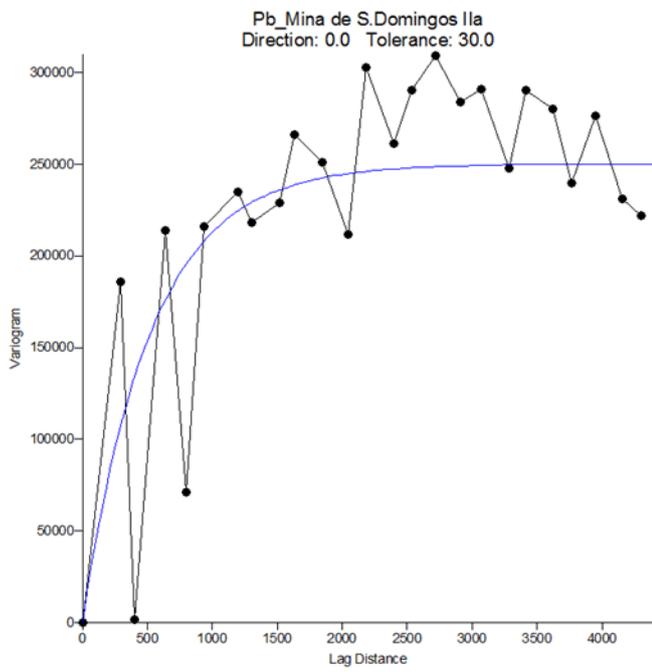
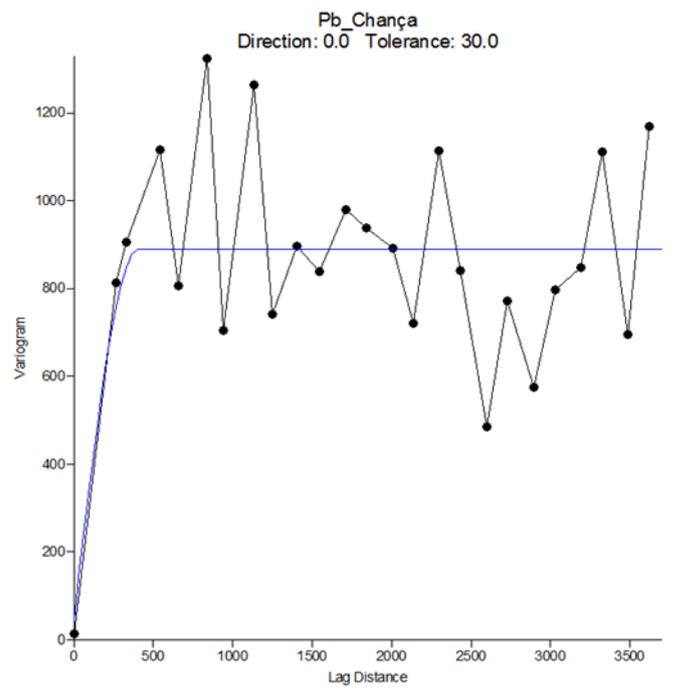
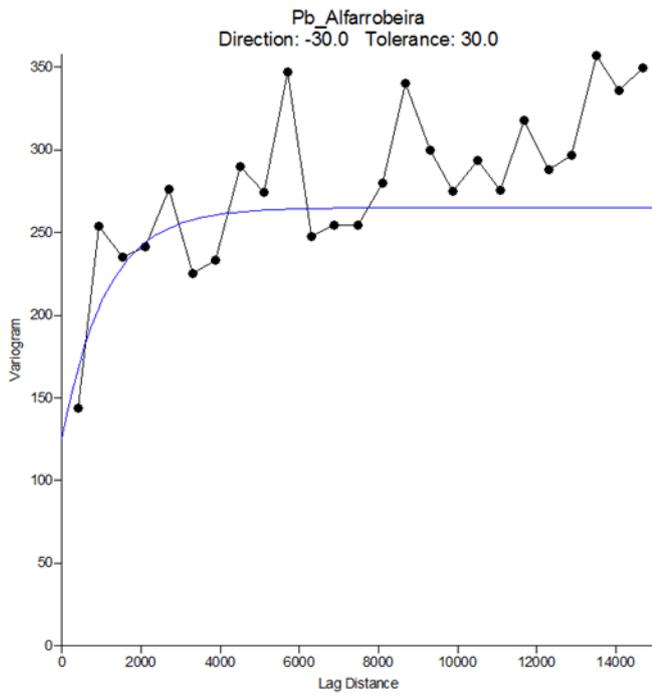
3. Informações relativas ao chumbo (Pb)

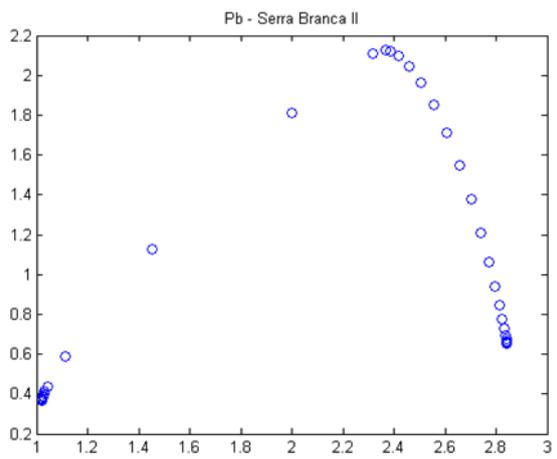
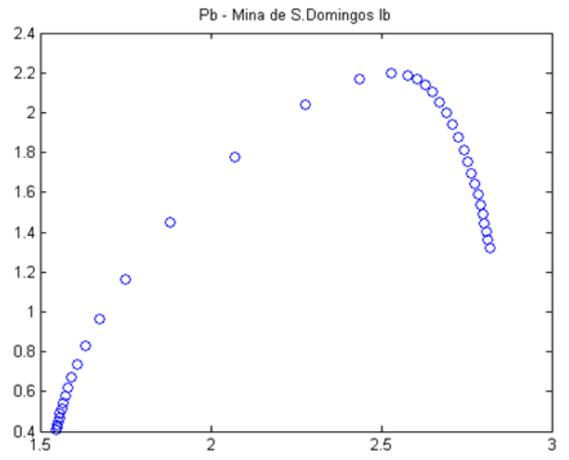
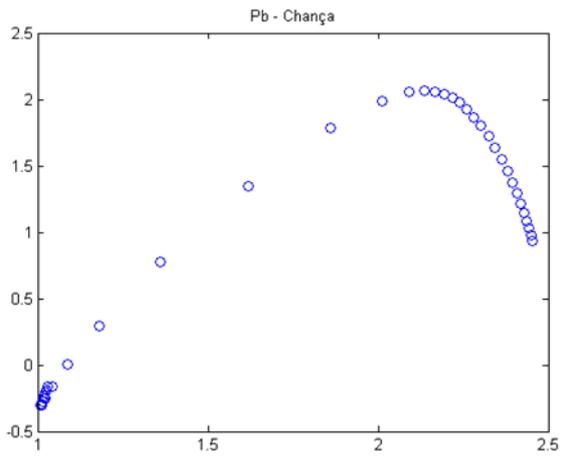
3.1) Pb - Semivariogramas

3.2) Pb - Espectros Multifractais

3.3) Pb - Tabelas de incerteza

3.4) Pb - Gráficos Log A vs Log C





Mina de S.Domingos IIa

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.33555	0.016239
-2.5	-8.09387	0.01317
-2	-6.87701	0.010914
-1.5	-5.67517	0.009023
-1	-4.47842	0.007211
-0.5	-3.2766	0.005446
0	-2.06551	0.004464
0.5	-0.87775	0.00596
1	0.148207	0.008984
1.5	0.862517	0.011273
2	1.370959	0.01819
2.5	1.806748	0.027379
3	2.215675	0.036873

Mina de S.Domingos IIb

q	tau	Error (2delta)
-3	-10.0736	0.048718
-2.5	-8.73271	0.041888
-2	-7.40222	0.035513
-1.5	-6.0825	0.029629
-1	-4.7738	0.024284
-0.5	-3.47724	0.019683
0	-2.19749	0.016554
0.5	-0.94853	0.016447
1	0.239662	0.02035
1.5	1.329605	0.027802
2	2.310787	0.038533
2.5	3.210015	0.051957
3	4.060572	0.066998

Chança N

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.94353	0.043891
-2.5	-8.62274	0.038242
-2	-7.32239	0.032781
-1.5	-6.04095	0.027565
-1	-4.77673	0.022761
-0.5	-3.52816	0.01877
0	-2.29391	0.01638
0.5	-1.07303	0.016524
1	0.134935	0.019306
1.5	1.329824	0.023896
2	2.510782	0.02944
2.5	3.676227	0.035387
3	4.824024	0.041388

Serra Branca II

q	tau	Error (2delta)
-3	-9.53075	0.020853
-2.5	-8.24059	0.015503
-2	-6.97577	0.01138
-1.5	-5.73495	0.008449
-1	-4.51614	0.006331
-0.5	-3.31633	0.004641
0	-2.12976	0.003813
0.5	-0.94763	0.005906
1	0.189087	0.014382
1.5	1.051744	0.035517
2	1.640895	0.063885
2.5	2.165855	0.090263
3	2.682966	0.114592

Alvares II

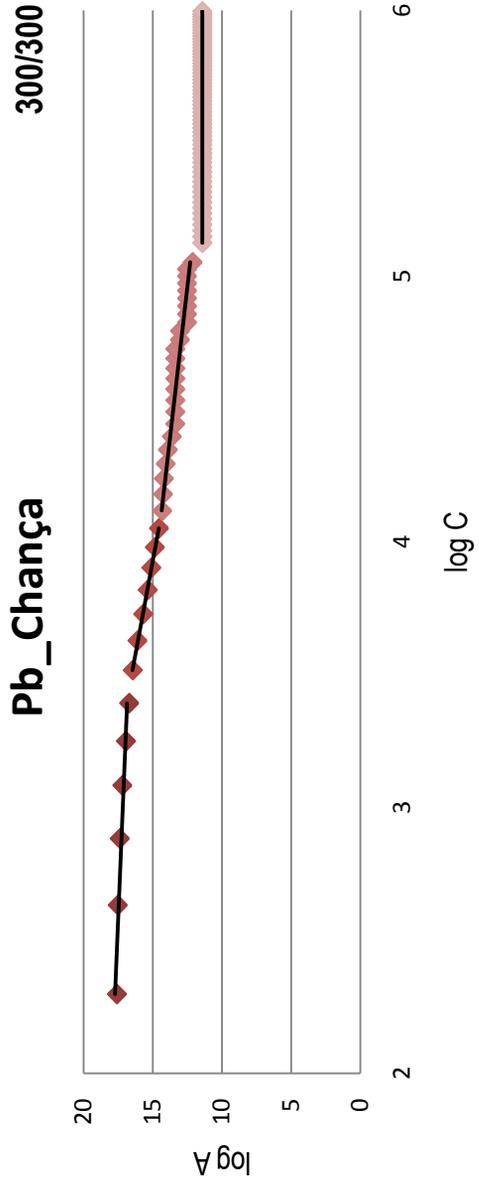
q	tau	Error (2delta)
-3	-9.56421	0.049277
-2.5	-8.33198	0.041288
-2	-7.10882	0.033707
-1.5	-5.89502	0.026706
-1	-4.69088	0.020705
-0.5	-3.49676	0.016658
0	-2.31304	0.016022
0.5	-1.14014	0.01911
1	0.02152	0.02152
1.5	1.171559	0.031173
2	2.309648	0.038373
2.5	3.435569	0.045899
3	4.549255	0.053622

Alfarrobeira

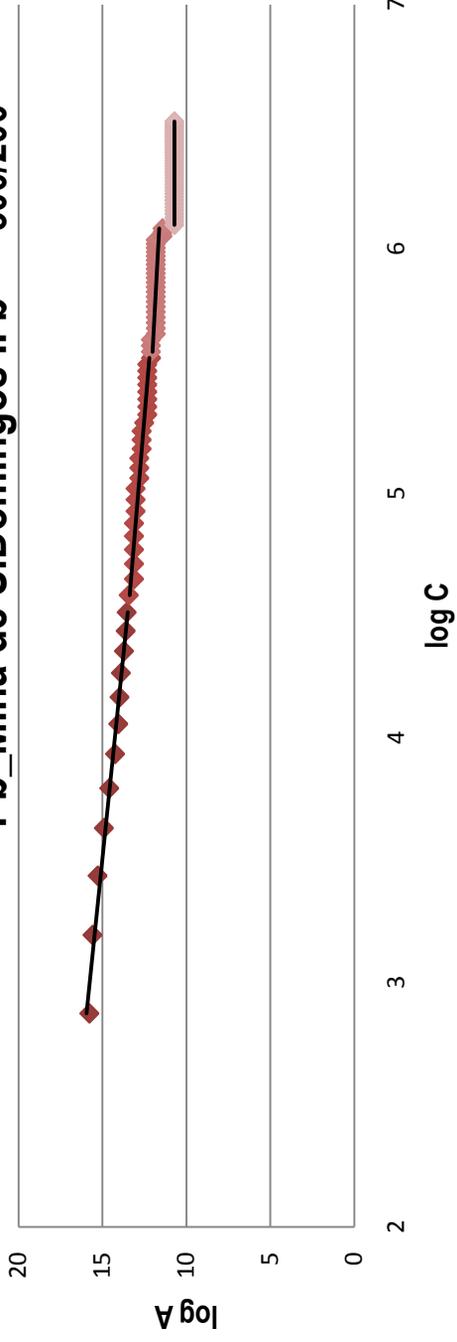
q	tau	Error (2delta)
-3	-9.5941	0.05126
-2.5	-8.34274	0.042297
-2	-7.09886	0.033758
-1.5	-5.86355	0.026087
-1	-4.63856	0.020361
-0.5	-3.42712	0.018647
0	-2.23582	0.022193
0.5	-1.07884	0.029724
1	0.016039	0.016039
1.5	1.010459	0.056068
2	1.884741	0.077714
2.5	2.661665	0.10446
3	3.380373	0.134046

Chança

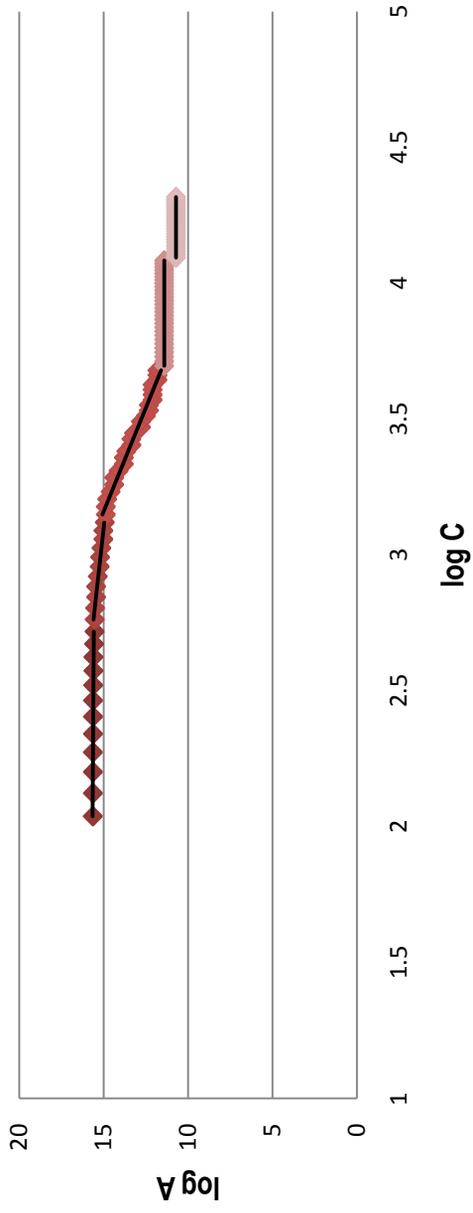
q	tau	Error (2delta)
-3	-8.71377	0.013613
-2.5	-7.5782	0.010121
-2	-6.45332	0.007306
-1.5	-5.33914	0.005316
-1	-4.23597	0.004543
-0.5	-3.14465	0.005257
0	-2.06707	0.007093
0.5	-1.00721	0.009637
1	0.025286	0.012558
1.5	1.005875	0.015212
2	1.885689	0.017619
2.5	2.624121	0.024864
3	3.246093	0.040169



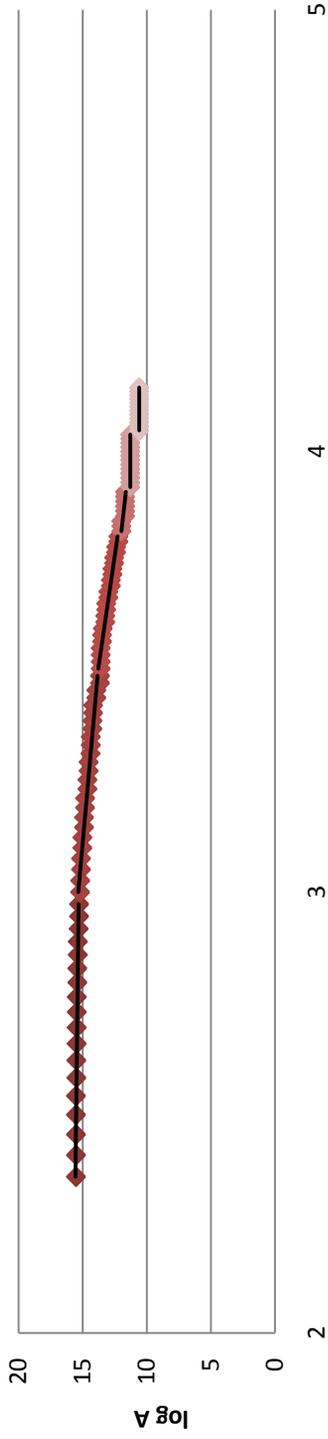
Pb_Mina de S.Domingos II b 300/200



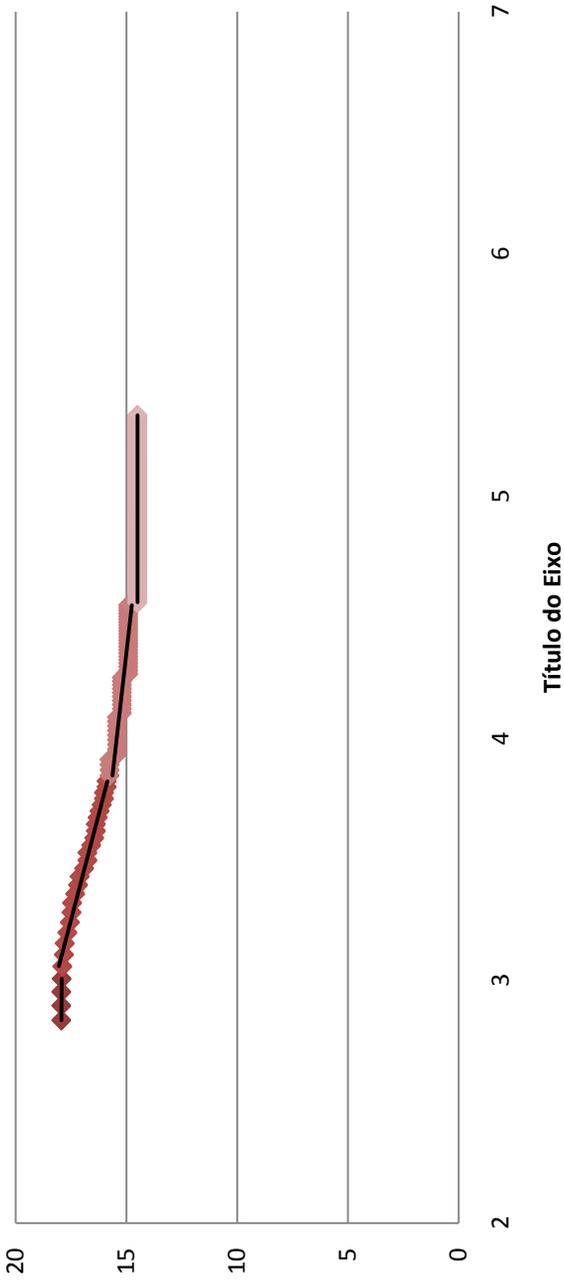
Pb_Chança N 300/200



Pb_Alvares II 200/200



Pb_Alfarrobeira 1000/1000



Anexos

4. Informações relativas aos sedimentos de corrente

4.1) Tabelas de incerteza

4.2) Gráficos Log A vs Log C

Co_Sedimentos de Corrente

q	tau	Error (2delta)
-3	-10.4492	0.04514
-2.5	-9.17301	0.038062
-2	-7.90723	0.031043
-1.5	-6.65138	0.024327
-1	-5.40493	0.018573
-0.5	-4.16739	0.015387
0	-2.93826	0.016786
0.5	-1.71708	0.022244
1	-0.50343	0.029837
1.5	0.703047	0.038494
2	1.902676	0.047769
2.5	3.095744	0.057461
3	4.282503	0.067467

Cu_Sedimentos de Corrente

q	tau	Error (2delta)
-3	-10.7824	0.035989
-2.5	-9.43635	0.031429
-2	-8.10672	0.026886
-1.5	-6.79281	0.022505
-1	-5.49384	0.018717
-0.5	-4.20911	0.016428
0	-2.93826	0.016786
0.5	-1.68188	0.019998
1	-0.44285	0.025053
1.5	0.770429	0.030615
2	1.93864	0.035147
2.5	3.031831	0.037171
3	4.032264	0.037391

Ni_Sedimentos de Corrente

q	tau	Error (2delta)
-3	-10.4715	0.039841
-2.5	-9.1838	0.033979
-2	-7.90994	0.028248
-1.5	-6.64909	0.022811
-1	-5.40056	0.018203
-0.5	-4.16377	0.015674
0	-2.93826	0.016786
0.5	-1.72364	0.021456
1	-0.5196	0.028342
1.5	0.674116	0.036505
2	1.857763	0.0455
2.5	3.031575	0.055119
3	4.195805	0.065251

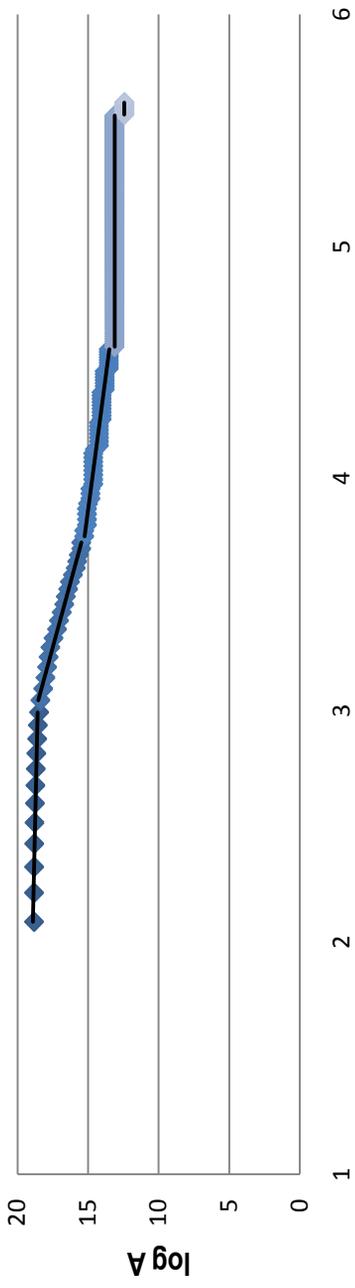
Pb_Sedimentos de Corrente

q	tau	Error (2delta)
-3	-10.7595	0.046531
-2.5	-9.40352	0.039282
-2	-8.06821	0.032212
-1.5	-6.7541	0.025528
-1	-5.46118	0.019761
-0.5	-4.18917	0.016211
0	-2.93826	0.016786
0.5	-1.71222	0.021449
1	-0.53188	0.027691
1.5	0.524561	0.031914
2	1.353782	0.038608
2.5	2.016915	0.061178
3	2.620418	0.093348

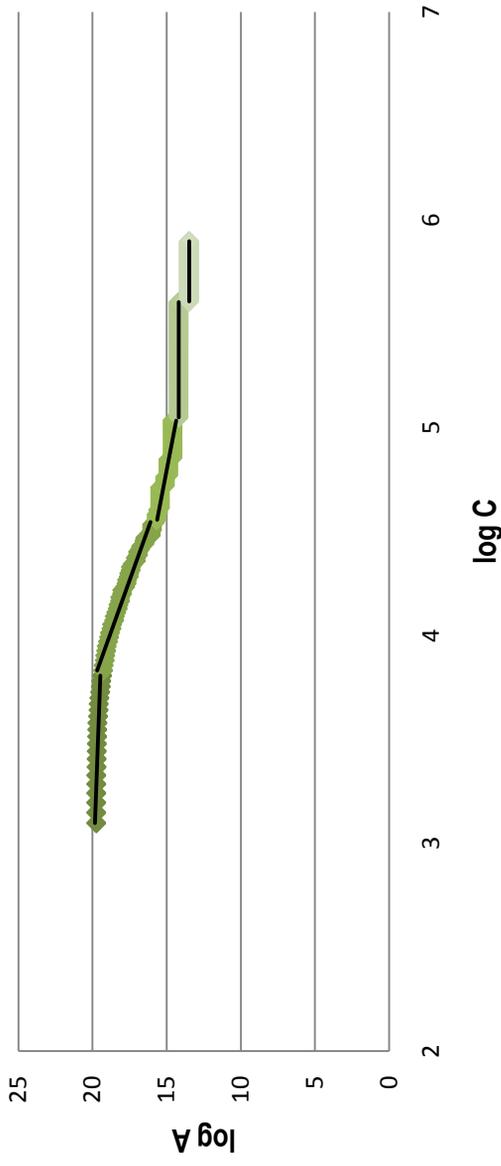
Zn_Sedimentos de Corrente

q	tau	Error (2delta)
-3	-10.9398	0.026667
-2.5	-9.57133	0.023258
-2	-8.21544	0.020536
-1.5	-6.87197	0.018975
-1	-5.54079	0.01914
-0.5	-4.22197	0.021361
0	-2.91633	0.025559
0.5	-1.62649	0.031514
1	-0.35909	0.039108
1.5	0.871999	0.04829
2	2.043758	0.05892
2.5	3.13144	0.07082
3	4.127218	0.084107

Cu_Sedimentos de Corrente 500/500

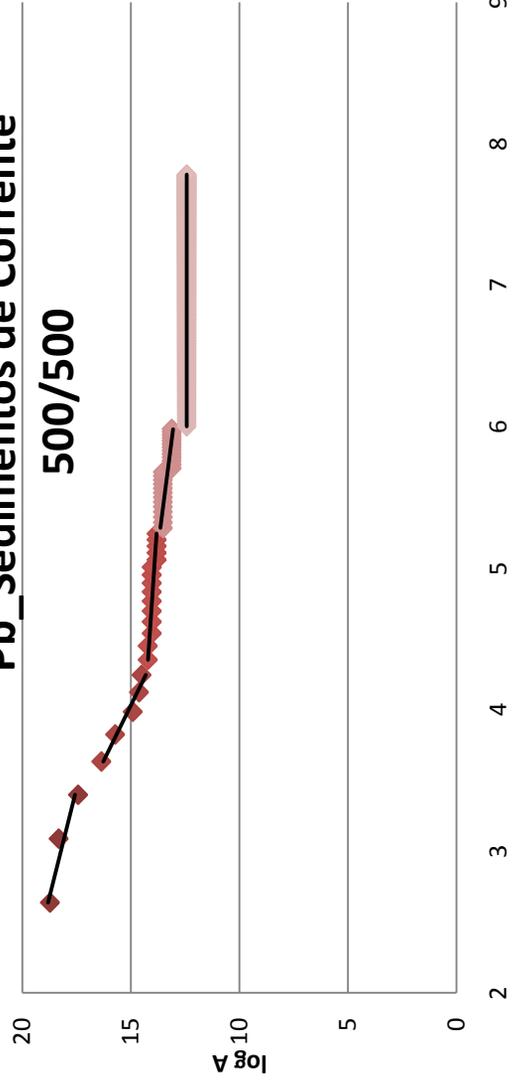


Zn_Sedimentos de Corrente 850/750



Pb_Sedimentos de Corrente

500/500



Co_Sedimentos de Corrente

500/500

