

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

André Filipe Calado Saldanha

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

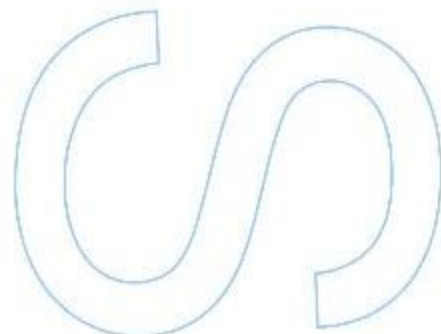
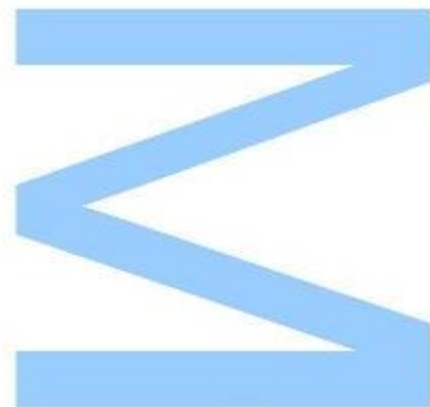
2020

Orientador

António Guerner, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Supervisor

Bruno Vieira, Geólogo na empresa José Machado & Costas, Lda.



M

S

C

Agradecimentos

Dedico este pequeno parágrafo a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização do presente trabalho.

Um agradecimento especial ao Professor Doutor Guerner Dias por ter acedido à orientação deste trabalho, por ter sido parte imprescindível no primeiro contacto com a empresa José Machado e Costas, Lda., empresa onde realizei o meu estágio curricular de mestrado, bem como pelo apoio e disponibilidade sempre prestados.

Um agradecimento a todos os funcionários da José Machado e Costas Lda., pela boa receção e rápida integração no seio da empresa, em especial ao Senhor Machado, ao Doutor José Mota, ao Doutor Jorge Peixoto e ao Doutor Bruno Vieira, tendo sido com eles que lidei mais diariamente, sendo eles o sócio, sócio-gerente, e corpo técnico da José Machado e Costas Lda., respetivamente, tendo sido eles que me proporcionaram todas as condições de trabalho, lazer e convívio além daquelas a que eram da sua responsabilidade.

Um grande agradecimento singular ao Doutor Bruno Vieira, que além das obrigações para com a José Machado e Costas Lda., aceitou ser o Supervisor deste projeto, sendo ele quem orientou o decurso deste trabalho no seio da empresa. Muito obrigado pelo tempo e paciência dispensados para minha aprendizagem e esclarecimento de todas as dúvidas que surgiram.

Um agradecimento a toda a minha família que possibilitou o meu ingresso na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, sendo que sem eles e sem o seu apoio o caminho não teria sido percorrido da mesma forma nem com a mesma facilidade.

Por último e não menos importante que todos os outros, um agradecimento muito especial à minha namorada, Eunice, por todo o apoio incondicional durante todo o meu percurso.

A todos, um sincero muito obrigado.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a importância da prospecção em áreas distintas.

A pluridisciplinaridade da prospecção permite a sua utilização em meios muito distintos, desde a aplicação de conhecimentos não invasivos como a geofísica, que através de métodos como a resistividade elétrica ou a refração sísmica nos permitem adquirir um grande número de informações do solo, até à utilização de métodos invasivos, como a perfuração. Esta perfuração vem possibilitar grandes avanços no que diz respeito ao profundo conhecimento de maciços terrosos e/ou maciços rochosos, permitindo a execução de inúmeros ensaios in situ como ensaios SPT (Standard Penetration Test), ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc, entre outros. Para além dos ensaios in situ, possibilita a recolha de amostras utilizadas em ensaios laboratoriais, dando-nos a conhecer os maciços terrosos e/ou rochosos como de outra forma não seria possível.

A prospecção tem de ser vista como uma mais-valia e não com uma conotação negativa. É a prospecção que, quando bem empregada, permite uma perfeita noção do que podemos esperar quer de uma obra de engenharia quer de uma exploração mineira, evitando muitos problemas, desde financeiros a acidentes graves que podem pôr em risco muitas vidas, sendo estes apenas dois exemplos entre muitos dos que poderiam ser apresentados acerca da importância da prospecção.

Palavras-chave: Geologia; Hidrogeologia; Geotecnia; Prospecção.

Abstract

This work aims to present and highlight the importance of prospection.

The pluridisciplinarity of prospection is undeniable and allows it to be used in a very wide range, from the application of non invasive methods such as geophysics, through electrical resistivity testing, seismic refraction, among other, to invasive methods such as drilling.

All these methods allowed great advances in acquired knowledge of earth masses and/or rock masses, allowing the execution of numerous in situ tests such as SPT (Standard Penetration Test), permeability tests such as Lefranc type, among others.

In addition it allows the collection of samples needed for laboratory tests, granting us a knowledge that, otherwise, would not be possible.

Prospection has to be seen as an asset and not like something bad. It's prospection that, when wisely used, allows us to have a perfect sense of what lies beneath our feet, letting us know what to expect from an engineering work or from a mining operation, avoiding many problems, from financial to serious accidents that can endanger many human lives, being these only two of many possible examples that could be given about the importance of prospection.

Key Words: Geology, Hydrogeology; Geotechnics; Prospection.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	ii
Palavras-chave	ii
Abstract.....	iii
Key Words	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de tabelas	x
Índice de abreviaturas	xi
1. Introdução	1
1.1. A empresa: José Machado & Costas, Lda.	2
1.2. Objetivos	2
2. Enquadramento Teórico.....	5
2.1. Prospeção Hidrogeológica e a sua importância	5
2.2. Ciclo Hidrológico.....	6
2.3. Água superficial e água subterrânea	9
2.4. A circulação de água na zona não saturada	10
2.5. A circulação de água na zona saturada	12
2.6. Aquífero, aquífero confinado, aquífero artésiano.....	13
2.6.1. Aquífero Livre e Aquífero Confinado	14
2.7. Prospeção, pesquisa, captação e de água	15
2.7.1. Métodos e materiais.....	15
3. Prospeção Geotécnica e a sua importância	31
3.1. Sondagens geotécnicas	34
3.2. Ensaios penetrométricos	37
3.2.1. Ensaio SPT (Standard Penetration Test).....	37
3.3. Geofísica aplicada à prospeção geotécnica – método GPR	44
3.4. Instrumentação – Instalação de piezômetros.....	44
3.5. Amostragem de água	47

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

3.6.	Ensaio de permeabilidade do tipo Lefranc	48
3.7.	Ensaio Laboratoriais	50
3.7.1.	Análise granulométrica.....	50
3.7.2.	Limites de consistência de Atterberg.....	51
4.	Casos de estudo	53
4.1.	Caso de estudo 1 (Sobrado).....	53
4.1.1.	Enquadramento Geográfico	53
4.1.2.	Enquadramento Geológico.....	54
4.1.3.	Enquadramento Geomorfológico, Hidrogeológico e Climatológico	55
4.1.4.	Trabalhos realizados	56
4.1.5.	Parâmetros de recolha de dados de resistividade elétrica.....	60
4.1.6.	Resultados obtidos.....	61
4.1.7.	Discussão dos resultados do caso 1	67
4.2.	Caso de estudo 2 (Braga).....	71
4.2.1.	Enquadramento Geográfico	71
4.2.2.	Enquadramento Geológico.....	72
4.2.3.	Enquadramento Geomorfológico, Hidrogeológico e Climatológico	73
4.2.4.	Enquadramento Sísmico	77
4.2.5.	Trabalhos realizados	78
4.2.5.1.	Parâmetros de recolha de dados GPR	84
4.2.6.	Resultados obtidos.....	85
4.2.6.1.	Ensaio in situ	85
4.2.6.2.	Ensaio laboratoriais	89
4.2.7.	Discussão dos resultados do caso 2	91
5.	Conclusões e limitações.....	97
	Bibliografia	99
	Webgrafia.....	100
	Anexos.....	101

Índice de figuras

Figura 1 – Gráfico representativo da utilização da água subterrânea nos diversos setores referente a 1975 (Todd, 1980).	5
Figura 2 – Distribuição do volume captado para os setores urbano, agrícola, industrial e pecuário por origem de água superficial ou subterrânea (dados referentes ao ano de 2016), por região hidrográfica – RH (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).	6
Figura 3 - distribuição dá água em percentagem do seu volume total (retirado de Fetter, 2001).	7
Figura 4 - Ciclo hidrológico (fonte: http://waterdropess.blogspot.com/2016/03/o-ciclo-hidrologico.html).	8
Figura 5 - Meio poroso não saturado (Adaptado de Todd, 1980).	10
Figura 6 - Representação esquemática da zona não saturada e suas subzonas (adaptado de Dingman, 1994).	11
Figura 7 – Variação do nível da superfície freática (adaptado de Price, 1996).	12
Figura 8 - Esquema representativo de aquífero livre, confinado, superfície freática, superfície piezométrica e recarga dos respetivos aquíferos. Adaptado de Todd, 1980.	15
Figura 9 – Sismógrafo e geofones (Fonte: alphageofisica.com).....	18
Figura 10 – Esquema representativo do método da refração sísmica (Fonte: ResearchGate).	19
Figura 11 – Perfuração por rotopercussão com martelo de fundo de furo (Retirado de: CS/04, IPQ).	21
Figura 12 – Perfuração por rotação com circulação direta (Retirado de CS/04, IPQ)..	23
Figura 13 – Perfuração com rotação por circulação inversa (Retirado de CS/04, IPQ).	24
Figura 14 – Alguns tipos de tubo-ralo (adaptado de IPQ) (CS/04).	25
Figura 15 – Dispositivo de medição de caudal com tanque de aferição ou com caudalímetro (adaptado de CS/04, IPQ).	27
Figura 16 – Curva característica e determinação de caudal crítico (Adaptado de CS/04, IPQ).	28
Figura 17 – Horizontes mais comuns do solo (Fonte: http://geoconceicao.blogspot.com/2014/07/solo-horizontestextura.html consultado em 05/04/2020).	33
Figura 18 – Sondagem de furação à rotação com recurso a trado oco helicoidal (fonte: própria).	36
Figura 19 – Execução de ensaio SPT (fonte: própria).	38

Figura 20 – Correlação entre os resultados do Ensaio SPT e a tensão admissível de sapatas sobre solos arenosos, admitindo um assentamento máximo de 25mm (Terzaghi & Peck, 1948).	39
Figura 21 – Correlação entre resultados do Ensaio SPT e a tensão admissível de sapatas sobre solos granulares e solos coesivos (Milititsky e Schnaid, 1995).	40
Figura 22 – Correlação entre resultados do Ensaio SPT e tensão vertical efetiva sobre um determinado angulo de atrito em solos granulares, abaixo de 2m de profundidade (Mitchell e outros, 1978).	40
Figura 23 – Amostrador de Terzaghi (fonte: própria).....	41
Figura 24 – Amostras devidamente acondicionada e etiquetadas (fonte: própria).	42
Figura 25 – Exemplo de log de sondagem em maciço terroso (fonte: própria).....	43
Figura 26 – Piezómetro hidráulico de tubo aberto (Fernandes, 2006).....	45
Figura 27 – Piezómetro hidráulico tipo Casagrande (Fernandes, 2006).....	45
Figura 28 – Piezómetro elétrico (Fernandes, 2006).	46
Figura 29 – Amostrador de água subterrânea tipo Bailer (fonte: própria).	47
Figura 30 – Amostra de água devidamente acondicionada e etiquetada (fonte: própria).	48
Figura 31 – Limites de classificação granulométrica dados por 4 sistemas de classificação distintos (Adaptado de Carter, 1993).	51
Figura 32 – Vila de Sobrado localizada no Mapa de Portugal.	53
Figura 33 – Enquadramento geográfico no extrato da Folha 111 – Paços de Ferreira, da Carta Militar de Portugal.	54
Figura 34 – Folha 9-D-Penafiel da Carta Geológica de Portugal 1:50000. Local de estudo assinalado a vermelho.	55
Figura 35 - Imagem Google Earth onde se assinala uma antiga linha de água bem como o local de execução dos perfis geoeletricos (retirado de Google Earth).	57
Figura 36 - Imagem Google Earth onde se assinala a antiga linha de água bem como os locais de execução dos perfis geoeletricos à data da realização dos trabalhos (retirado de Google Earth).	57
Figura 37 - Talude observado durante a visita ao terreno interessado para a realização de um furo de pesquisa e captação de água.	58
Figura 38 – Localização dos perfis geoeletricos efetuados em imagem retirada do Google Earth.	59
Figura 39 – Montagem de perfil elétrico e leitura de coordenadas GPS (fonte: própria).	60
Figura 40 – Resistivímetro utilizado na execução da tomografia elétrica de superfície (fonte: própria).	60

Figura 41 – Perfil geoelectrico 1.	61
Figura 42 – Perfil geoelectrico 2.	61
Figura 43 – Perfil geoelectrico 3.	61
Figura 44 – Perfil geoelectrico 1 e respetiva interpretação.	62
Figura 45 – Perfil geoelectrico 2 e respetiva interpretação.	62
Figura 46 – Perfil geoelectrico 3 e respetiva interpretação.	63
Figura 47 – Locais para possível realização da captação de água com base nos perfis geoelectricos 1, 2 e 3 (fonte: Google Earth).....	63
Figura 48 – Máquina perfuradora utilizada na execução utilizado na execução do furo.	64
Figura 49 – Compressor	
Figura 50 – Tubo de revestimento em PVC.	64
Figura 51 - Corte representativo do furo de pesquisa e captação de água efetuado (fonte: própria).	65
Figura 52 – Evolução do nível hidrodinâmico ao longo do ensaio de caudal realizado.	66
Figura 53 – Projeção dos dados do ensaio de recuperação num diagrama semilogarítmico, para aplicação do método de Theis & Jacob (1935).....	67
Figura 54 – Braga localizado no Mapa de Portugal.....	71
Figura 55 – Excerto da folha 70 da Carta Militar de Portugal (1:50000) com localização do local em estudo.....	72
Figura 56 – Excerto da folha 5D – Braga da Carta Geológica de Portugal (1:50000)..	73
Figura 57 – Excerto da Folha 1 da Carta Hidrogeológica de Portugal (escala 1:200 000).	74
<i>Figura 58 – Zonamento de risco sísmico</i> (Fonte: DGA, Atlas do Ambiente, 1996-Registo sísmico compreendido entre 1755 e 1996).	77
Figura 59 – Distribuição de isossistas de intensidade máxima de Portugal Continental (Fonte: DGA, Atlas do Ambiente, 1996-Registo sísmico compreendido entre 1755 e 1996).	77
Figura 60 – Localização dos ensaios realizados (fonte: Google Earth).	78
Figura 61 – Atlas Copco Mustang A32, utilizada nos trabalhos de prospeção (fonte: própria).	79
Figura 62 – Amostrador tripartido (fonte: própria).	80
Figura 63 – Amostras inalteradas, recolhidas no amostrador tripartido, devidamente etiquetadas e acondicionadas (fonte: própria).....	80
Figura 64 – Amostrador do tipo “Terzaghi” (fonte: própria).....	80
Figura 65 – Tubo piezométrico já instalado. Ainda por realizar corte do tubo de acordo com a topografia e execução da tampa de selagem (fonte: própria).	81

Figura 66 – Resultado final da instalação de um tubo piezométrico, onde o mesmo se encontra nivelado com a topografia do terreno e isolado do exterior, evitando qualquer tipo de contaminação ou acidentes (fonte: própria).....	81
Figura 67 – amostrador de água vertical tipo Bailer (fonte: própria).....	82
Figura 68 – Laje de proteção quadrada (fonte: própria). Figura 69 – Interior do poço de captação (fonte: própria).....	83
Figura 70 – Malha retangular estabelecida para recolha de perfis GPR (fonte: própria).	84
Figura 71 – Recolha de dados, visivelmente condicionada pela forte presença de vegetação (fonte: própria).....	85
Figura 72 - Excerto da Carta Geológica 5D-Braga 1:50000, com "corte" que deu origem ao Modelo Hidrogeológico Regional Interpretativo.....	94
Figura 73 - Modelo Hidrogeológico Regional Interpretativo sem escala. Pode ser consultado em anexos com escala (fonte: própria).....	95

Índice de tabelas

Tabela 1 – Capacidade de armazenamento de água em diversos materiais expresso em percentagem (Adaptado de Todd, 1980).....	14
Tabela 2 - Classificação de solos incoerentes quanto à compacidade relativa (Terzaghi e Peck, 1948).....	39
Tabela 3 - Classificação de solos coerentes quanto à consistência (Terzaghi e Peck, 1948).	39
Tabela 4 – Coordenadas, comprimento e espaçamento entre elétrodos dos perfis elétricos realizados.	59
Tabela 5 – Excerto da Folha 1 da Carta Hidrogeológica de Portugal (escala 1:200 000).	75
Tabela 6 - Resumo das quantidades de trabalho executadas (sondagens mecânicas).	85
Tabela 7 - Profundidade de colheita de cada amostra.	86
Tabela 8 - Profundidade do nível de água subterrânea.....	87
Tabela 9 - Medições executadas no poço e piezómetros durante a bombagem.	87
Tabela 10 - Resultados dos ensaios Lefranc.	88
Tabela 11 - Grau de permeabilidade, (Terzaghi & Peck, 1967).....	88
Tabela 12 - Classificação granulométrica segundo o coeficiente de permeabilidade (MELLO e Teixeira, 1967).....	88
Tabela 13 - Resultados dos ensaios de caracterização dos solos.	89
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de agressividade da água subterrânea.	91
Tabela 15 - Classificação de solos incoerentes quanto à compacidade relativa (Terzaghi e Peck, 1948).....	93
Tabela 16 - Grau de alteração de um maciço rochoso (I.S.R.M).....	93
Tabela 17 - Características das zonas geotécnicas para o maciço.	96

Índice de abreviaturas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

DGA – Direção Geral do Ambiente

DPSH – Dynamic Penetration - Super Heavy

GPS – Global Positioning System

GPR – Ground Probing Radar

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ISRM – International Rock Mechanics Society

SPT – Standard Penetration Test

Página deixada intencionalmente em branco

1. Introdução

A água é um recurso essencial para a sobrevivência de todas as espécies, tendo uma grande influência no nosso dia-a-dia. Ao contrário do que muitos pensam, a grande parte da água doce no estado líquido de que usufruímos, vem do subsolo. A cada vez maior necessidade e procura de água, veio estimular o desenvolvimento de métodos e técnicas para a investigação da sua ocorrência e qual o seu comportamento no subsolo (Todd, 1980).

Encontrando-se este recurso no subsolo, invisível, como sabe o ser humano onde o prospear? Onde o explorar? A perfuração do solo tem custos e por isso não deve ser feita de forma aleatória. Aqui entra o conceito e a importância da prospeção (Freeze & Cherry, 1979).

A prospeção permite, através de inúmeras técnicas, intrusivas ou não, adquirir conhecimento sobre aquilo que se passa por baixo dos nossos pés, no subsolo. Este conhecimento é fundamental e é utilizado na prospeção hidrogeológica, servindo de malha, de guia, aumentando a probabilidade de encontrar este bem essencial, este recurso indispensável, reduzindo os custos de uma prospeção hidrogeológica aleatória.

Para além da prospeção hidrogeológica, a prospeção é muito importante também noutros domínios, como por exemplo no domínio geológico-geotécnico.

A prospeção geotécnica visa o reconhecimento da natureza e características do terreno, a sua disposição e possíveis acidentes que tenham interesse para o estudo em questão. Tem como objetivo a obtenção de perfis de maciços terrosos/rochosos com informação geológico-geotécnica e obtenção de amostras representativas, perturbadas ou inalteradas, bem como informação da circulação de água nos terrenos, respetivo nível freático, permeabilidade do solo, entre outros (Coelho, 1996). Neste domínio a água representa na maioria dos casos um problema, podendo provocar uma grande variedade de acidentes como, por exemplo, deslizamento de taludes, abatimento de terrenos, inundação de escavações, fugas e rutura de barragens, entre outros, devido ao seu comportamento, quer no exterior quer no interior dos solos e dos maciços rochosos.

É este reconhecimento e estudo, proporcionado pela prospeção que permite a construção de todo o tipo de infraestruturas, que servem de base à vida como a conhecemos nos dias de hoje, permitindo-nos ter um estilo de vida e comodidade diferentes do passado.

1.1. A empresa: José Machado & Costas, Lda.

A José Machado & Costas, Lda., com designação comercial Triáguas®, é uma empresa portuguesa, fundada no ano de 1998. A sua sede está localizada no setor norte do país, na Rua da Alegria, Nº16, freguesia de Sanfins de Ferreira no concelho de Paços de Ferreira.

É uma empresa prestadora de serviços, inicialmente especializada em estudos hidrogeológicos, como captações de água subterrânea, com o objetivo de ir de encontro às necessidades visíveis das populações na procura e obtenção de água.

Mais recentemente, integrou nos seus serviços a vertente da geologia aplicada à engenharia, desenvolvendo estudos geológico-geotécnicos de norte a sul do país, afirmando-se como um prestador de serviços de referência no setor.

Para além de integrar a vertente aplicada à engenharia, iniciou também operações no setor mineiro, que, recorrendo às técnicas mais avançadas e inovadoras do mercado bem como ao know-how e experiência dos seus funcionários, proporciona aos seus clientes um excelente serviço, apontando e resolvendo problemas de forma prática e eficaz.

A empresa é constituída, no total, por 18 funcionários entre operadores de maquinaria e técnicos especializados. Conta ainda com 2 sócios que participam diária e ativamente no bom funcionamento da mesma.

Na atualidade a empresa conta com 9 máquinas perfuradores destinadas a trabalhos de perfuração nos vários setores mencionados, camiões de transporte das mesmas e carrinhas de transporte de todo o material de apoio necessário. Deste material fazem parte vários compressores de alta pressão e elevado débito.

Das infraestruturas da empresa faz também parte um estaleiro, necessário para o armazenamento destes meios de logística e de todo o material afeto aos mesmos.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral compreender e avaliar a importância e utilidade dos diversos métodos de prospeção aplicados no âmbito hidrogeológico e geológico-geotécnico, bem como avaliar as suas diferenças e condicionantes.

Ao nível da prospeção hidrogeológica é necessário desenvolver a capacidade de compreensão do ciclo hidrológico, percebendo como se movimenta a água no solo e o que influencia esse movimento, quer em meio superficial quer em meio subterrâneo,

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

sendo que estes fatores são determinados por características do meio poroso e/ou fraturado, como a sua estrutura, textura, granulometria, entre outros.

A geofísica é também um campo de estudo muito importante na prospeção hidrogeológica e, assim, podemos ter como objetivo específico compreender o(s) métodos mais fiáveis na atualidade, como funcionam e os resultados obtidos pelos mesmos.

Ao nível da prospeção geológico-geotécnica, um outro objetivo específico passa por avaliar diferentes métodos de prospeção que permitam obter informações sobre os maciços terrosos e/ou rochosos interessados, avaliando a possibilidade de correlacionar alguns deles.

O tipo de informação geológico-geotécnica a recolher é muito vasta, sendo que o método de prospeção vai ser determinado pelas informações requeridas em cada caso de estudo específico, variando desde a determinação das propriedades mecânicas do solo, recorrendo a ensaios DPSH ou sondagens com realização de ensaios SPT e com recolha de amostras para determinação da sua granulometria, determinação dos limites de Atterberg, entre outros, até à definição e compreensão das suas propriedades hidrológicas, como a sua permeabilidade, avaliada por ensaios como ensaios de caudal e/ou ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc ou Lugeon, tendo como terceiro objetivo específico compreender os diferentes métodos de avaliação destes diferentes parâmetros, em que casos são utilizados e quais as suas limitações.

Página deixada intencionalmente em branco

2. Enquadramento Teórico

2.1. Prospecção Hidrogeológica e a sua importância

“Water contained in saturated zones is importante for engineering works, geologic studies, and water supply developments” – Todd, 1980.

Muitas civilizações desenvolveram-se e tornaram-se grandiosas com o uso de fornecimentos fiáveis de água, da mesma forma colapsando quando esses fornecimentos falharam (Fetter, 2001).

A água é, como todos sabemos, essencial à vida e por isso mesmo a distribuição da vida na Terra tem como base as fontes e a distribuição da água. Uma exceção disso somos nós, Humanos, seres capazes de a manusear e de a redistribuir dentro de certos limites.

No século XVII tornou-se claro que não era possível a água das nascentes ser resultado apenas da água superficial originada pela pluviosidade, sendo elaboradas diversas teorias sobre o tema pelos povos mais distintos. No século XVIII ficou estabelecida a base da compreensão da existência e movimentação da água subterrânea. O interesse pela matéria continuou a crescer até que, no século XIX, Henry Darcy, engenheiro hidráulico, estudou o movimento da água através de uma camada de areia, simulando o que seria o seu movimento no subsolo. Desde então o interesse e uso das águas subterrâneas não parou de crescer. Esta fonte de água é a principal fonte de água doce no estado líquido existente no Planeta. É usada para tudo, desde o uso rural à agricultura ou indústria. A figura 1 mostra o uso dado à água subterrânea nos EUA no ano de 1975.

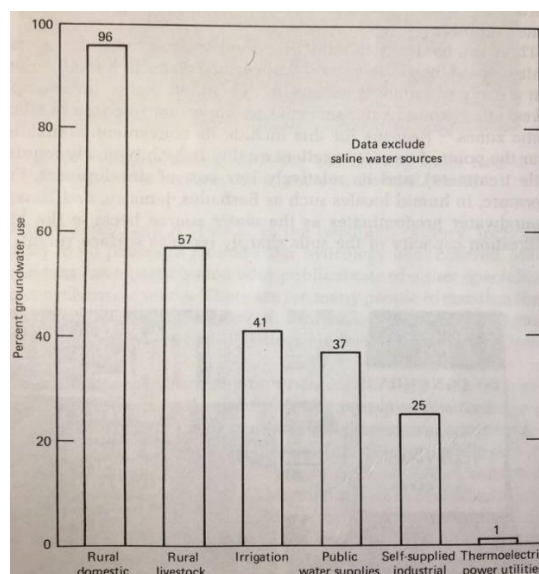


Figura 1 – Gráfico representativo da utilização da água subterrânea nos diversos setores referente a 1975 (Todd, 1980).

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Na figura 1 observamos dados de 1975, podendo pensar que no presente a sua importância diminuiu, no entanto estaríamos redondamente enganados.

Na figura 2, temos representados graficamente dados do ano de 2016 que nos permite perceber que a água subterrânea continua a ser um recurso de extrema importância em todos os setores, nomeadamente no setor urbano, setor agrícola, na indústria e pecuária.

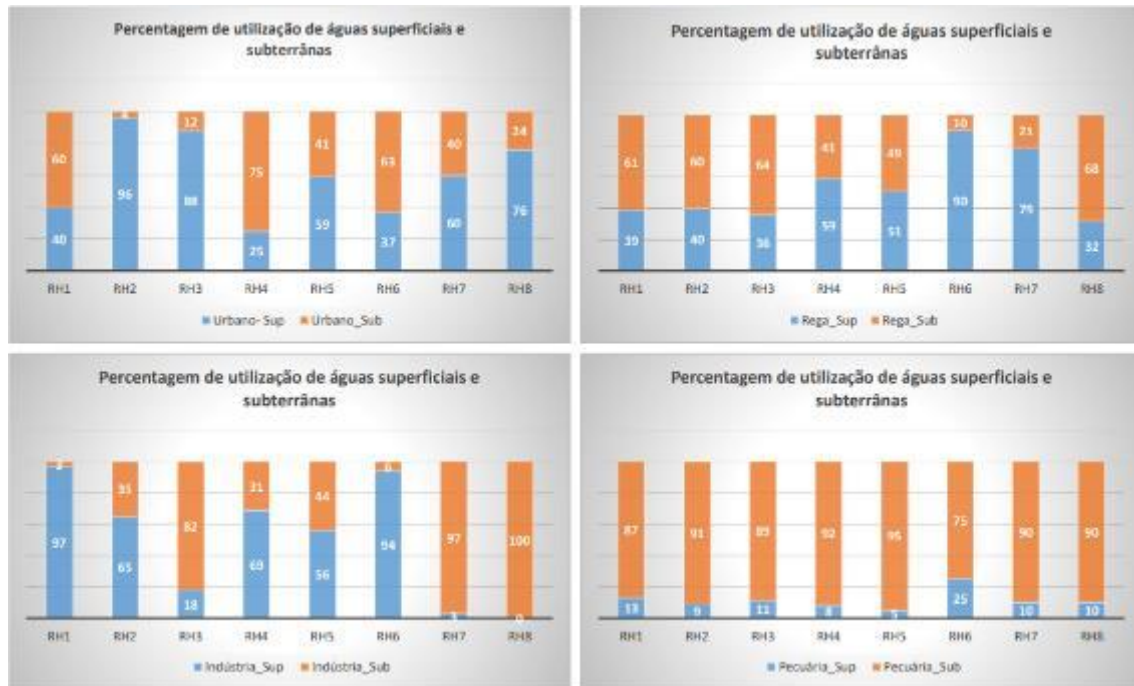


Figura 2 – Distribuição do volume captado para os setores urbano, agrícola, industrial e pecuário por origem de água superficial ou subterrânea (dados referentes ao ano de 2016), por região hidrográfica – RH (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).

Tendo uma melhor noção da real importância da água subterrânea e do uso que lhe damos, então de onde vem ela? A água subterrânea faz parte do grande ciclo da água, o Ciclo Hidrológico.

2.2. Ciclo Hidrológico

A água movimenta-se na Terra de uma forma dinâmica, entre o oceano, a atmosfera e os continentes, sendo que esse conjunto de movimentos complexos é descrito pelo Ciclo Hidrológico. Não há um ponto inicial nem final neste ciclo, mas admite-se que este se inicia nos oceanos, isto por ser o maior reservatório de água do planeta, com cerca de 97.2% de toda a água existente (Fetter, 2001).

É importante perceber que quando se fala de Ciclo Hidrológico não se fala apenas da água de rios, lagos e oceanos. Deste ciclo faz também parte a água contida na atmosfera que volta à superfície sob a forma de precipitação, a água integrante do

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

processo de evapotranspiração e a água subterrânea (Todd, 1980), sendo esta última pertencente ao subciclo mais importante do ciclo hidrológico no que toca à água para consumo humano, pois é nele que temos a maior parte da água em área emersa no estado líquido, cerca de 97.6%.

A distribuição da água, em percentagem do seu volume total, é:

- Água dos oceanos: 97.2%
- Água glacial: 2.14%

Nos continentes:

- Água subterrânea: 0.61%
- Água superficial: 0.009%
- Humidade do solo: 0.005%
- Água atmosférica: 0.001%

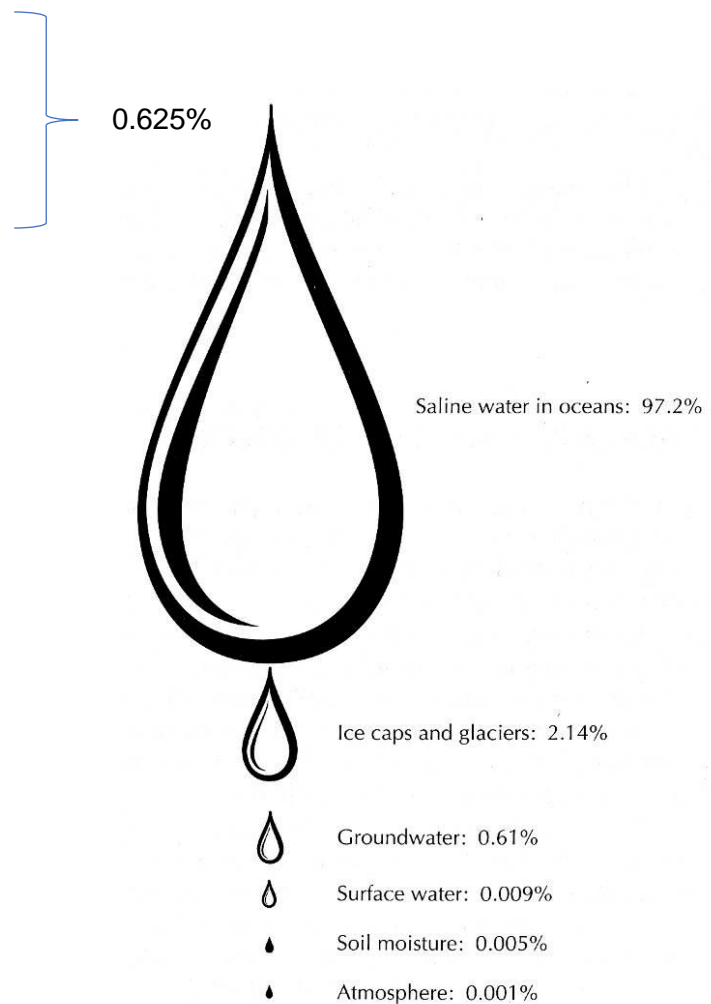


Figura 3 - distribuição dá água em percentagem do seu volume total (retirado de Fetter, 2001).

É na área continental onde existe maior geração e alteração de diferentes fluxos hídricos, tornando por isso o seu estudo mais complexo. Na figura 4 podemos observar uma representação esquemática dos diferentes fluxos integrantes do Ciclo Hidrológico, desde o oceano até ao continente.

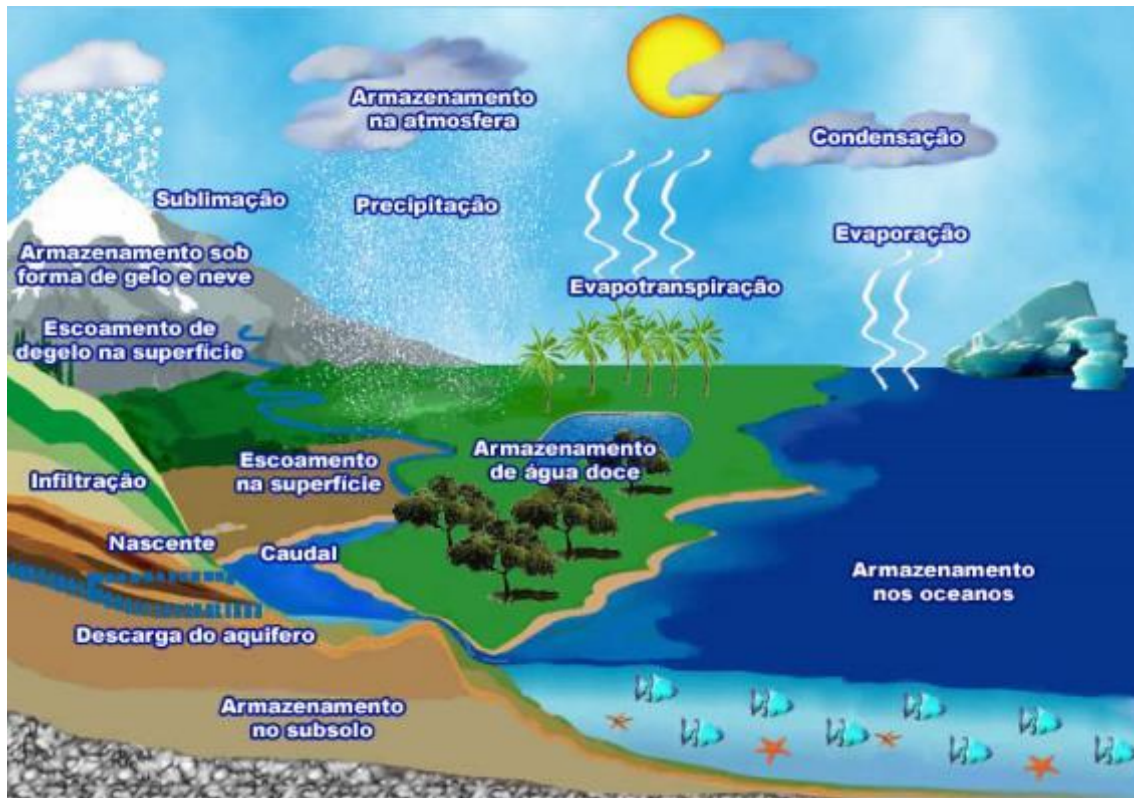


Figura 4 - Ciclo hidrológico (fonte: <http://waterdropess.blogspot.com/2016/03/o-ciclo-hidrologico.html>).

Assumindo o início deste ciclo interminável nos oceanos, a água começa por se evaporar dos mesmos, dando origem ao vapor de água que vai então condensar e dar origem a partículas de água ou gelo. Essas partículas vão originar precipitação, podendo esta acontecer sobre os oceanos ou sobre a área continental. Quando a precipitação ocorre nos continentes a água pode escoar superficialmente, alimentando o fluxo dos rios, acabando por desaguar em lagos ou novamente no oceano. Pode também, quando a superfície é porosa/fissurada, penetrar no solo e escoar através dele, originando o processo denominado de infiltração (Fetter, 2001). Após a infiltração, a água vai percolar pelo solo ou através de maciços rochosos seguindo o seu percurso, podendo atingir novamente a superfície através de nascentes ou movimentando-se até ao leito dos rios.

A emergência de água no leito dos rios ajuda a manter o seu caudal quando a escorrência superficial é baixa ou inexistente (Todd, 1980).

Embora este ciclo pareça fechado, não o é, pois há algumas exceções onde há perda e acréscimo de água. O vulcanismo é um exemplo onde a água contida nos magmas é libertada na atmosfera ou nos oceanos através dos fenómenos vulcânicos. Por sua vez, a subducção é um fenómeno que subtrai água do ciclo hidrológico (Fetter, 2001).

2.3. Água superficial e água subterrânea

Com o objetivo de aplicar os conceitos de prospecção hidrogeológica, é imprescindível ter conhecimentos sobre o ciclo hidrológico. É por isso importante identificar e distinguir a água nos seus diferentes subciclos, como, por exemplo, diferenciar águas superficiais de águas subterrâneas visto o seu comportamento e movimentação ser completamente distinto.

Ao mesmo tempo que é importante diferenciá-las e distinguir bem os seus limites, é também importante saber que ambas têm uma relação direta que afetam os processos entre si, para além de inúmeros fatores externos que condicionam e alteram esses mesmos comportamentos e processos.

O subciclo das águas superficiais começa com a precipitação de água sob a forma de chuva, neve, granizo, geada ou orvalho, que ocorre sobre a superfície terrestre, provocando acumulação, sendo que parte dessa precipitação não se irá infiltrar, dando origem a fluxos de escoamento que, escorrendo pela superfície, irão alimentar lagos e rios, constituindo as águas superficiais.

Como supracitado, o comportamento da água em meio subterrâneo é muito diferente do seu comportamento à superfície, sendo notável a diferença de velocidade e de tempo de residência entre ambas.

A água superficial circula muito rapidamente quando comparada com a água subterrânea, chegando ao seu destino com muito maior rapidez, velocidade e pressão, tendo por isso tempos de residência muito menores. A água superficial, que alimenta o leito dos rios, tem um tempo de residência de cerca de duas semanas, enquanto o tempo de residência das águas subterrâneas varia entre as mesmas duas semanas e 10.000 anos (Freeze & Cherry).

As águas subterrâneas são aquelas que penetraram no solo e se vão movimentar pelo seu interior. A infiltração de água no solo dá-se em áreas denominadas zonas de recarga. Após a sua infiltração a água vai percolar e movimentar-se no subsolo até voltar a atingir a superfície, nas chamadas zonas de descarga (Fetter, 2001).

O volume de água que se vai infiltrar depende de diversos fatores, como a quantidade de precipitação num determinado intervalo de tempo, o tipo de solo, o declive do terreno, a sua composição, as modificações antrópicas da superfície, a cobertura vegetal, entre outros, que irão afetar diretamente a permeabilidade dos terrenos (Fetter, 2001), na sua maioria características da denominada Zona não Saturada, zona que faz a transição entre o domínio superficial e o subterrâneo.

2.4. A circulação de água na zona não saturada

A zona não saturada é a zona mais superficial de qualquer terreno, estendendo-se entre a superfície topográfica e a superfície freática, normalmente contendo material mineral e/ou orgânico no estado sólido, água no estado líquido e também água e outros gases no estado gasoso. Também conhecida como zona vadosa (Krynine & Judd, 1957) ou zona de aeração (Fetter, 2001). Aqui os poros encontram-se apenas parcialmente preenchidos por água, sendo o restante espaço preenchido por ar (Freeze & Cherry, 1979), tal como representado na figura 5.

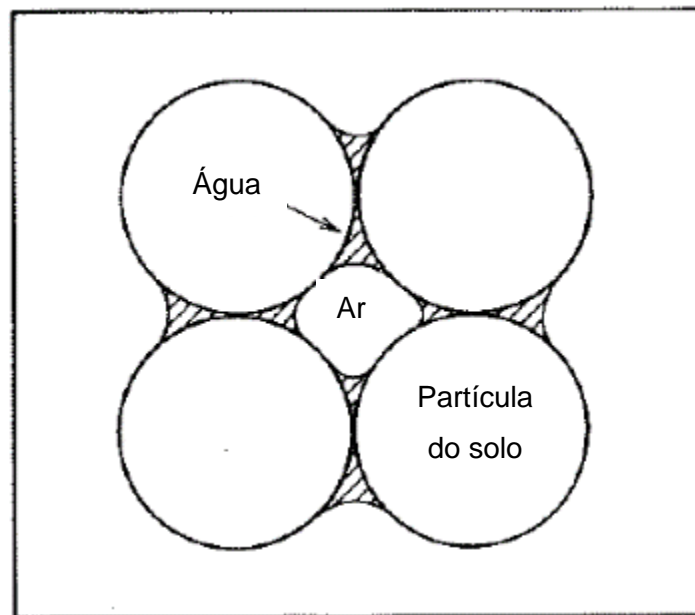


Figura 5 - Meio poroso não saturado (Adaptado de Todd, 1980).

A zona não saturada distingue-se em três subzonas onde a água se comporta de forma distinta.

A subzona superior é considerada desde a superfície topográfica até à zona de alcance das raízes da cobertura vegetal (Todd, 1980). Aqui a água entra por infiltração e sai por meio da evapotranspiração.

A subzona intermédia vai desde o término da subzona superior até perto do nível freático, pelo que a sua espessura pode variar de quase nula em zonas húmidas, a muitas dezenas de metros em zonas áridas. Aqui a água entra por percolação e sai por drenagem gravítica (Fetter, 2001).

Por fim, existe a franja capilar onde a água circula por capilaridade. As moléculas de água, ao entrarem em contacto com as moléculas de ar, produzem uma atração entre ambas, denominada tensão superficial, que somada com a tendência das moléculas de água aderirem a materiais sólidos, dá origem à retenção da água nos canais do solo não saturado (Custodio & Llamas, 2001).

Todos os solos acima da superfície freática têm uma determinada capacidade de sucção, que proporciona este movimento à água, sendo que ela ascende da superfície freática em direção à superfície topográfica. A espessura desta franja capilar depende muito do tipo de solo, sendo que em solos finos, por exemplo solos argilosos, temos franjas capilares de grande espessura. Este movimento de capilaridade é muito lento, podendo demorar anos no caso de solos com maior capacidade de sucção. A saturação na franja capilar decresce à medida que se afasta da superfície freática (Krynine & Judd, 1957). Na figura 6 podemos observar um esquema do descrito.

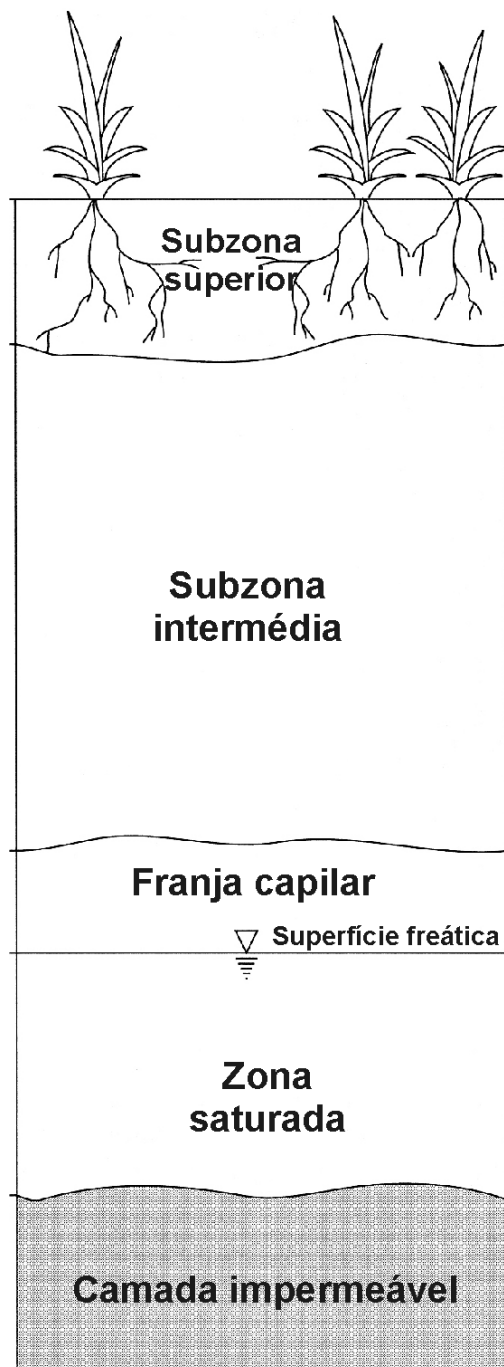


Figura 6 - Representação esquemática da zona não saturada e suas subzonas (adaptado de Dingman, 1994).

A superfície freática é definida como a superfície onde a água nos poros se encontra precisamente à pressão atmosférica, sendo a carga hidráulica no ponto “x” igual à altura atingida pela superfície freática nesse mesmo ponto (Freeze & Cherry, 1979).

A superfície freática não é horizontalmente uniforme, encontrando-se em constante movimento provocado por vários fatores, como flutuações sazonais, flutuações da precipitação e flutuações das descargas para os rios (Krynine & Judd, 1957), podendo mesmo encontrar-se ao nível da cota do solo (Price, 1996), como se pode observar na figura 7.

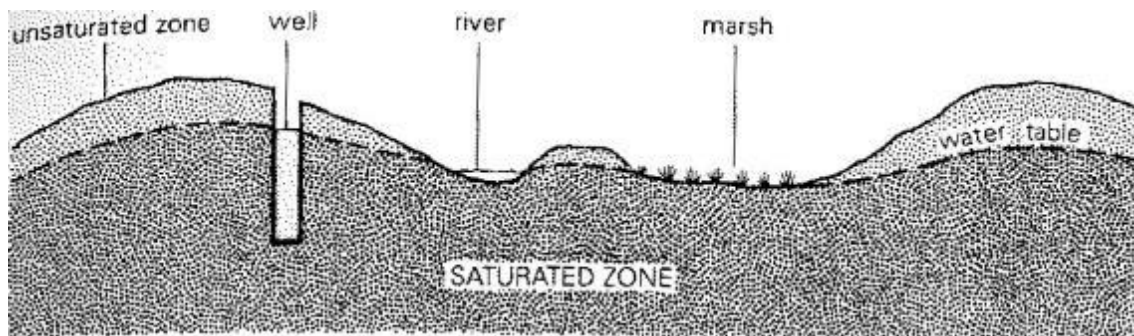


Figura 7 – Variação do nível da superfície freática (adaptado de Price, 1996).

2.5. A circulação de água na zona saturada

A água subterrânea possui energia sob a forma mecânica, térmica e química. O facto de esta energia variar no espaço faz com que a água se movimente na tentativa de encontrar um equilíbrio. A energia térmica pode ser desprezada, admitindo que a água se encontra a uma temperatura média constante, excetuando casos de estudo de fluxos geotérmicos ou outros, onde a temperatura da água tenha variações consideráveis. Sob a forma de energia mecânica, atuam 3 forças externas: a força gravítica, a pressão externa e a atração molecular (Fetter, 2001).

A zona saturada encontra-se abaixo da superfície freática, onde a água preenche na totalidade todos os poros e aberturas de solos e rochas, movimentando-se de acordo com a lei da gravidade (Krynine and Judd, 1957). Para além da gravidade que vai fazer com que a água se mova para o interior do solo, existe ainda a pressão externa, originada pela pressão atmosférica em combinação com o peso de todo o material e água sobrejacente. Por último, temos a atração molecular que provoca a aderência da água a superfícies sólidas (Fetter, 2001).

A água que percola abaixo da superfície freática dá origem aos denominados aquíferos.

2.6. Aquífero, aquífero, aquífero

Aquífero é definido como sendo qualquer formação geológica capaz de reter e transmitir água em quantidades significativas (Freeze & Cherry, 1979). São grandes extensões que podem ser considerados como reservatórios subterrâneos de água, onde a recarga pode ser natural ou artificial.

É possível classificar um aquífero como livre/freático ou confinado/artesiano (Todd, 1980). Uma das características essenciais é a sua porosidade, que pode derivar de espaços intergranulares, no caso de maciços terrosos, ou fraturas, no caso de maciços rochosos (Todd, 1980).

Um aquífero é um termo usado para definir as camadas mais impermeáveis de uma unidade estratigráfica, sendo permeável o suficiente para transmitir água em quantidades suficientes para se ter em conta no circuito subterrâneo, não transmitindo, no entanto, água suficiente para esta ser aproveitada para poços produtivos para as necessidades humanas (Freeze & Cherry, 1979).

Por sua vez um aquífero é uma unidade saturada em água, mas que é incapaz de a transmitir em quantidades significativas (Freeze & Cherry, 1979).

Os aquíferos mais comuns são formações geológicas com grande condutividade hidráulica, como areias não consolidadas, rochas sedimentares permeáveis, entre outras. Um exemplo de aquífero é o caso de argilas ou rochas cristalinas densas e não fraturadas (Freeze & Cherry, 1979).

De salientar que estes termos são bastante versáteis e imprecisos, tendo significados diferentes dependendo das situações, por exemplo num domínio arenoso, as camadas silteosas podem ser consideradas como sendo um aquífero. Já no domínio silto-argiloso as camadas silteosas podem ser consideradas como sendo um aquífero (Freeze & Cherry, 1979).

É tido como provável que cerca de 90% de todos os aquíferos sejam compostos por material não consolidado, essencialmente constituídos por cascalho e areia (Todd, 1980).

Na tabela 1 apresentam-se alguns valores de capacidade de armazenamento de água em diversos materiais geológicos.

Material	Specific Yield, percent
Gravel, coarse	23
Gravel, medium	24
Gravel, fine	25
Sand, coarse	27
Sand, medium	28
Sand, fine	23
Silt	8
Clay	3
Sandstone, fine-grained	21
Sandstone, medium-grained	27
Limestone	14
Dune sand	38
Loess	18
Peat	44
Schist	26
Siltstone	12
Till, predominantly silt	6
Till, predominantly sand	16
Till, predominantly gravel	16
Tuff	21

Tabela 1 – Capacidade de armazenamento de água em diversos materiais expresso em percentagem (Adaptado de Todd, 1980).

2.6.1. Aquífero Livre e Aquífero Confinado

Para além das noções de aquífero, aquífero confinado e aquífero livre é importante saber que existem dois grandes grupos de aquíferos, onde o comportamento da água é completamente diferente.

Um aquífero livre é um aquífero em que o seu limite superior é constituído por um limite de saturação onde a água está à pressão atmosférica. A superfície freática coincide com o limite superior do aquífero, encontrando-se por norma perto da superfície (Freeze & Cherry, 1979). Neste tipo de aquífero a água circula em meio permeável. A sua ascensão até à superfície topográfica, não acontece naturalmente, sendo a sua extração provocada antropicamente através de bombagem.

Por sua vez um aquífero confinado, como o próprio nome indica, é um aquífero em que a água se encontra “presa” por um limite superior e um limite inferior impermeável. Isto faz com que a água se encontre a pressões mais altas que a pressão atmosférica (Todd, 1980). Neste tipo de aquíferos, a superfície potenciométrica situa-se acima do teto do aquífero, fazendo com que a água ascenda sem necessidade de bombagem. Quando a água ascende acima do nível topográfico dá-se o nome de

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

artesianismo repuxante ou positivo. Este tipo de aquífero ocorre a maior profundidade (Freeze & Cherry, 1979).

Sendo este aquífero limitado por material impermeável, como é ele alimentado? A zona de recarga deste tipo de aquíferos encontra-se à superfície.

A figura 8, que se segue, ilustra bem estes dois conceitos de aquífero, bem como os seus métodos de recarga.

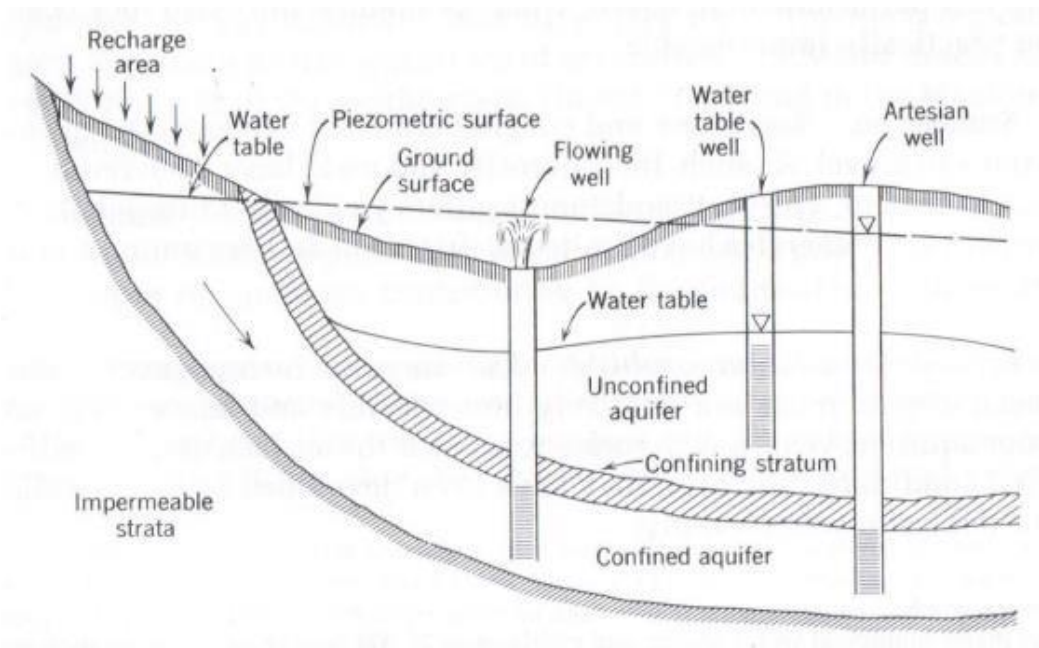


Figura 8 - Esquema representativo de aquífero livre, confinado, superfície freática, superfície piezométrica e recarga dos respectivos aquíferos. Adaptado de Todd, 1980.

2.7. Prospecção, pesquisa, captação e de água

2.7.1. Métodos e materiais

Prospecção:

As águas subterrâneas integram uma componente do ciclo hidrogeológico não visível, sendo a fase mais lenta de todo o ciclo, onde uma única gota pode demorar entre alguns meses, até mesmo alguns anos desde que se infiltra até que volta à superfície.

Fazendo a água, parte de uma das nossas maiores necessidades para sobreviver, a todos os níveis, como prospetá-la e extraí-la para dela conseguirmos usufruir?

A prospecção hidrogeológica passa numa primeira fase pelo reconhecimento da superfície, utilizando diversos métodos diretos, como por exemplo:

- Reconhecimento geológico e geomorfológico;

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

- Análise de cartografia topográfica, geológica, hidrogeológica e morfológica;
- Realização de inventários hidrogeológicos.

Estes meios não tornam a prospeção certa nem exata, mas aumentam a probabilidade da mesma ter sucesso. Um bom reconhecimento de campo permite, juntamente com uma boa análise cartográfica, determinar áreas onde a captação poderá ter maior probabilidade de sucesso.

Alguns dos indicadores que se podem procurar no campo para localizar um potencial local de captação, tendo sempre em conta o tipo de formação litológica, são:

- Falhas;
- Filões;
- Alinhamentos de vegetação;
- Locais de emergência de água;
- Manto de alteração;
- Zona de contacto entre litologias;

Estes indicadores de campo, que um geólogo experiente e atento saberá identificar, são de extrema importância pois têm um baixo custo.

Quando possível, podem e devem ser complementados com estudos geofísicos, como a resistividade elétrica ou a refração sísmica, estes, métodos indiretos (Freeze & Cherry, 1979).

Resistividade elétrica

O método da resistividade elétrica teve origem em 1920 com os trabalhos dos irmãos Schlumberger.

O método da resistividade elétrica consiste na injeção de corrente elétrica no solo através de um par de elétrodos, os elétrodos de corrente, sendo medida a diferença de potencial resultante entre outro par de elétrodos, os elétrodos de potencial. O espaçamento entre os elétrodos vai controlar as profundidades atingidas.

Na prospeção hidrogeológica o interesse recai sobre um bom espaçamento entre elétrodos com o objetivo de abranger uma maior área, aumentando a probabilidade de se intercetarem locais com bons valores de resistividade elétrica, aumentando a probabilidade de se intercetar um aquífero.

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Como vantagens, a resistividade elétrica apresenta:

- Os dados podem ser avaliados no campo;
- Possibilidade em estimar a profundidade e espessura das diferentes camadas;
- Os valores de resistividade podem ser usados para identificar a provável composição geológica de uma determinada camada;

E, como desvantagens:

- Método muito suscetível à proximidade a certos materiais como cercas ou tubos metálicos;
- Método relativamente lento;
- Exige mais do que um operador de campo;
- A heterogeneidade geológica pode levar a erros de análise;

A fórmula de cálculo da resistividade elétrica é:

$$\rho = R (A / L)$$

em que:

ρ = resistividade elétrica

R = resistência demonstrada

A = secção de área atravessada

L = comprimento

No entanto, é importante salientar que este não é um método infalível, dependendo sempre de uma boa análise e espírito crítico do técnico, visto que existem casos em que a baixa resistividade elétrica não significa obrigatoriamente um aquífero, como por exemplo material argiloso.

Se estivermos a traçar um perfil de resistividade elétrica em meio granítico a resistividade elétrica será extremamente alta. Se de repente a corrente elétrica atravessar um corpo de argila, a resistividade baixará drasticamente. Pode ter um resultado gráfico semelhante ao que terá um corpo de água em meio granítico e, no entanto, tratar-se de um corpo de argila. Este é um pequeno exemplo de que o método não é infalível e deve sempre ser analisado com atenção e espírito crítico, tendo em conta os indícios que se observam à superfície e o estudo cartográfico prévio.

Refração e reflexão sísmica

O método da refração e reflexão sísmica é também um método utilizado para detecção de aquíferos baseando-se no facto de que as ondas sísmicas se deslocam a velocidades diferentes dependendo do material que atravessam. Quando as ondas sísmicas passam uma fronteira entre material diferente a sua velocidade muda, as ondas sofrem uma refração de acordo com a Lei de Snell (Freeze & Cherry, 1979).

O seu funcionamento é bastante simples e envolve a criação de um pequeno choque na superfície topográfica, quer pelo impacto de qualquer instrumento pesado ou por uma pequena explosão. Nessa mesma superfície, normalmente em linha reta em relação à fonte das ondas sísmicas, colocam-se recetores denominados geofones, que vão captar a chegada das ondas.

O tempo que decorre entre a emissão das ondas sísmicas pela fonte, até à sua captação pelos geofones é controlado e gravado pelo sismógrafo (Freeze & Cherry, 1979).

Os materiais/equipamentos necessários são:

- Fonte;
- Geofones;
- Sismógrafo.

Na figura 9 podemos observar um sismógrafo e vários geofones devidamente alinhados, enquanto que na figura 10 se pode observar uma representação esquemática do funcionamento do método da refração sísmica.



Figura 9 – Sismógrafo e geofones (Fonte:alphageofisica.com).

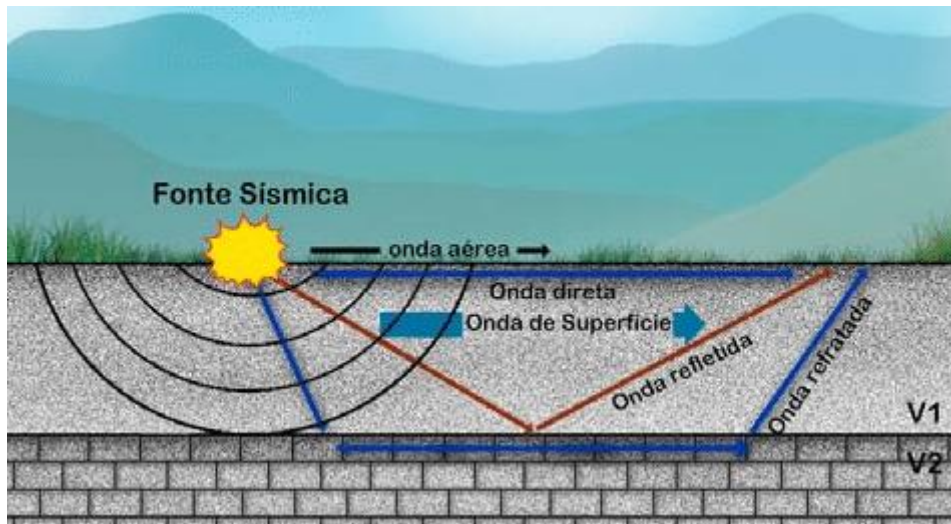


Figura 10 – Esquema representativo do método da refração sísmica (Fonte: ResearchGate).

Irão ser captadas 3 ondas, a onda direta, a onda refletida e a onda refratada, que chegarão ao geofone pela ordem referida. Após a sua chegada é uma questão de fazer os cálculos e perceber a que velocidade estas ondas viajaram. No sismógrafo podemos ainda analisar e diferenciar as ondas P e S. As ondas S só se propagam em meios sólidos pelo que o seu desaparecimento num determinado local pode indicar o aparecimento de um corpo de água ou uma cavidade de ar, sendo assim um bom indicador. Por sua vez, em meio geológico, a velocidade das ondas P é bastante lenta no ar e na água comparando com a maioria dos restantes materiais. Só para termos uma ideia, a onda P viaja a cerca de 6000 m/s num granito enquanto que na água viaja a cerca de 1400 m/s.

Como vantagens, a refração sísmica apresenta:

- Método rápido;
- Método económico;

E, como desvantagens:

- De difícil execução em locais onde o ruído ambiente seja por norma elevado;
- Não adaptável a zonas de pequenas dimensões;
- As heterogeneidades geológicas podem provocar erros de análise;
- A velocidade das ondas sobrepõe-se em zonas saturadas e não saturadas.

Tal como no método da resistividade elétrica, também este necessita de uma boa análise e de dados complementares. O seu resultado, por si só, pode ser enganador em diferentes situações. É mais utilizado em prospeção geotécnica do que em prospeção hidrogeológica.

Após os estudos de prospeção, deverão estar definidos um ou vários locais onde a probabilidade de se encontrar um aquífero seja grande. A importância deste estudo prévio deve-se ao facto de o custo dos meios de prospeção serem bastante mais reduzidos que os custos dos métodos de pesquisa. Estando reunidas as condições requeridas dá-se início aos trabalhos de pesquisa.

Pesquisa:

Os trabalhos de pesquisa englobam a realização de sondagens mecânicas.

Sondagens mecânicas são operações que consistem na abertura de furos de pequeno diâmetro, geralmente a partir da superfície topográfica e na sua grande maioria verticais.

Dependendo da litologia, o método de sondagem tem obrigatoriamente de variar. Na zona centro e norte de Portugal, dominam essencialmente formações geológicas consolidadas, pertencentes ao Maciço Hercínico e compostas essencialmente por rochas ígneas e metamórficas, normalmente designando-se por meio cristalino. Nestas condições o método mais utilizado são as sondagens à rotopercussão. Ao avançar para o sul de Portugal, entramos num domínio sedimentar, de material geológico por vezes não consolidado, onde as sondagens têm de ser feitas por outro método, sendo o mais comum a sondagem à rotação com circulação direta, comumente designada por furação a lamas.

Sondagem por rotopercussão

“O método baseia-se numa ação principal de esmagamento e corte provocada por uma ferramenta acionada por ar comprimido, em que se pode combinar um pequeno movimento de rotação de um “bit” (broca) transmitido pelas hastes de perfuração e um movimento de percussão de elevada frequência e de pequeno curso, dado por um martelo de fundo de furo. Neste caso, o fluido de circulação é o próprio ar comprimido produzido a partir de um compressor, que é transmitido pelo interior da coluna de perfuração, passando pelo martelo e “bit”, servindo como fluido de limpeza. Como complemento à utilização de ar comprimido e visando resolver problemas de limpeza e/ou de instabilidade das paredes de perfuração, podem ser adicionados polímeros no fluido de circulação, para diminuição do seu peso específico.” (transcrito de CS/04, IPQ).

Como vantagens, a furação à rotopercussão apresenta:

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

- Elevada eficácia em rochas duras e consolidadas, com boa rapidez de perfuração/remoção de detritos;
- Permite estimar a produtividade das formações aquíferas durante a perfuração;
- Não provoca a impermeabilização de zonas produtivas;
- Método de custos reduzidos pela elevada rapidez de perfuração;
- Em regra, não necessita de água;
- Amostragem com pouco atraso relativamente ao avanço da perfuração.

E, como desvantagens:

- Só é eficaz em formações consolidadas;
- Método destrutivo;
- Normalmente resultam furos com diâmetros mais reduzidos;
- Direção da perfuração pode sofrer alterações com a profundidade.

Na figura 11 podemos observar uma representação esquemática de uma perfuração com recurso à rotopercussão bem como o material/equipamento necessário.

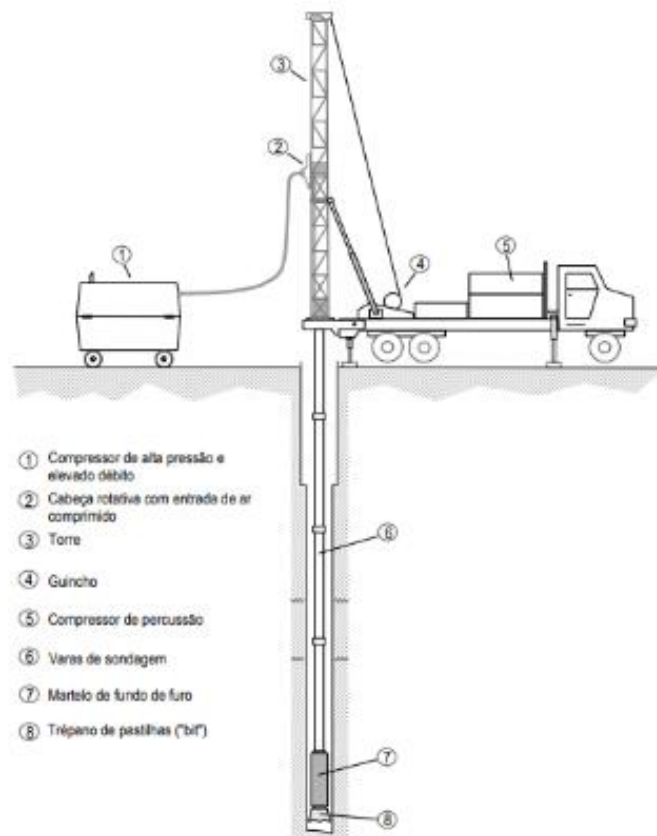


Figura 11 – Perfuração por rotopercussão com martelo de fundo de furo (Retirado de: CS/04, IPQ).

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

A profundidade atingida por estas perfurações varia muito, dependendo do local, da litologia, da profundidade do nível freático e do caudal necessário para satisfazer o pedido do cliente. Por norma não se ultrapassam os 150 metros pois em meio cristalino, não intercetando uma zona de fraqueza, profundidade não significa o aparecimento ou aumento de caudal. Para além disso não se costumam executar furos de maiores profundidades por uma questão de viabilidade económica para o cliente, sendo por vezes preferível alterar o local do furo.

O método é como o esquema da figura 11 ilustra, tendo um trépano (8) e martelo de fundo de furo (7) na frente de varas de sondagem (6) com 3 metros cada uma. O avanço em profundidade é feito pelo encaixe de varas de sondagem umas nas outras.

Perfuração por rotação com circulação direta

“Por ação de uma bomba de alta pressão as “lamas” são injetadas pelo interior da cabeça da sonda, saindo no fundo do furo por orifícios do trépano (trépano de roletes ou trialeta). De seguida, as “lamas” ascendem pelo espaço compreendido entre a parede exterior das varas de perfuração e as paredes da sondagem, arrastando consigo os detritos da formação perfurada até à superfície.” (transcrito de CS/04, IPQ).

Como vantagens, a furação à rotação com circulação direta:

- Método eficaz em formações geológicas não consolidadas;
- Permite avanços rápidos;
- Perda de fluídos de circulação controláveis.

E, como desvantagens:

- É um método dispendioso;
- Custos adicionais resultantes do tempo extra em manobras de subida e descida;
- Fraca caracterização da amostragem de formações geológicas devido ao remeximento dos materiais atravessados;
- Pode impermeabilizar e contaminar formações produtivas;
- Dificuldade em manter a verticalidade da perfuração.

Perfuração por rotação com circulação inversa

Este método é muito parecido com o anterior, sendo que aqui as lamas descem diretamente do tanque de lamas até ao fundo do furo pelo espaço que existe entre as

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

paredes da sondagem e a parede exterior das varas de perfuração. Posteriormente a ascensão das lamas e dos detritos faz-se pelo interior das varas da coluna de perfuração através da aplicação de ar comprimido.

Em comparação com a circulação direta este método tem a vantagem de permitir a execução de sondagens de maiores diâmetros e de permitir uma boa representatividade de amostragem em relação à profundidade. Por outro lado, necessita de um tanque de lamas maior pois o seu consumo será mais elevado. Também o consumo de água será mais exigente devido ao maior débito de injeção. Existe ainda o risco de entupimento das varas por detritos de maiores diâmetros.

Nas figuras 12 e 13 podemos observar ambos os métodos de perfuração, representados de forma esquemática.

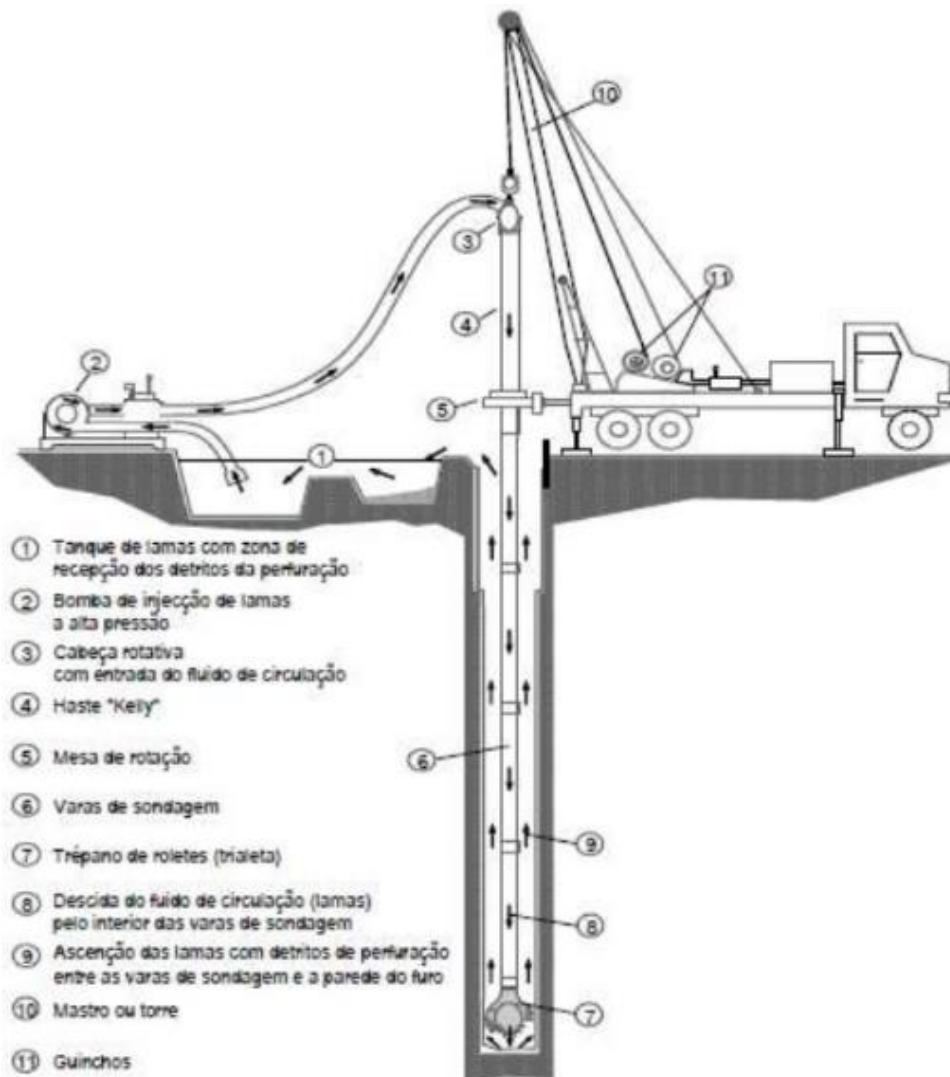


Figura 12 – Perfuração por rotação com circulação direta (Retirado de CS/04, IPQ).

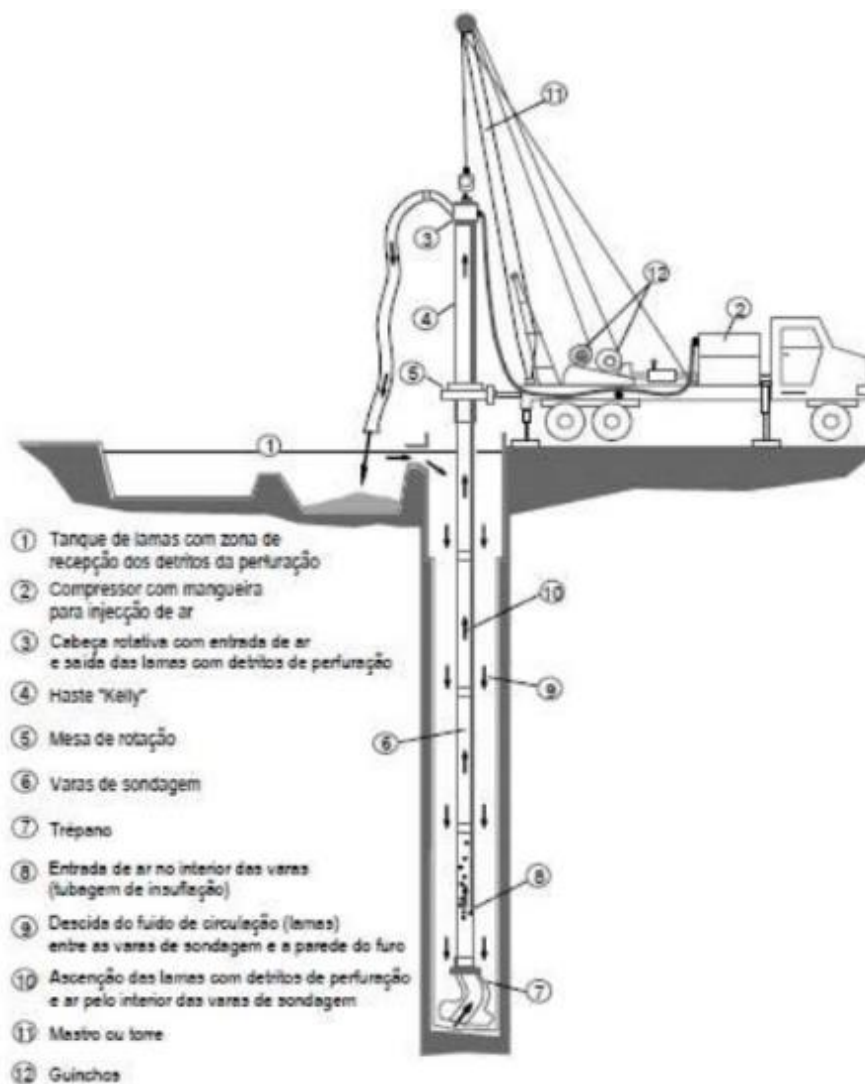


Figura 13 – Perfuração com rotação por circulação inversa (Retirado de CS/04, IPQ).

Durante o decurso do estágio não tive oportunidade de acompanhar nenhum destes dois últimos métodos de perfuração, pois a grande maioria dos furos de pesquisa de água, efetuados pela empresa, foram feitos em zonas de material geológico bem consolidado, meio cristalino, sendo que por isso o método utilizado foi sempre a perfuração por rotopercussão.

Captação:

Finalizados os trabalhos de pesquisa, inicia-se a fase de transformação do furo de pesquisa em captação definitiva, entubando e inserindo o maciço filtrante no furo.

O revestimento do furo é composto normalmente por tubos em PVC que vão ter como função evitar o colapso das paredes do furo quando o material de perfuração for retirado e proteger o equipamento de bombagem. O revestimento é feito por troços de tubo fechado (tubo cego), e troços de tubo-ralo. Este tubo ralo é um tubo com aberturas

que permite a passagem de água do aquífero para a captação. O posicionamento dos tubos-ralo é importante pois vai influenciar o rendimento da captação. Há diferentes tipos de tubo-ralo sendo que os mais utilizados são do tipo ranhurado, com ranhura horizontal. Na figura 14 podemos observar alguns dos tipos de tubo-ralo existentes no mercado.

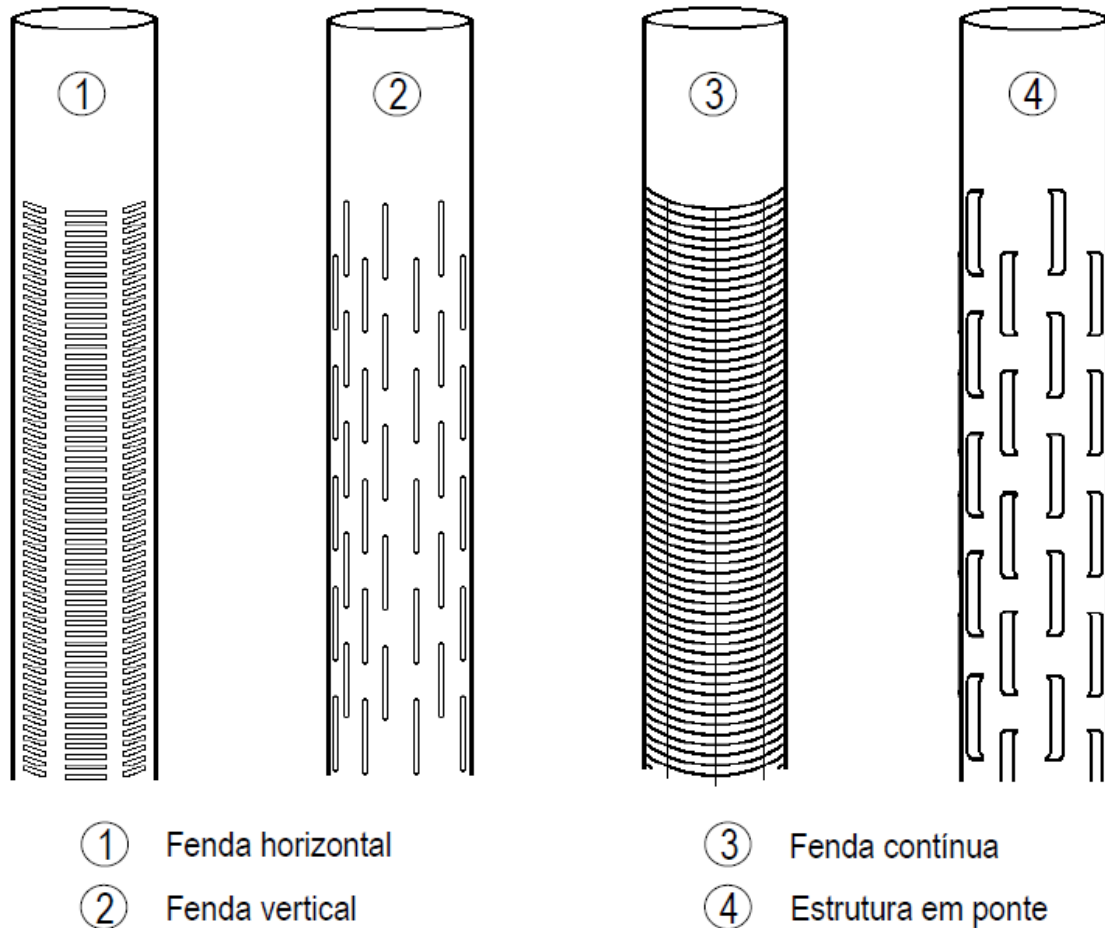


Figura 14 – Alguns tipos de tubo-ralo (adaptado de IPQ) (CS/04).

Para além de se revestir o furo é também necessário construir um maciço filtrante entre a tubagem de revestimento e as paredes do furo. Este maciço deve ser constituído por seixo quartzoso, devidamente lavado e calibrado. Este areão vai desenvolver uma importante função de filtro, evitando a passagem de areias finas para dentro da captação, que poderiam poluir a captação bem como prejudicar o bom funcionamento do sistema de bombagem durante a sua exploração. Vai ainda envolver a coluna de revestimento dando-lhe uma maior consistência. O areão deve ser aplicado desde o fundo do furo até à cota inferior da selagem superficial do furo.

Esta selagem superficial é normalmente executada com bentonite e calda de cimento, tendo como função isolar a captação do espaço exterior, devendo ter uma certa profundidade, normalmente até se atingir uma formação litológica compacta.

Ensaio de Caudal

Terminado o desenvolvimento da captação, deve ensaiar-se a sua produtividade com o denominado ensaio de caudal. Esse ensaio permitirá obter valores hidrodinâmicos que permitem perspetivar a capacidade de resposta do aquífero a um determinado regime de exploração. Dependendo dos valores obtidos, é possível estimar a exploração adequada bem como dimensionar a potência da eletrobomba submersível a utilizar.

Este ensaio de caudal vai evitar a utilização de uma bomba sobredimensionada ou subdimensionada. Uma bomba sobredimensionada irá bombear mais água do que aquela que o aquífero pode fornecer, pondo em causa a vida útil da captação. Já no caso da bomba subdimensionada não se aproveitarão as reais capacidades do aquífero.

O ensaio de caudal consiste na bombagem de um determinado caudal de água durante um determinado período de tempo, podendo o ensaio ser concluído após o nível hidrodinâmico estabilizar ou mesmo sem a estabilização do mesmo. O tempo do ensaio depende das características hidrodinâmicas do furo e do aquífero em questão.

Existem diversas formas de se realizar este ensaio, quer em termos de material a usar quer em termos de método de medição.

Relativamente ao material, o uso do método com recurso a um caudalímetro é a forma mais simples, sendo que o caudalímetro indica-nos o caudal extraído num determinado espaço de tempo. Caso não se tenha um caudalímetro, pode utilizar-se um tanque/recipiente de volume conhecido e verificar o tempo que o mesmo demora a encher, determinando assim o caudal de extração.

É obrigatório executar a medição do nível hidrostático antes de se iniciar a bombagem. A medição pode ser feita no próprio furo ou em furos ou piezómetros próximos do mesmo. Após feita e anotada essa medição dá-se início à bombagem. Durante a bombagem o nível hidrodinâmico é medido em determinados intervalos de tempo, sendo o seu nível registado. Após finalizado o período de bombagem, deve, da mesma forma, ser medido e registado o nível hidrodinâmico durante a fase de recuperação do mesmo.

Na figura 15 podemos observar a forma de execução de ensaios de caudal com recurso a caudalímetro ou a recipiente de volume conhecido.

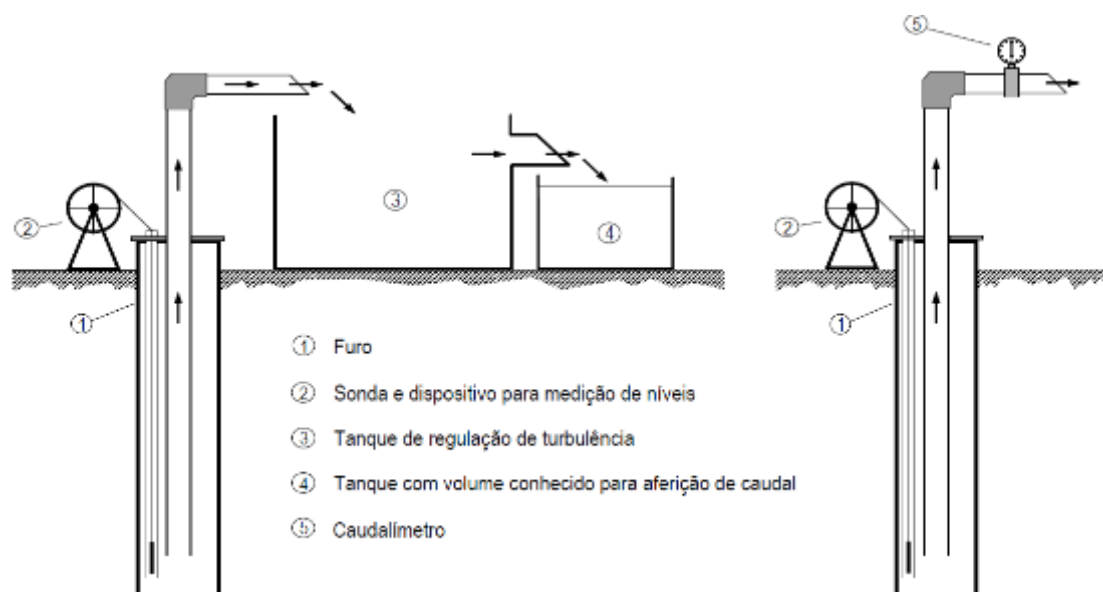


Figura 15 – Dispositivo de medição de caudal com tanque de aferição ou com caudalímetro (adaptado de CS/04, IPQ).

Relativamente ao método do ensaio, este pode variar entre caudal constante ou escalonado.

Ensaio a Caudal Constante

É o método mais utilizado e consiste na bombagem de um caudal constante, adequado ao que o furo se destina no futuro, até o nível hidrodinâmico estabilizar, verificando se o furo tem capacidade ou não para o caudal em questão devendo, de seguida, verificar-se o tempo de recuperação do nível hidrodinâmico sendo essa a única forma de, num furo único, ter uma ideia do armazenamento do mesmo.

Ensaio Escalonado

Tal como o próprio nome indica, é um ensaio escalonado ou com caudal variável. É efetuado por escalões de caudal crescente, podendo ser feita a paragem da bomba e recuperação dos níveis entre os diferentes escalões de caudal ou sem paragem da bomba. O ensaio deve ser executado com recurso a no mínimo 3 escalões com extração de caudal diferente e no máximo de 5. Todos eles devem ter a mesma duração de bombagem. Este método é interessante e dá informações que permitem uma melhor e mais correta exploração dos aquíferos, mas, no entanto, não é frequente a sua realização.

Permite estimar o rebaixamento de acordo com o caudal extraído e, assim, traçar a curva característica do aquífero, permitindo obter o valor de caudal crítico e de caudal máximo de exploração, tal como exemplificado na figura 16.

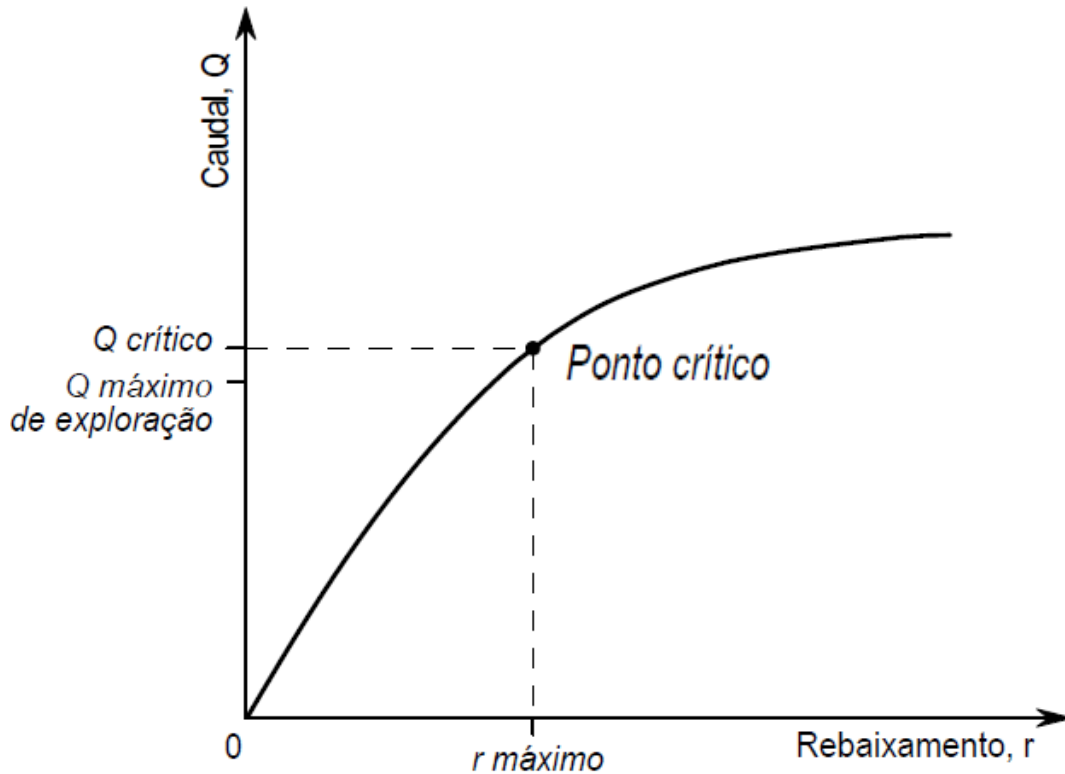


Figura 16 – Curva característica e determinação de caudal crítico (Adaptado de CS/04, IPQ).

O caudal crítico é atingido quando acontece a acentuada inflexão da curva da linha característica, considerando-se que o caudal ótimo e máximo de exploração deve ser ligeiramente inferior ao caudal crítico.

Outro método, para obter os valores de caudal máximo de exploração para um determinado rebaixamento máximo admissível, é o método de Theis & Jacob que, relacionando o rebaixamento provocado por um caudal de extração constante num determinado período de tempo, permite uma construção gráfica semilogarítmica como apresentado no capítulo 4.1.6. Segundo Theis & Jacob (1935), o gráfico deve apresentar uma linha praticamente reta, onde escolhendo um ciclo logarítmico se pode aplicar a fórmula:

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta h}$$

onde:

T = transmissividade (m²/s)

Q = caudal constante de extração (m³/s)

Δh = variação num ciclo logarítmico (m)

(Freeze & Cherry, 1979).

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Obtido o valor da transmissividade, e admitindo um determinado rebaixamento máximo admissível, é possível calcular o caudal máximo explorável pela mesma fórmula apresentada previamente (exemplificado e aplicado no capítulo 4.1.7).

Após concluídos estes procedimentos, é feita a instalação do grupo eletrobomba, normalmente submersível, com os respetivos órgãos de controlo. O furo deve também ficar protegido por uma caixa de alvenaria ou betão. Este equipamento de proteção pode ficar em relevo ou enterrado.

Relativamente à qualidade da água, devem ser feitos testes físico-químicos ou também bacteriológicos, dependendo da finalidade do furo de captação.

Quando bem executados os furos podem durar muitos anos, sendo a sua manutenção, limpeza e controlo do nível freático também importante ao fim de alguns anos. Esta manutenção tem como objetivo avaliar o estado da captação, do entubamento e também remover eventuais sedimentos que se tenham vindo a depositar com o passar do tempo no fundo do furo.

Página deixada intencionalmente em branco

3. Prospeção Geotécnica e a sua importância

A prospeção geotécnica visa o reconhecimento da natureza e características do terreno, a sua disposição e possíveis acidentes geológicos que tenham interesse para o estudo em questão. Tem como objetivo a obtenção de perfis de maciços terrosos/rochosos com informação geológico-geotécnica e obtenção de amostras representativas, perturbadas ou inalteradas, bem como informação da circulação de água nos terrenos e respetivo nível freático (Coelho, 1996).

É importante executar uma cuidada análise de campo, pois esta pode dar-nos informações muito úteis à partida. Observando a topografia, a presença de marcas de possíveis pontos de água atuais ou do passado, afloramentos, taludes, falhas, entre outros parâmetros, esta análise permite-nos ter uma ideia do tipo de problemas que possamos encontrar.

A esta análise deve juntar-se informação cartográfica, recolhida através de cartas topográficas, cartas geológicas, cartas de solos e cartas hidrológicas, tornando possível perspetivar o tipo de solo que se irá encontrar bem como as suas possíveis características. Por mais intensivo que este reconhecimento seja, os solos são extremamente variáveis pelo que não é possível a sua caracterização e definição exata (Coelho, 1996).

A capacidade de compreender um solo não vem apenas de um livro, mas sim dos métodos empregados no seu estudo. Para uma boa e eficaz decisão dos melhores métodos a empregar, é imprescindível que o responsável adquira e tenha em conta a geologia geral e também a geologia local e suas condições particulares (Krynine & Judd, 1957).

Para o engenheiro, o excesso de carga e/ou material solto indesejado na superfície do solo precisa de ser removido para fornecer uma base mais estável sobre a qual trabalhar (European Communities, 2005).

Os solos resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química (Caputo & Caputo, 2015).

Os principais fatores de influência na desintegração mecânica são a água, a temperatura, o vento e a vegetação, dando origem a pedregulhos, areias e mesmo siltes.

Na decomposição química voltamos a ter a água como principal agente catalisador, dando origem a processos de oxidação, hidratação ou carbonatação, tendo como produto final as argilas (Caputo & Caputo, 2015), sendo por isso importante conhecer também o movimento da água no solo.

Todos os solos são naturalmente variáveis, onde as suas propriedades mudam horizontal e verticalmente, sendo que estes devem ser divididos em classes o mais homogêneas possível. As informações topográficas e a vegetação dominante são dados muito úteis no estabelecimento destas divisões a nível horizontal, sendo os horizontes do solo importantes a nível vertical (Carter, 1993).

De forma genérica o solo é constituído por um perfil caracterizado por diferentes horizontes, sendo os principais designados pelas letras **O**, **A**, **B**, **E**, **C**, **D**, sendo que nem sempre todos estão presentes.

Horizonte O

Tem como característica a acumulação in situ de matéria orgânica não decomposta ou parcialmente decomposta, sendo que a saturação em água não ultrapassa mais do que alguns dias por ano.

Horizonte A

Horizonte rico em matéria orgânica, formado na zona superior do solo ou diretamente abaixo do horizonte **O**. De cor escura resultante da matéria orgânica gerada pela decomposição de folhas, raízes, caules, etc. Tem como teor máximo de matéria orgânica os mínimos atingidos pelo horizonte **O**.

Horizonte E

Horizonte de eluviação, caracterizado pela perda de argilas, ferro, alumínio e húmus, tornando o material residual enriquecido em areia e silte e dando uma cor mais clara a este horizonte. Comumente, este horizonte não se observa. Quando está presente encontra-se sob um horizonte **O** ou **A** e sobre um horizonte **B**.

Horizonte B

Horizonte mineral, mais claro que o horizonte **A** onde se destaca a total ou quase total perda de estrutura petrográfica. Material muito meteorizado, manifestando-se em maiores concentrações de argila e/ou óxidos.

Horizonte C

Horizonte mineral composto por material não consolidado, escavável à mão. No entanto com menor meteorização, mantendo-se a estrutura petrográfica alterada. Encontra-se sob um horizonte **A**, **E** ou **B**.

Horizonte D

Horizonte constituído por rocha coerente e dura, não sendo escavável manualmente. Pode apresentar fissuras que podem encontrar-se preenchidas por argila ou outro material.

A figura 17 representa, esquematicamente, os horizontes do solo.



Figura 17 – Horizontes mais comuns do solo (Fonte: <http://geoconceicao.blogspot.com/2014/07/solo-horizontestextura.html> consultado em 05/04/2020).

Em casos de afloramentos de solo e/ou rocha é possível determinar o horizonte presente, permitindo dessa forma perceber qual ou quais os métodos de prospecção mais adequados à presente situação.

Como supracitado, toda esta informação não substitui um estudo geotécnico, servindo sim de “filtro” e indicando onde e quais os melhores métodos de prospecção a utilizar para se obter toda a informação necessária, permitindo assim reduzir o tempo e os custos de uma prospecção aleatória.

Devido à falta de regulamentação, que obrigue a esta prospecção geotécnica, muitas obras avançam sem o devido estudo, confiando nas estimativas e também um pouco na sorte, visando a redução de custos (Especialização de Geotecnia, 1994). Este é um método de trabalho errado, pois muitas vezes surgem problemas em fase de obra que teriam sido evitados com um estudo de prospecção geotécnico adequado, sendo que a emenda dos possíveis problemas, por norma, acarreta custos muito superiores

aos custos que seriam necessários para a obtenção da informação que permitiria evitá-los.

Dependendo das informações necessárias e do meio geológico em questão, um estudo geotécnico pode envolver diversos métodos. Esses métodos podem ser classificados como **diretos, semidiretos e indiretos**.

Os **métodos diretos** são aqueles que permitem uma observação direta do subsolo e a recolha de amostras, sendo estes: **poços, valas, trincheiras e galerias**.

Como **métodos semidiretos** temos as **sondagens**, que não permitem uma observação direta do subsolo, permitindo no entanto, a recolha de amostras e a execução de **ensaios in situ** ao longo de toda a sondagem, percebendo dessa forma as características do mesmo.

Como **método indireto** temos a **Geofísica**, não necessitando de qualquer tipo de escavação ou perfuração do solo, permitindo, no entanto, uma investigação do subsolo a partir de variações de parâmetros físicos.

Tanto os métodos diretos como os semidiretos são métodos de prospeção mecânica. Dentro deste grupo podemos ainda distinguir a prospeção mecânica horizontal e vertical, de acordo com a sua forma de execução.

As valas, trincheiras e galerias são métodos de prospeção mecânica horizontais e aplicam-se essencialmente em obras de grande grau de complexidade como barragens, túneis, pedreiras, entre outros. Por sua vez os métodos de prospeção mecânica verticais, como poços e sondagens são mais comumente utilizados, pois tanto são necessários em obras de grandes dimensões e complexidade como em obras de menores dimensões e complexidade.

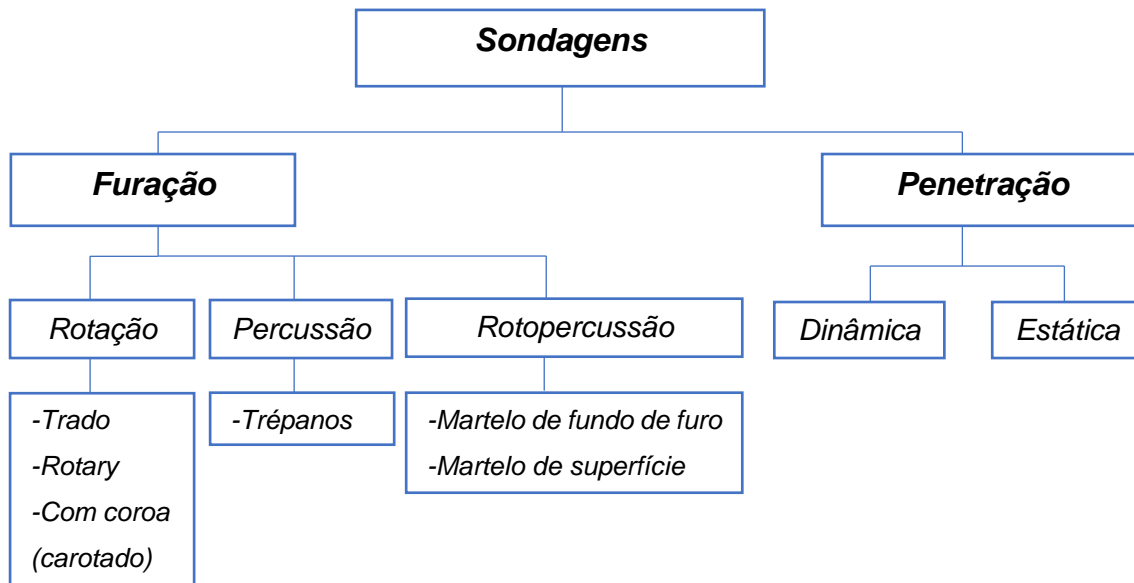
Neste trabalho apenas abordarei apenas os métodos de prospeção mecânica verticais e os ensaios in situ.

3.1. Sondagens geotécnicas

Como previamente referido, as sondagens são um método de prospeção semidireto, consistindo em furos de pequeno diâmetro em que a profundidade e a inclinação podem variar, dependendo do objetivo pretendido.

As sondagens podem ser de furação ou de penetração. A principal diferença entre elas é o facto de as sondagens de penetração não permitirem a recolha de amostras, permitindo apenas a avaliação das características de resistência dos maciços terrosos. Outro pormenor é que as sondagens de penetração se aplicam apenas em maciços terrosos, enquanto as sondagens de furação podem ser aplicadas também em

maciços rochosos. Dentro destes dois tipos de sondagens, há ainda diferentes subtipos, como se pode observar pelo esquema que se segue:



No que à geotecnia diz respeito, o método de furação mais utilizado é a furação à rotação, podendo este método ser utilizado em todo o tipo de terrenos e podendo atingir grandes profundidades. Tanto a furação à percussão como à rotopercussão são mais utilizados em sondagens na prospeção de água pelo que foram já abordados no capítulo 2 do presente trabalho.

Sondagens à rotação com furação a trado oco

Este tipo de sondagem é o método de furação mais simples e executa-se com recurso a trados ocos helicoidais, sendo uma furação destrutiva. O trado helicoidal tem a vantagem de transportar os detritos do fundo da furação para a superfície, permitindo assim a recolha de amostras remexidas.

Este é um método muito comum, que pode ser utilizado em maciços terrosos e/ou em rochas brandas.

Tem como vantagem a rápida execução, a possibilidade de recolha de inúmeras amostras e o custo reduzido.

Permite também a realização de inúmeros ensaios pelo seu interior como por exemplo o ensaio SPT, ensaios de permeabilidade, entre outros.

Tem, no entanto, algumas limitações, de entre as quais a recolha de amostras ser do tipo de amostra remexida, a difícil deteção de variações de litologia e a profundidade limitada. Na figura 18 podemos observar um exemplo de furação à rotação com recurso a trado oco helicoidal.



Figura 18 – Sondagem de furação à rotação com recurso a trado oco helicoidal (fonte: própria).

Sondagens à rotação – sistema rotary

O sistema rotary é um método de furação destrutivo, em que a principal diferença em relação ao método previamente apresentado é o facto de o rotary recorrer a um trépano giratório ligado às varas, que vai triturar as formações litológicas com o auxílio de um fluido circulante, cuja função é o transporte dos detritos para a superfície e o arrefecimento das ferramentas de desgaste, permitindo assim a sua execução em rocha dura. No entanto, em contexto geotécnico, não é um método comumente utilizado.

Sondagens à rotação com coroa

Este método consiste na ligação de uma coroa e um amostrador ao extremo das varas metálicas. A coroa vai proporcionar um avanço por abrasão e corte do material. Por sua vez, este material ficará dentro do amostrador permitindo a sua recolha e a execução de uma amostragem contínua. Este método é comumente conhecido como **carotagem**. A coroa pode ser de diferentes tipos de materiais, sendo os principais tipos de coroas as de aço, de tungsténio ou diamantadas. A escolha do tipo de coroa é muito importante do ponto de vista económico. Esta escolha é essencialmente influenciada pelo tipo de formação, pelo diâmetro de furação e pela velocidade da mesma (Bell, 2004).

Este método é utilizado quando na presença de rocha dura e trata-se de um método não destrutivo. Necessita de fluido de circulação cujo principal objetivo é o de arrefecer as peças de furação e, normalmente, este fluido é a água.

É um método muito utilizado na prospeção geotécnica e também na prospeção mineira, tendo como vantagem a possibilidade de amostragem contínua como referido anteriormente. Esta amostragem contínua vai permitir a observação do tipo de rocha presente, dos contactos existentes, da presença ou não de elementos estruturais como xistosidades, falhas, dobras ou fraturas, bem como vai permitir a determinação do estado da rocha, do seu grau de alteração e do seu grau de fraturação. Os lados negativos deste método são a demora na perfuração e o custo elevado.

Agora, comparando este método com o método das sondagens por rotação com sistema rotary, fica claro o porquê das sondagens à rotação com sistema rotary ser pouco utilizado, pois é um método com as mesmas limitações deste último apresentado, que por sua vez tem muito mais vantagens no que toca à amostragem.

3.2. Ensaios penetrométricos

Os ensaios penetrométricos têm como objetivo a determinação da resistência oferecida pelos terrenos em estudo à penetração de uma ponteira cónica. Estes ensaios podem ser dinâmicos ou estáticos (Bell, 2004). Segundo Herrick & Jones (2002), a diferença entre eles é que nos ensaios penetrométricos dinâmicos é registada a resistência à penetração por unidade de profundidade, enquanto nos ensaios penetrométricos estáticos esta resistência é registada por unidade de área.

3.2.1. Ensaio SPT (Standard Penetration Test)

O ensaio penetrométrico mais utilizado mundialmente é o ensaio SPT (Standard Penetration Test) (Bell, 2004), ilustrado pela figura 19. É um método rápido, económico e que se pode aplicar à grande maioria dos solos (Coelho, 1996).



Figura 19 – Execução de ensaio SPT (fonte: própria).

Este ensaio é do tipo dinâmico e foi desenvolvido inicialmente para testes em areias, no entanto pode ser aplicado noutros maciços terrosos e, inclusive, em zonas muito alteradas ou decompostas de maciços rochosos (Bell, 2004), permitindo avaliar o grau de compacidade de formações arenosas ou o grau de consistência quando estamos em meio de formações argilosas.

Este ensaio realiza-se ao longo de furos de sondagens, de forma sistemática de 1,5 m em 1,5 m ou quando é detetada alguma alteração na formação atravessada. Consiste na cravação de um amostrador normalizado, através da queda de um martelo com um peso de 63,5 kg e de uma altura de 76 cm (Terzaghi, Peck & Mesri, 1996). A cravação é feita ao longo de 45 cm, sendo o número de pancadas necessárias para essa cravação designada por N (Bell, 2004). Os primeiros 15 cm de penetração são desprezados pois trata-se de material perturbado pela perfuração. Os restantes 30 cm

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

são aqueles que nos indicarão os valores de resistência à penetração (Terzaghi, Peck & Mesri, 1996). A “nega” do ensaio considera-se atingida quando, após 60 pancadas, o amostrador não penetrou 15 cm na 1ª fase, ou 30 cm na 2ª fase, registando-se nesses casos o comprimento penetrado nessas 60 pancadas. O valor de NSPT vai permitir a correlação com vários parâmetros geotécnicos, podendo observar-se nas tabelas e figuras que se seguem alguns deles, como a compacidade/consistência do solo, tensão admissível ou ângulo de atrito.

Ensaio de penetração (SPT)	Classificação do solo				
	Muito solto	Solto	Medianamente compacto	Compacto	Muito compacto
Número de pancadas	0-4	4-10	10-30	30-50	>50

Tabela 2 - Classificação de solos incoerentes quanto à compacidade relativa (Terzaghi e Peck, 1948).

Ensaio de penetração (SPT)	Classificação do solo					
	Muito mole	Mole	Consistência média	Duro	Muito duro	Rijo
Número de pancadas	0-2	2-4	4-8	8-15	15-30	>30

Tabela 3 - Classificação de solos coerentes quanto à consistência (Terzaghi e Peck, 1948).

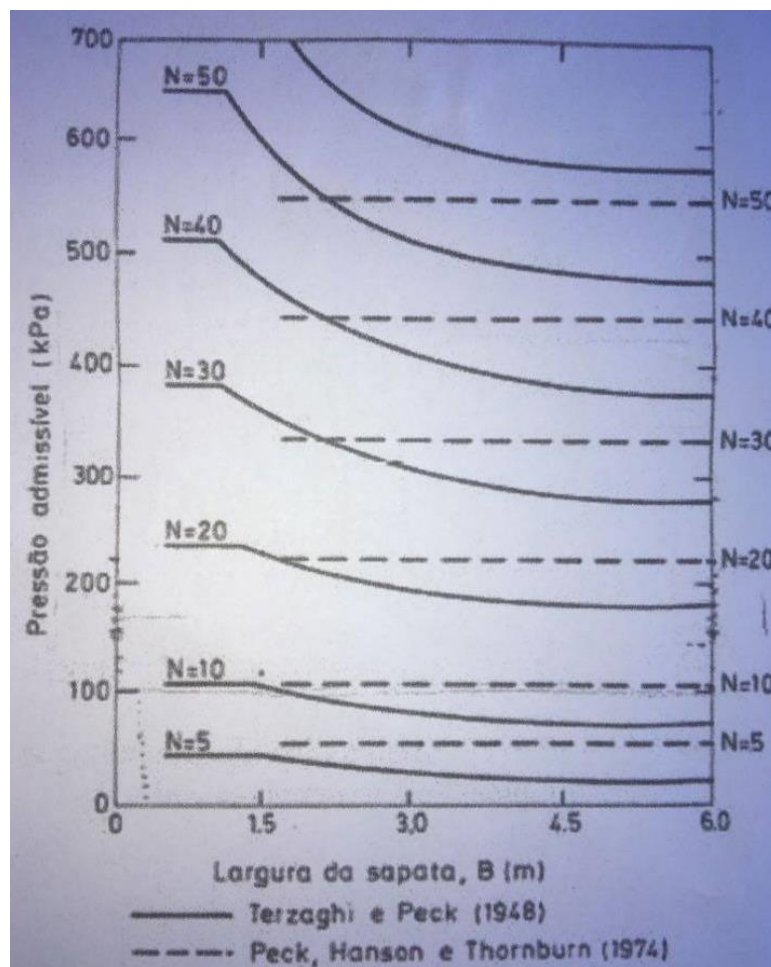


Figura 20 – Correlação entre os resultados do Ensaio SPT e a tensão admissível de sapatas sobre solos arenosos, admitindo um assentamento máximo de 25mm (Terzaghi & Peck, 1948).

Correlações entre NSPT e a Tensão Admissível de Solos Granulares

Descrição (compacidade)	N_{SPT}	Valor Provável da tensão admissível (kN/m ²)		
		L = 0,75 m	L = 1,5 m	L = 3,0 m
Menor dimensão da fundação		L = 0,75 m	L = 1,5 m	L = 3,0 m
Muito compacto	> 50	> 600	> 500	> 450
Compacto	30 – 50	300 – 600	250 – 500	200 – 450
Med. Compacto	10 – 30	100 – 300	50 – 250	50 – 200
Solto	5 – 10	50 – 100	< 50	< 50
Muito Solto	< 5	?	?	?

Correlações entre NSPT e a Tensão Admissível de Solos Coesivos

Descrição (compacidade)	N_{SPT}	Valor Provável da tensão admissível (kN/m ²)		
		L = 0,75 m	L = 1,5 m	L = 3,0 m
Menor dimensão da fundação		L = 0,75 m	L = 1,5 m	L = 3,0 m
Rija	> 30	500	450	400
Muito Dura	15 - 30	250 – 500	200 – 450	150 – 400
Dura	8 - 15	125 – 250	100 – 200	75 – 150
Média	4 - 8	75 – 125	50 – 100	25 – 75
Mole	2 – 4	25 - 75	< 50	-
Muito Mole	< 2	?	?	?

Figura 21 – Correlação entre resultados do Ensaio SPT e a tensão admissível de sapatas sobre solos granulares e solos coesivos (Milititsky e Schnaid, 1995).

Relação entre NSPT e o ângulo de atrito

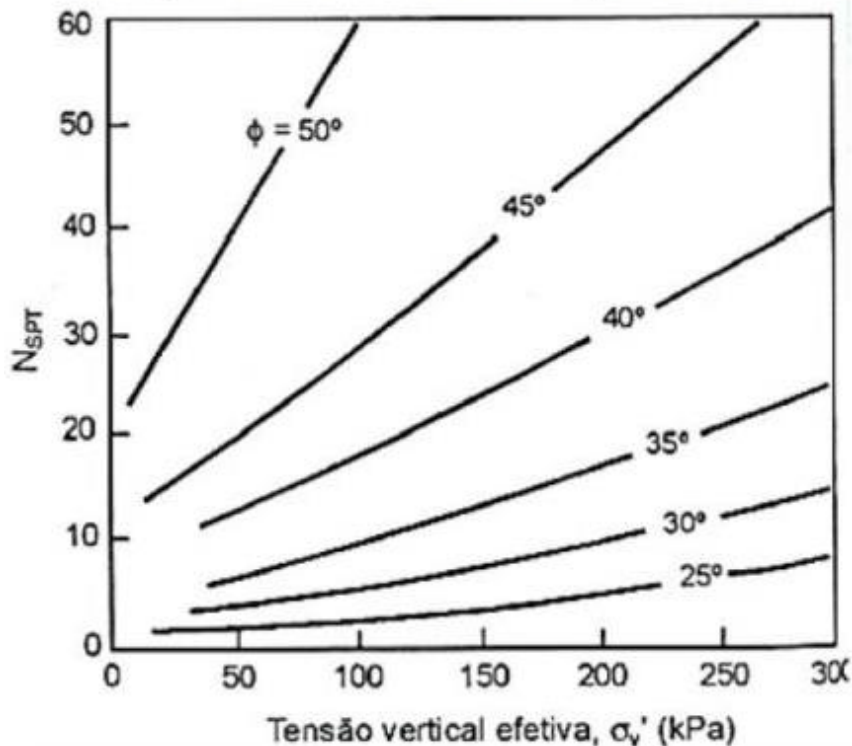


Figura 22 – Correlação entre resultados do Ensaio SPT e tensão vertical efetiva sobre um determinado ângulo de atrito em solos granulares, abaixo de 2m de profundidade (Mitchell e outros, 1978).

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

É de salientar que o diâmetro das varas é menor que o da ponteira do amostrador, evitando assim que as mesmas criem atrito e consequentemente resistência com as paredes de sondagem (Caputo & Caputo, 2015).

É muito importante o devido acompanhamento do ensaio e análise crítica da amostra recolhida. Por exemplo, em solos com presença de seixos e cascalho o número de pancadas pode ser erradamente influenciado. Também em sondagens muito profundas há que ter em atenção o facto de que alguma da energia gerada pela queda do martelo, acaba por se dissipar ao longo do comprimento das varas, tornando o ensaio menos rigoroso a grandes profundidades (Bell, 2004).

Após o final do ensaio SPT, o amostrador é trazido para a superfície e é aberto em duas meias canas como se pode observar na figura 23, permitindo assim observar e classificar a amostra recolhida.



Figura 23 – Amostrador de Terzaghi (fonte: própria).

A amostra é então devidamente acondicionada e etiquetada, como se pode observar na figura 24. Posteriormente é feito o log/registo de sondagem.

No log de uma sondagem deve estar identificada a sondagem, o local, a cota da boca de furo, o método de furação, a sua inclinação, registo da profundidade do nível freático quando atingido, e uma descrição litológica pormenorizada. Na figura 25 podemos observar um log de uma sondagem executada em maciço terroso.



Figura 24 – Amostras devidamente acondicionada e etiquetadas (fonte: própria).

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

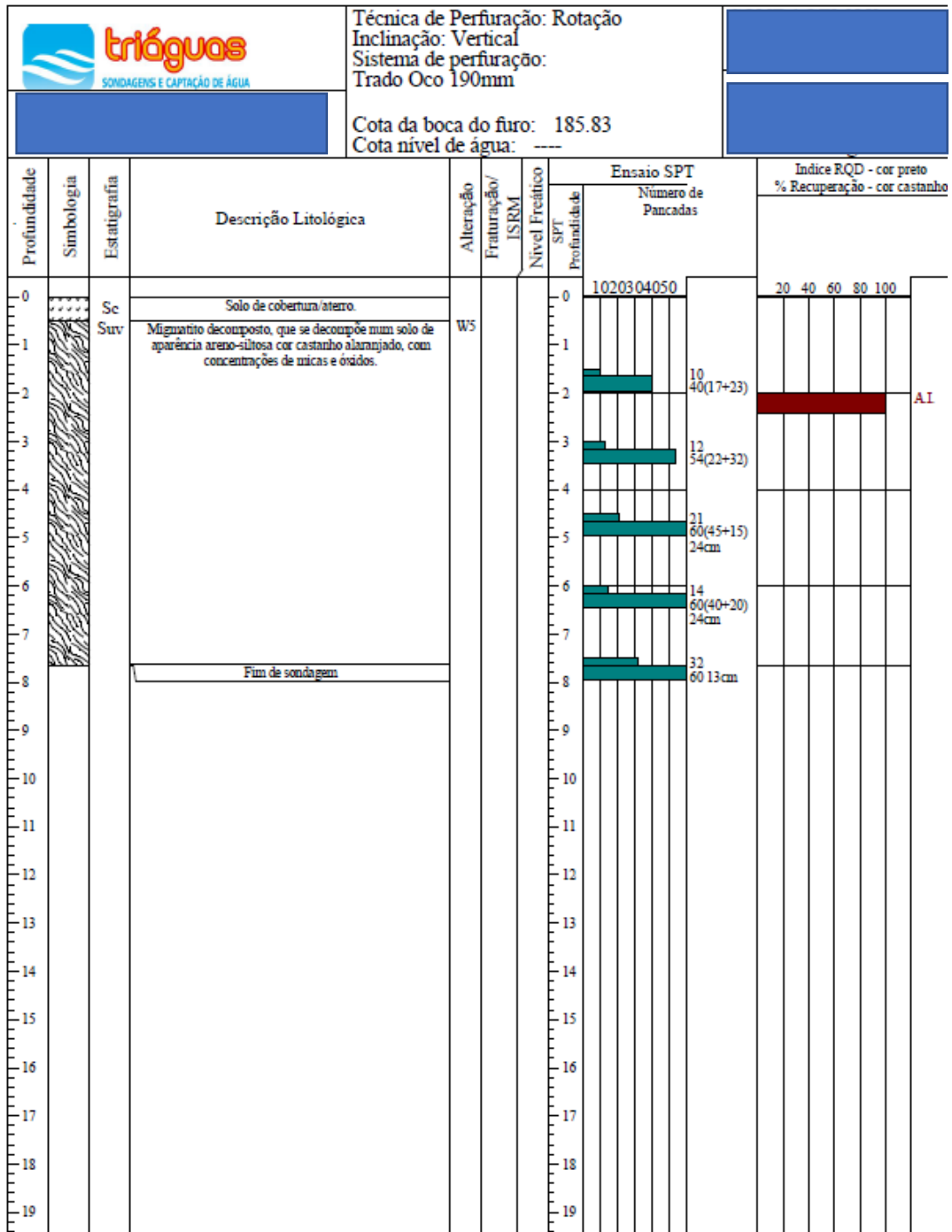


Figura 25 – Exemplo de log de sondagem em maciço terroso (fonte: própria).

Este ensaio tem como principais **vantagens** (Coelho, 1996):

- Baixo custo;
- A recolha e observação de amostras;
- Obtenção de um valor numérico que pode ser correlacionado com vários parâmetros geotécnicos;
- É adequado a muitos tipos de solos;
- Pode ser realizado em rochas brandas.

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Tem também algumas **desvantagens** (Coelho, 1996):

- Torna-se pouco rigoroso com o aumento da profundidade;
- Não é utilizável em terrenos com seixos;
- Não permite um registo contínuo.

A este tipo de ensaios podem ainda aliar-se técnicas de geofísica como por exemplo o Georadar e o uso de instrumentação para controlo de certos parâmetros.

3.3. Geofísica aplicada à prospeção geotécnica – método GPR

A técnica de Georadar é um método geofísico aplicada à prospeção geotécnica, de sigla GPR – “Gound Probing Radar” ou “Ground Penetrating Radar”. Este é um método geofísico eletromagnético de aquisição e registo de informação do subsolo próximo da superfície, através da emissão e receção de impulsos eletromagnéticos, permitindo assim detetar remotamente objetos e/ou estruturas enterradas, proporcionando uma melhor planificação de trabalhos nas mais diversas áreas como a Geotecnia ou a Engenharia. É adequado para a deteção de cavidades enterradas, preenchidas por ar e/ou outras estruturas/materiais com propriedades eletromagnéticas contrastantes (Daniels, 2004). Nos **capítulos 4.2.5** e **4.2.5.1** será abordada a utilização deste método na realização do 2º caso de estudo apresentado no presente trabalho.

3.4. Instrumentação – Instalação de piezómetros

Um piezómetro é um dispositivo, por norma de material sintético (PVC), perfurado na sua parte inferior e envolvido em geotêxtil. Este dispositivo é instalado num furo vertical, tanto em maciços terrosos como rochosos, onde o espaço entre o tubo e a parede do furo é preenchida com areia ou cascalho fino, sendo a boca do furo protegida à superfície. O piezómetro tem como objetivo o controlo do nível freático, a obtenção de amostras de água e a medição da carga hidráulica num ponto situado no interior do maciço. Visto o tubo piezométrico ser perfurado na sua parte inferior a água do solo vai atravessá-lo e entrar no mesmo, sendo que o nível que a água atinge no seu interior corresponde à altura piezométrica ou carga hidráulica no ponto onde o piezómetro está instalado (Fernandes, 2006).

Quando há a possibilidade de fazer esta leitura em dois ou mais locais, podem calcular-se parâmetros como o gradiente hidráulico, permitindo assim perceber qual o comportamento de escoamento que a água tem em profundidade bem como a construção de redes de fluxo hídrico. Nas figuras que se seguem é possível observar o esquema de diferentes tipos de piezómetros.

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

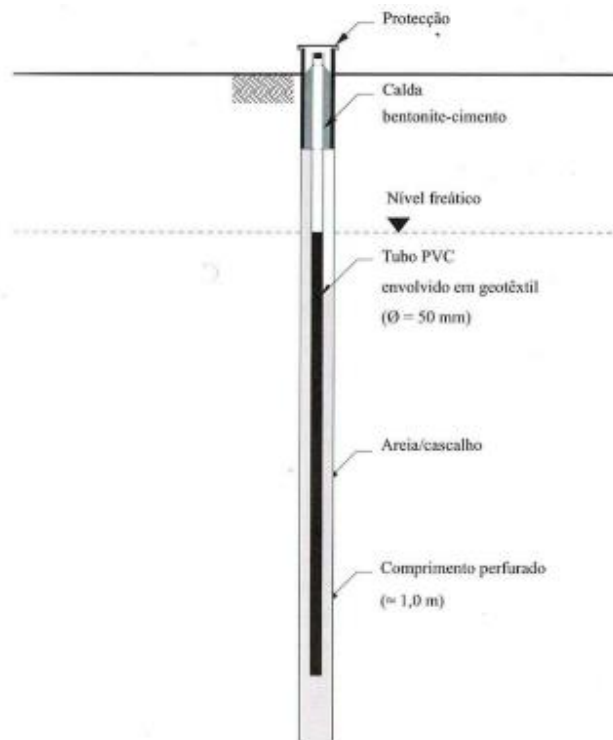


Figura 26 – Piezômetro hidráulico de tubo aberto (Fernandes, 2006).

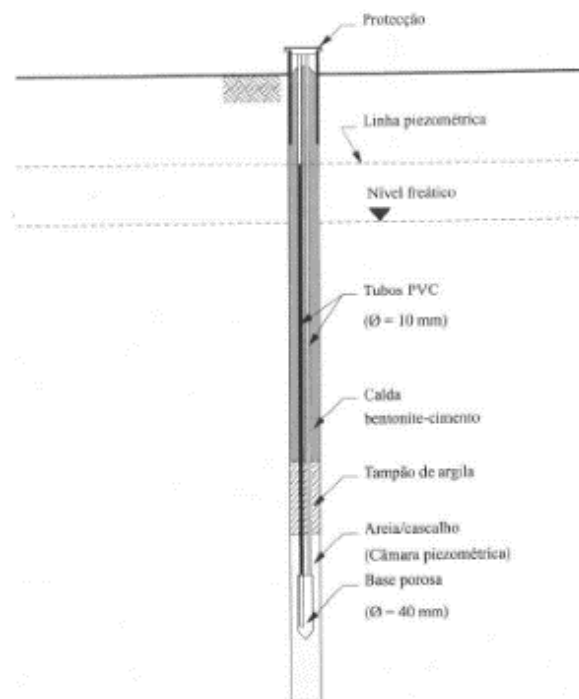


Figura 27 – Piezômetro hidráulico tipo Casagrande (Fernandes, 2006).

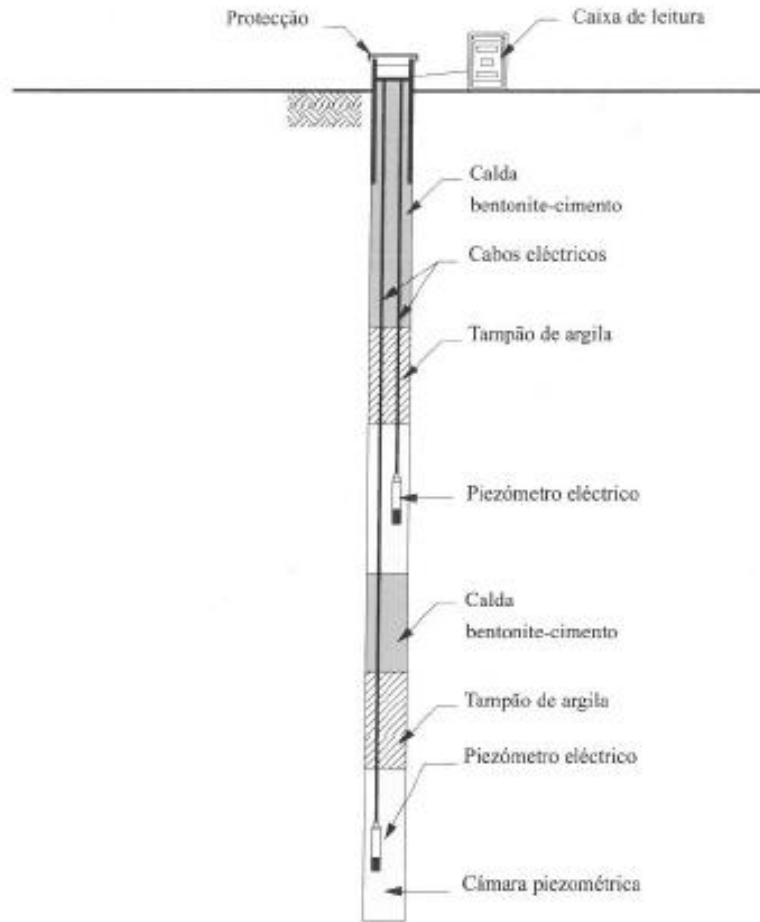


Figura 28 – Piezômetro elétrico (Fernandes, 2006).

Nas três figuras anteriores estão representados os três principais tipos de piezômetros. Na maioria dos casos todos eles são utilizados para os mesmos fins, sendo que apresentam pequenas diferenças.

Na figura 26 é possível observar o piezômetro hidráulico de tubo aberto, aplicado essencialmente em maciços de permeabilidade média a elevada, tipicamente com valores superiores a 5×10^6 m/s, pois necessitam que uma significativa quantidade de água penetre no aparelho para ser registada a pressão da água (Fernandes, 2006).

Na figura 27 temos representado o piezômetro hidráulico tipo Casagrande, cuja utilização é normalmente feita em maciços com permeabilidades inferiores, com valores entre os 10^{-7} m/s e os 10^{-6} m/s. Este piezômetro é constituído por um corpo cerâmico poroso que se coloca ao nível que se pretende medir a pressão da água, ao qual estão ligados dois tubos de material sintético impermeável (PVC) de reduzido diâmetro. Deste modo reduz-se substancialmente a quantidade de água necessária a fluir ao piezômetro. Para além disso a câmara piezométrica é, neste caso, selada superiormente, permitindo isolar a camada onde se pretende registar a pressão, das camadas sobrejacentes.

Por sua vez, os dois tubos que se podem observar, servem para expulsar o ar presente no sistema, quer aquando da instalação do piezômetro, quer em caso de

necessidade durante a fase de exploração, evitando assim que o ar aprisionado possa reduzir substancialmente a permeabilidade (Fernandes, 2006).

Já na figura 28 podemos observar um esquema que diz respeito a um piezómetro elétrico, tendo as mesmas funções que as descritas para o piezómetro do tipo Casagrande. A diferença reside no facto de neste caso a água exercer pressão sobre um transdutor elétrico, diminuindo assim a água necessária para penetrar no piezómetro, reduzindo o tempo de resposta do mesmo. Estes piezómetros são utilizados essencialmente em maciços com permeabilidade muito baixa, por exemplo maciços terrosos argilosos (Fernandes, 2006).

Após a sua instalação, os piezómetros são selados à superfície para evitar contaminações ou obstrução do mesmo por queda de objetos para o seu interior. Por norma são instaladas tampas metálicas. Essas tampas têm um mecanismo que permite a sua posterior abertura, permitindo a recolha de água bem como a medição e controlo do nível freático.

3.5. Amostragem de água

Como referido anteriormente, uma das funções dos piezómetros é permitir a recolha de amostras de água. Esta possibilidade é muito importante para monitorizar diferentes características da água de acordo com a sua função e utilização, dentre elas características bacteriológicas e físico-químicas para consumo humano, características físico-químicas de agressividade ao betão para fins de engenharia, entre outros.

Esta amostragem é por norma feita pela introdução de um amostrador de água subterrânea, fabricado em polietileno de alta qualidade adequado às características químicas dos líquidos a amostrar, desde água até aos diversos contaminantes orgânicos em fase livre ou dissolvida que possam existir, de forma económica, segura, prática e rápida. Na figura 29 podemos observar um exemplo de um amostrador de águas subterrâneas tipo Bailer.



Figura 29 – Amostrador de água subterrânea tipo Bailer (fonte: própria).

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Antes de se proceder ao processo de amostragem, deve ser retirada alguma água do piezómetro, de modo a esvaziar o mesmo, evitando assim a recolha de uma amostra de água estagnada por um longo período, que possa ter alteradas algumas das suas características. Após a retirada da água deve esperar-se o tempo necessário para o nível freático recuperar no interior do piezómetro.

Após feito este procedimento, deve então recolher-se uma amostra de água e acondicionar-se a mesma num recipiente próprio para o efeito e devidamente etiquetado como se pode observar na figura 30.



Figura 30 – Amostra de água devidamente acondicionada e etiquetada (fonte: própria).

3.6. Ensaio de permeabilidade do tipo Lefranc

Este é o ensaio mais comumente utilizado para a determinação da permeabilidade, “in situ”, de formações terrosas.

O ensaio Lefranc consiste na injeção ou na bombagem de água numa cavidade de dimensão conhecida e previamente aberta no fundo de um furo, criando assim uma variação de carga hidráulica (Coelho, 1996).

Esta cavidade deve ser executada a uma determinada profundidade do terreno em relação ao qual se pretende conhecer o valor da permeabilidade. A sua execução é

a operação mais sensível de todo o ensaio, pois é necessário garantir a estabilidade das paredes da mesma e que a circulação de água se faça pelas suas paredes e não pelas paredes do furo.

Para assegurar a estabilidade das paredes do furo, essencialmente em terrenos de pouca coesão, é necessário o entubamento até pouca distância do fundo, executando então a cavidade.

Em terrenos sem coesão, é necessário o preenchimento do fundo do furo com areão ou seixo muito mais permeável que o terreno, permitindo assim a execução da cavidade onde o ensaio vai ser realizado (Coelho, 1996).

Este ensaio pode ser feito com carga hidráulica constante ou com carga hidráulica variável.

Na figura seguinte é possível observar um esquema do ensaio descrito.

Carga Constante

Mais usado em solos de granulometria grosseira, tipicamente arenosos (Caputo & Caputo, 2015). Consiste na introdução de um caudal constante, q , para manter o nível de água estável no interior do tubo de revestimento, sendo necessária uma medição do caudal em intervalos de tempo iguais e sucessivos de 5 ou 10 minutos. É necessário um reservatório onde a água esteja sempre com carga constante e também um caudalímetro para ser possível medir o caudal injetado. O ensaio considera-se terminado quando duas medidas de caudal injetado diferirem entre si menos de 10%, sendo o valor médio entre essas duas medidas anotado bem como todas as medições de caudal injetado. Calcula-se então o valor do coeficiente de permeabilidade (k), em metros por segundo, através das equações:

$$k = \frac{q}{100C \times H_c} \quad \text{e} \quad C = \frac{2\pi L}{\ln(2 \frac{L}{D_L})}$$

onde:

q : caudal injectado, em centímetros cúbicos por segundo;

C : coeficiente de forma da cavidade, em centímetros;

H_c : carga hidráulica, em centímetros;

L : altura da cavidade, em centímetros;

D_L : diâmetro da cavidade, em centímetros.

Carga variável

O método utilizado para análise de resultados do ensaio com carga hidráulica variável baseia-se na lei de Darcy, tendo em consideração a proporcionalidade direta entre a velocidade de fluxo e a carga hidráulica. É considerado mais vantajoso bem como é muito mais prático. O processo consiste na introdução de água no tudo de revestimento e na medição da diferença de carga hidráulica com o passar do tempo, anotando os valores de carga hidráulica perdida em cada intervalo de tempo.

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade Lefranc, transferem-se as cargas hidráulicas, bem como as relações H/H_i (onde H_i é a carga hidráulica inicial), para a tabela de cálculos e leituras. Então, traça-se um gráfico de (H/H_i) em função do tempo decorrido desde o início do ensaio (minutos) e calcula-se o declive da linha obtida. Calcula-se o coeficiente de permeabilidade (k), em metros por segundo, usando as seguintes expressões:

$$k = \frac{A \times p'}{6000 \times C} \quad \text{e} \quad C = \frac{2\pi L}{\ln(2 \frac{L}{D_L})}$$

onde:

A: área da secção interna da tubagem, em centímetros quadrados;

p': declive da linha do gráfico, em minutos;

C: coeficiente da forma da cavidade, em centímetros;

L: altura da cavidade, em centímetros;

D_L : diâmetro da cavidade, em centímetros;

Neste mesmo trabalho será apresentado de forma prática, na secção de casos de estudo, a forma de cálculo do coeficiente de permeabilidade bem como a tabela dos dados necessários para o mesmo.

3.7. Ensaio Laboratoriais

3.7.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica é a medida das proporções dos vários tamanhos das partículas que constituem o solo, geralmente determinado pela sua capacidade de passar por vários peneiros, com malhas de diferentes tamanhos, processo designado por tamisação. Este método é apenas aplicável a partículas de tamanho igual ou superior a 2 mm, de acordo com a malha mais pequena de tamisação. As proporções são geralmente representadas pelos pesos relativos das partículas dentro das classes de tamanhos declaradas. Os limites destas classes de tamanhos podem variar

ligeiramente em diferentes sistemas usados (Carter, 1993) como se pode observar na figura 31.

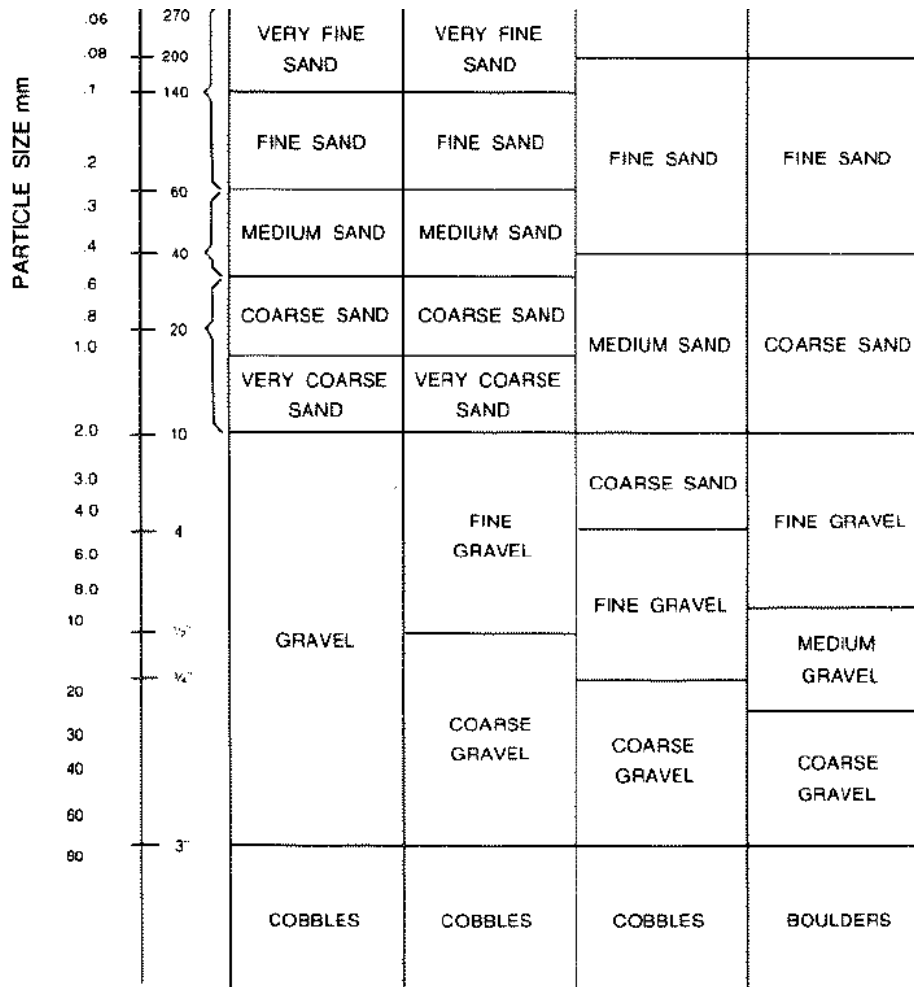


Figura 31 – Limites de classificação granulométrica dados por 4 sistemas de classificação distintos (Adaptado de Carter, 1993).

3.7.2. Limites de consistência de Atterberg

Os limites de consistência dos solos são usados para classificar solos coesos para fins como obras de engenharia, estando fortemente correlacionados com outras propriedades fundamentais do solo de acordo com DeJong et al (1990), citado por Carter (1993). Quando falamos de limites de consistência de Atterberg falamos de limite de liquidez e limite de plasticidade.

Geralmente, os solos, mesmo que sazonalmente, encontram-se húmidos, podendo apresentar um comportamento semelhante ao de um fluido muito denso. À medida que a água evapora, o solo endurece e atinge o seu limite de liquidez (LL), perdendo a capacidade de fluir, mas podendo ser moldado, encontrando-se agora no estado plástico. Ao continuar a perder humidade o estado plástico desaparece até atingir o limite de plasticidade (Caputo & Caputo, 2015).

Página deixada intencionalmente em branco

4. Casos de estudo

4.1. Caso de estudo 1 (Sobrado)

4.1.1. Enquadramento Geográfico

Este primeiro caso de estudo tem como objetivo a realização de uma captação de água com a finalidade de rega de amplos espaços verdes e lavagem de veículos, pelo que o caudal explorável terá de ser considerável. Para isso serão feitos um estudo cartográfico e um estudo de campo, onde será analisada a presença e relevância de características como a presença de diversas estruturas, das quais: filões, falhas, manto de alteração e possíveis zonas de contacto entre diferentes litologias, sendo estes alguns dos bons indicadores da presença e circulação de água. Com o objetivo de se atingir um bom caudal de exploração e se evitar uma prospeção aleatória será também feito um estudo complementar recorrendo à geofísica com a execução de vários perfis elétricos ao longo do terreno, tentando com a conjugação dos dados obtidos dos referidos estudos perceber qual o melhor local para a realização da captação de modo a esta conseguir corresponder às necessidades do cliente. Os trabalhos realizados são apresentados de seguida no **capítulo 4.1.4**.

O estudo foi realizado em Sobrado, uma vila na região norte, pertencente ao concelho de Valongo e distrito do Porto. A vila de Sobrado encontra-se assinalada a vermelho no mapa de Portugal como se pode observar na figura 32.



Figura 32 – Vila de Sobrado localizada no Mapa de Portugal.

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

O local em estudo encontra-se cartografado na folha 111 da Carta Militar de Portugal à escala 1:25000, elaborada pelos Serviços Cartográficos do Exército e encontra-se assinalado na figura 33.

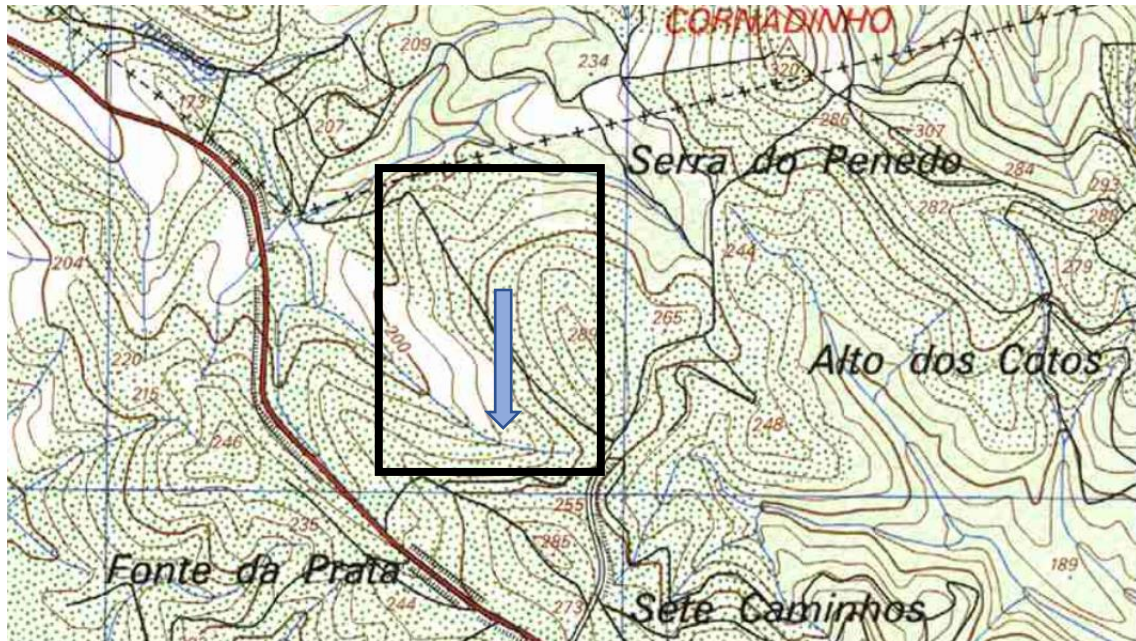


Figura 33 – Enquadramento geográfico no extrato da Folha 111 – Paços de Ferreira, da Carta Militar de Portugal.

4.1.2. Enquadramento Geológico

Ao nível geológico regional, a área de interesse situa-se no Maciço Hespérico, essencialmente constituído por formações anteriores ao Mesozóico, que foram consolidando desde o fim da orogenia hercínica. Este maciço está dividido em várias zonas: Zona Cantábrica (ZC), Zona Astúrico Leonesa (ZAL), Zona Galiza Trás-os-Montes, Zona de Ossa Morena (ZOM), Zona Sul Portuguesa (ZSP) e Zona Centro Ibérica (ZCI), onde se localiza o local de estudo.

Litologicamente a área de estudo é caracterizada essencialmente por formações do Paleozóico, mais especificamente do Silúrico. Segundo Notícia Explicativa da Folha 9-D-Penafiel, o Silúrico encontra-se diferenciado em várias faixas, sendo que a área de estudo se situa na zona dos chamados Grauvaques de Sobrado pertencentes ao Salopiano. É uma mancha com aproximadamente sete quilómetros de largura constituída por grauvaques e xistos, alternantes com leitos de quartzito. Foram igualmente cartografadas bancadas de xistos amplitosos e grafitosos. Estes conjuntos são “cortados” por diversos filões de quartzo.

A área encontra-se representada pela folha 9-D-Penafiel da Carta Geológica de Portugal e pode observar-se, assinalado a vermelho na figura 34, o local exato onde o presente estudo foi desenvolvido.

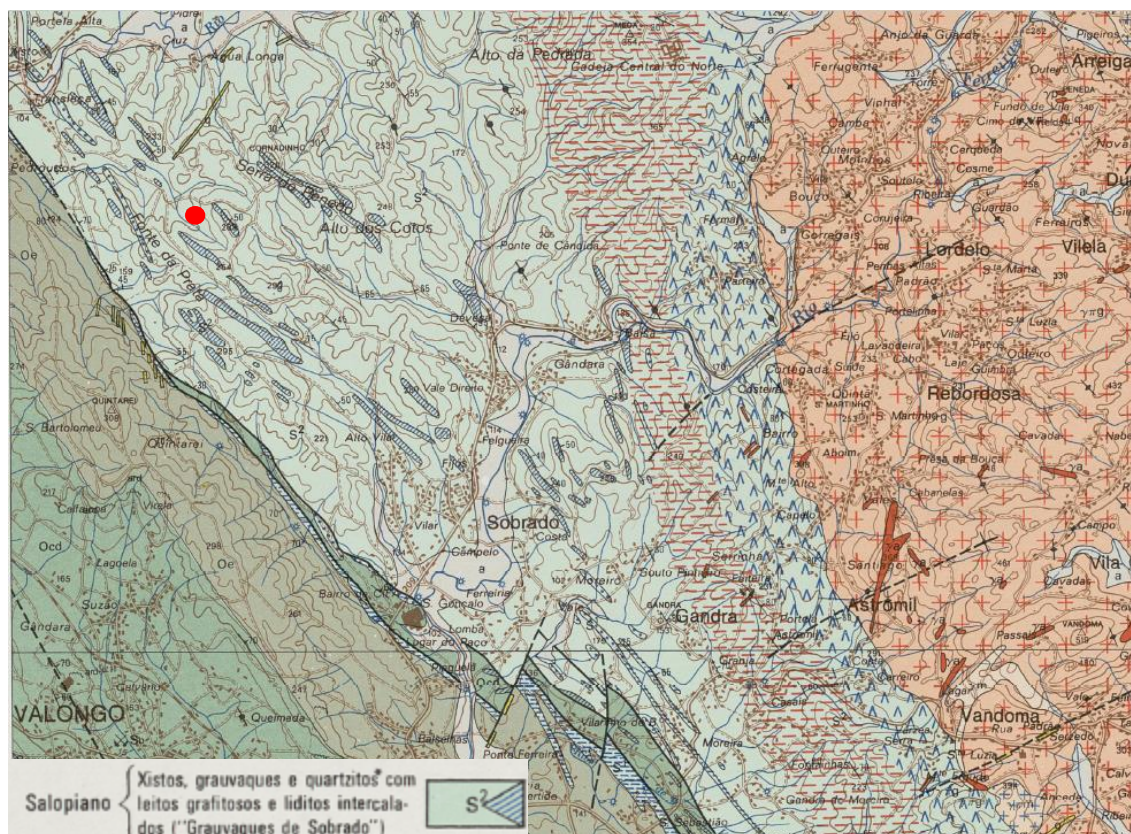


Figura 34 – Folha 9-D-Penafiel da Carta Geológica de Portugal 1:50000. Local de estudo assinalado a vermelho.

4.1.3. Enquadramento Geomorfológico, Hidrogeológico e Climatológico

No local onde o presente estudo se desenvolveu, o relevo é dominado por cristas alongadas, geradas pelos quartzitos e grauvaques que se erguem acima dos terrenos essencialmente xistentos. Essas cristas formam as Serras de Valongo, condicionadas tectonicamente e alinhadas segundo a direção NW-SE. A estruturação tectónica condiciona fortemente a distribuição da rede de drenagem, sendo as linhas de água coincidentes com os principais lineamentos tectónicos. Naturalmente, também o sistema de fraturas é condicionado pelo mesmo fator tendo como principais orientações: NW-SE a NNW-SSE; N-S e E-W.

Hidrologicamente o local insere-se na Bacia Hidrográfica do Douro e Sub-Bacia do Rio Ferreira. O Rio Ferreira tem 17 quilómetros de extensão e faz o seu percurso no sentido NE-SW ao longo de um traçado sinuoso e acidentado que atravessa as freguesias de Sobrado, Campo e Valongo. A zona em estudo não se encontra, no entanto, perto de qualquer linha de água superficial principal, estando situada inclusive numa zona relativamente elevada em relação à restante área envolvente.

A qualidade e quantidade da água subterrânea são determinadas essencialmente pelas características geológicas, tais como a permeabilidade, o sistema

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

de fraturas, a xistosidade e a condutividade hidráulica. Como referido anteriormente, ocorrem na região rochas essencialmente graníticas e metassedimentares, nas quais a circulação hídrica é relativamente superficial e depende em grande parte do sistema de descontinuidade e fracturação/xistosidade, bem como da espessura do manto de alteração. Neste tipo de ambientes a recarga aquífera dá-se, preferencialmente, em terrenos com fracos declives e com formações geológicas aflorantes muito fraturadas, tornando esta recarga muito dependente da distribuição da pluviosidade.

Segundo Notícia Explicativa da folha 9-D-Penafiel a área é de reduzido interesse hidrogeológico devido à exploração de captações normalmente de fraca produção. No entanto, há registo de alguns furos muito produtivos. O aproveitamento das águas subterrâneas na zona, é feito essencialmente através de poços, minas ou furos de captação verticais e as águas são essencialmente usadas para rega ou uso doméstico.

Climatologicamente a região é considerada temperada com influência atlântica, caracterizada por temperaturas amenas e precipitação por norma abundante.

A temperatura média anual ronda os 15°C e a precipitação distribui-se de forma irregular ao longo do ano, com maior precipitação a ocorrer entre outubro e fevereiro, sendo nessa época que se dá uma maior recarga dos aquíferos. Esta recarga é feita essencialmente pela infiltração direta da água precipitada.

4.1.4. Trabalhos realizados

Com a análise e estudo cartográfico feitos, foi realizada, pelo corpo técnico especializado da Triáguas, uma visita ao terreno onde o cliente pretende que se desenvolva um ou vários furos de pesquisa e captação de água, dependendo o número de furos do caudal obtido.

A pesquisa e captação a desenvolver tem como objetivo a rega de espaços verdes e lavagem de veículos pesados, pelo que o caudal pretendido pode ir além daquilo que é expectável intercetar neste tipo de maciços rochosos, segundo a notícia explicativa da folha 9-D-Penafiel da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000.

A área do terreno de interesse para o desenvolvimento de um furo de pesquisa e captação de água foi definido pelo cliente como sendo a área do lado direito das instalações já existentes, observável na figura 35. Com base nessa informação, a equipa técnica especializada da Triáguas analisou o terreno e com base na geologia local fez o despiste de possíveis estruturas indicadores de locais de circulação preferencial de água, como filões, falhas/fraturas, manto de alteração e possíveis pontos de emergência de água. Ao observar o talude presente no local foi possível identificar claramente uma zona de fraqueza, como se pode observar na mesma figura. No Google Earth, foi ainda possível identificar uma antiga linha de água como se observa na figura 36.



Figura 35 - Imagem Google Earth onde se assinala uma antiga linha de água bem como o local de execução dos perfis geolétricos (retirado de Google Earth).

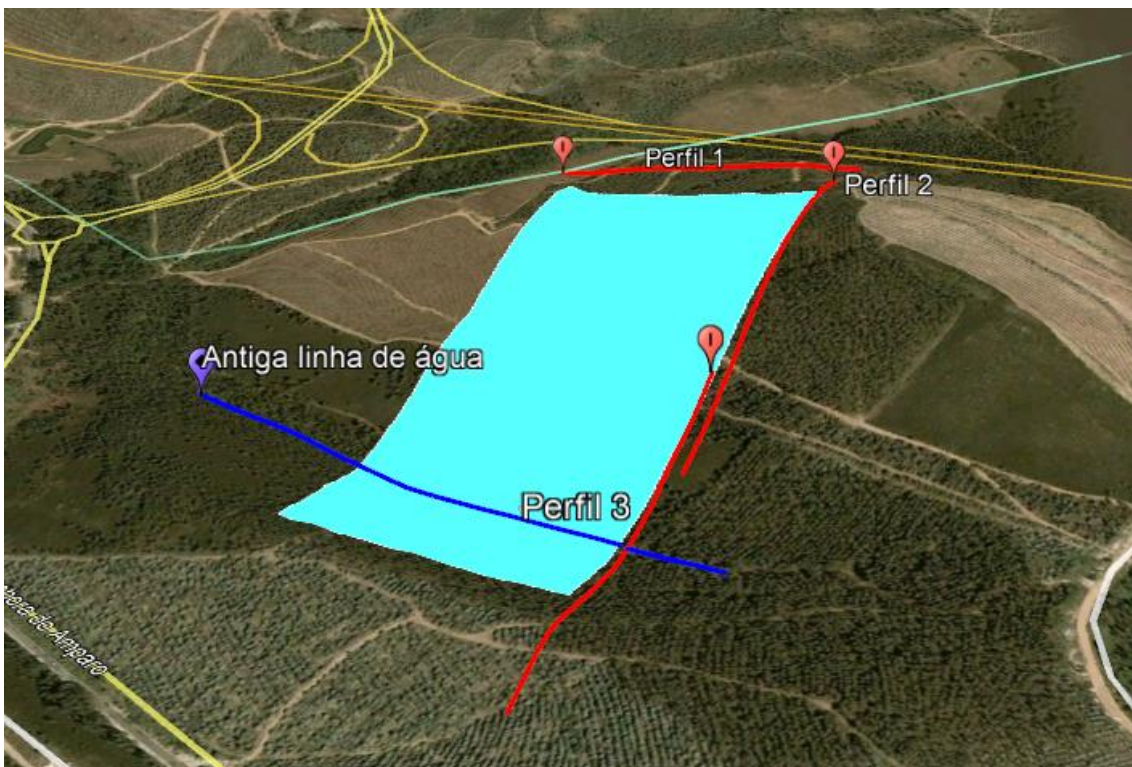


Figura 36 - Imagem Google Earth onde se assinala a antiga linha de água bem como os locais de execução dos perfis geolétricos à data da realização dos trabalhos (retirado de Google Earth).

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

O local identificado como uma antiga linha de água em imagens Google Earth do passado, coincide com a zona de fraqueza observada no momento da realização da visita ao local. Na figura 37 é possível observar o talude referido onde essa zona de fraqueza se evidencia.



Figura 37 - Talude observado durante a visita ao terreno interessado para a realização de um furo de pesquisa e captação de água.

É possível observar, assinalado a vermelho, uma zona muito alterada entre formações rochosas onde foi necessária a construção de uma estrutura de contenção.

Dadas as necessidades do projeto e as condições acima referidas, seria conveniente utilizar um método complementar de prospecção, utilizando métodos geofísicos, com o objetivo de melhorar as probabilidades e de ajudar na tomada de decisão sobre os locais onde executar a(s) captação(ões) de forma a cobrir as necessidades do cliente. Foi então proposto um plano de trabalhos de prospecção através do método geofísico de resistividade elétrica pelo método de tomografia elétrica de superfície, tendo em conta a zona de falha observada no terreno. O método permite a interpretação da resposta do subsolo quando submetido à passagem de corrente elétrica contínua. A resistividade elétrica é uma propriedade intrínseca das rochas que depende da litologia, porosidade, estrutura interna, saturação em água, entre outros fatores, permitindo assim identificar propriedades físicas distintas, como diferentes litologias, cavidades e teor em água.

Foram executados três perfis elétricos longitudinais com recurso a 36 elétrodos metálicos. O local de execução dos perfis teve como base a análise cartográfica feita e também a falha identificada durante a visita e estudo ao terreno de interesse.

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

O primeiro perfil tem 200 metros de comprimento e espaçamento de 5 metros entre elétrodos e os restantes dois com 350 metros e 10 metros de espaçamento entre elétrodos. As características dos perfis efetuados são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Coordenadas, comprimento e espaçamento entre elétrodos dos perfis elétricos realizados.

Perfil	Coordenadas GPS				Comprimento do perfil (m)	Espaçamento entre elétrodos (m)
	Inicial		Final			
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude		
PE1	41.238884°	-8.492516°	41.240295°	-8.491896°	200	5
PE2	41.237860°	-8.490207°	41.234856°	-8.491464°	350	10
PE3	41.231910°	-8.493158°	41.232845°	-8.492427°	350	10

Na figura 38 podemos observar o local de execução dos três perfis elétricos.

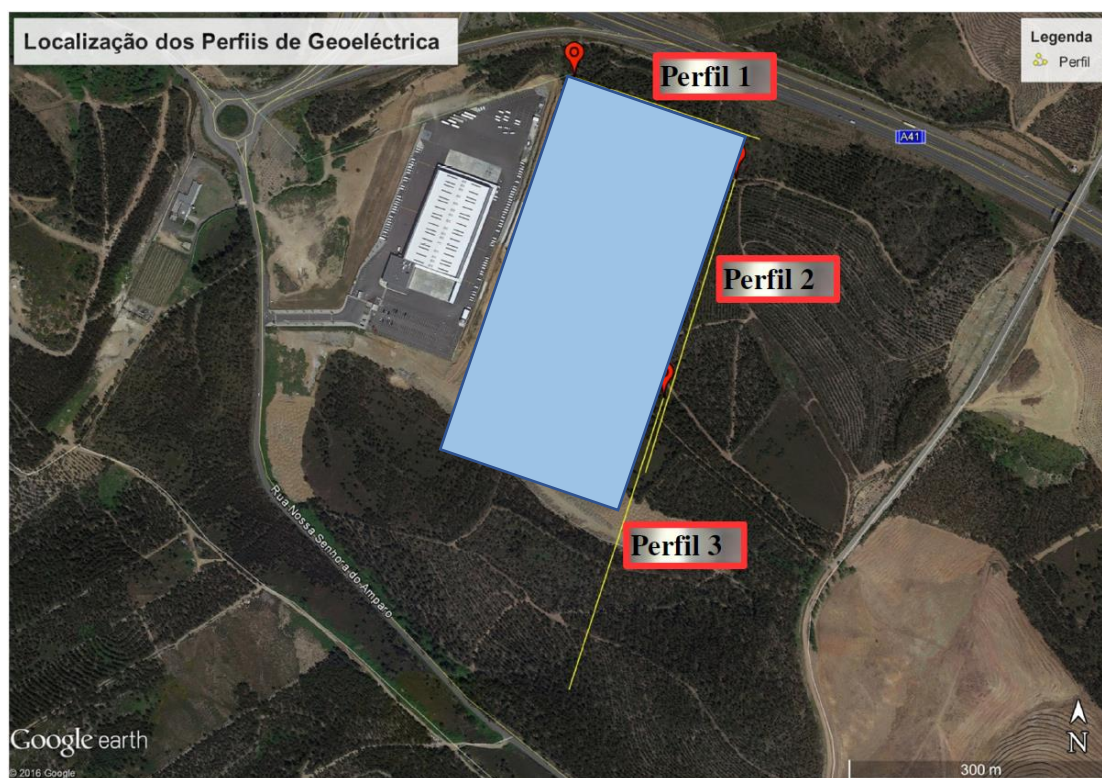


Figura 38 – Localização dos perfis geoeletricos efetuados em imagem retirada do Google Earth.

Na figura 39 podemos observar imagens recolhidas no campo durante o ensaio.



Figura 39 – Montagem de perfil elétrico e leitura de coordenadas GPS (fonte: própria).

4.1.5. Parâmetros de recolha de dados de resistividade elétrica

Como referido previamente, durante este estudo foi utilizado o método de resistividade elétrica através do ensaio de tomografia elétrica de superfície efetuado em modo de cobertura múltipla, com o objetivo de intercepar e reconhecer em profundidade as estruturas presentes na área em estudo, obtendo-se pseudosecções invertíveis pela metodologia definida por Loke, M. & Barker, R., 1996. Este procedimento é regular neste tipo de estudos e permite uma maior rapidez na sua execução, uma maior abrangência em área e uma melhor qualidade de dados obtidos.

Os dados foram adquiridos recorrendo a uma configuração Wenner-Schlumberger constituída por 36 elétrodos metálicos e um resistímetro, modelo Syscal da marca Iris Instruments. Na figura 40 podemos observar o resistímetro.



Figura 40 – Resistímetro utilizado na execução da tomografia elétrica de superfície (fonte: própria).

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

O tratamento de dados bem como a inversão geofísica foram trabalhados em software RES2D INV e o resultado obtido é apresentado de seguida.

Ressalvo que a recolha e o tratamento de dados bem como a inversão geofísica, foram realizadas por empresa subcontratada, responsável pela realização do ensaio.

4.1.6. Resultados obtidos

Os resultados obtidos, da tomografia elétrica de superfície, podem ser observados nas figuras 41, 42 e 43 sob a forma de perfis geoeletricos.

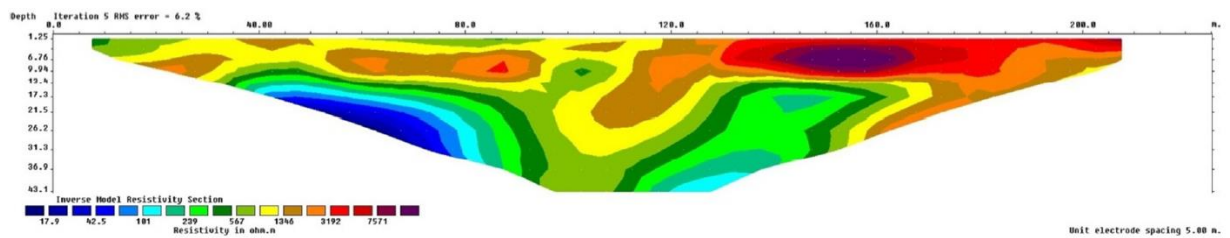


Figura 41 – Perfil geoeletrico 1.

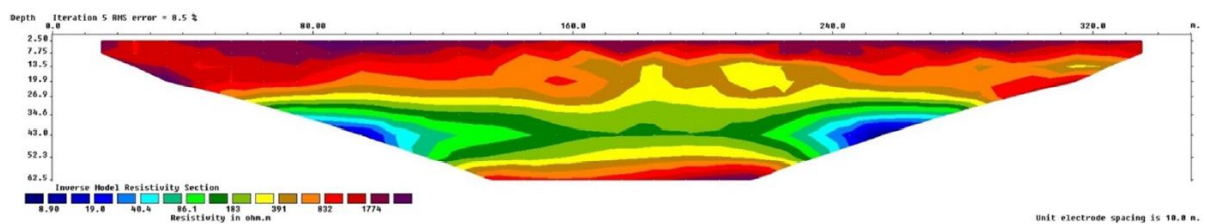


Figura 42 – Perfil geoeletrico 2.

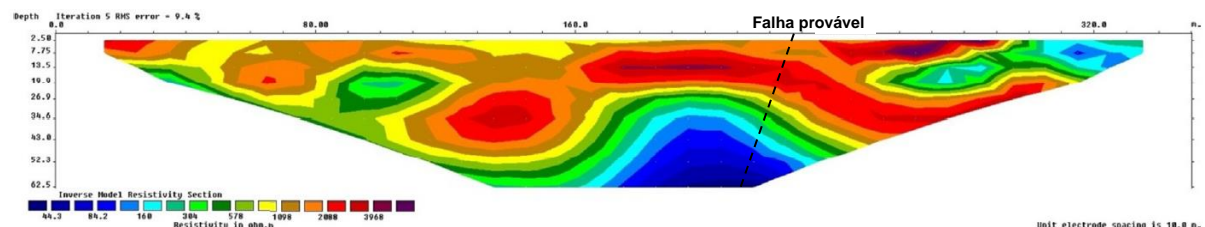


Figura 43 – Perfil geoeletrico 3.

Nos três perfis geoeletricos é observável uma camada superficial com espessura variável, com altos valores de resistividade, sendo interpretado como xistos e grauaques muito pouco a pouco fraturados e por isso sem circulação de água subterrânea significativa.

No perfil 2 e 3 observam-se zonas onde é possível identificar uma diminuição considerável da resistividade elétrica aparente, onde a fraturação das rochas e a sua saturação serão mais elevadas.

Sendo o objetivo deste estudo a definição de zonas com maior probabilidade de sucesso para prospecção de água, privilegiam-se estruturas geológicas por onde a água circulará preferencialmente, como filões, falhas, contactos, entre outros. Neste caso,

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

como foi possível observar na figura 37, estamos na presença de uma zona de fraqueza interpretada como uma possível falha geológica.

Com base nos resultados obtidos conjugados com as observações cartográficas e de campo, foram sugeridos 5 pontos onde a execução da captação de água subterrânea pode ter maior sucesso, podendo observar-se nas figuras 44, 45 e 46 os perfis geoeletricos e a respetiva interpretação geoeletrica e geológica.

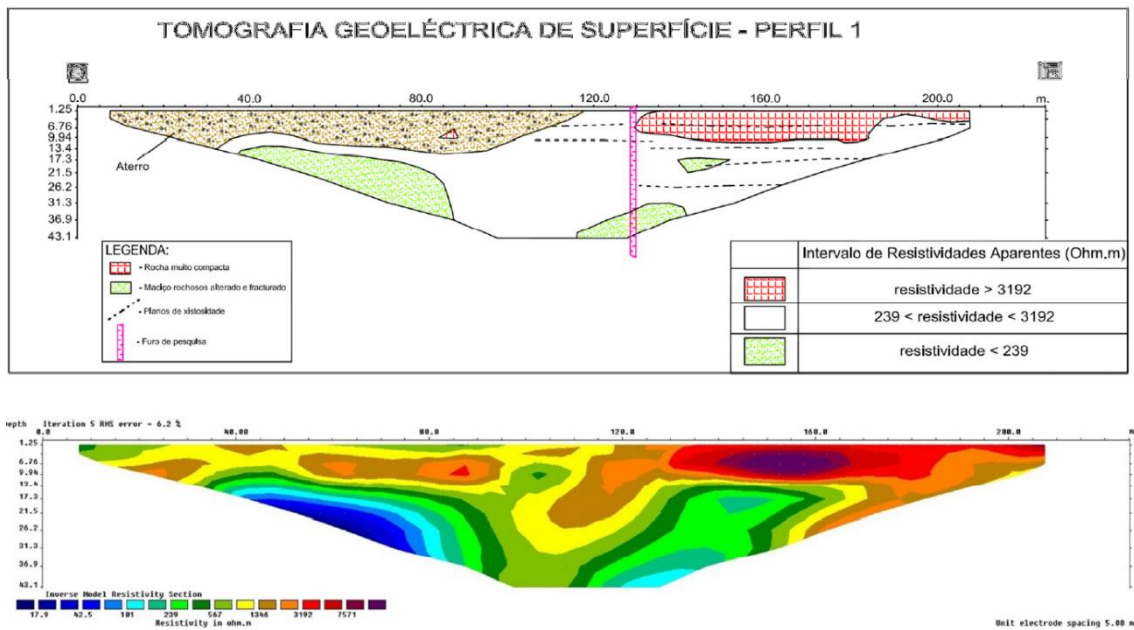


Figura 44 – Perfil geoeletrico 1 e respetiva interpretação.

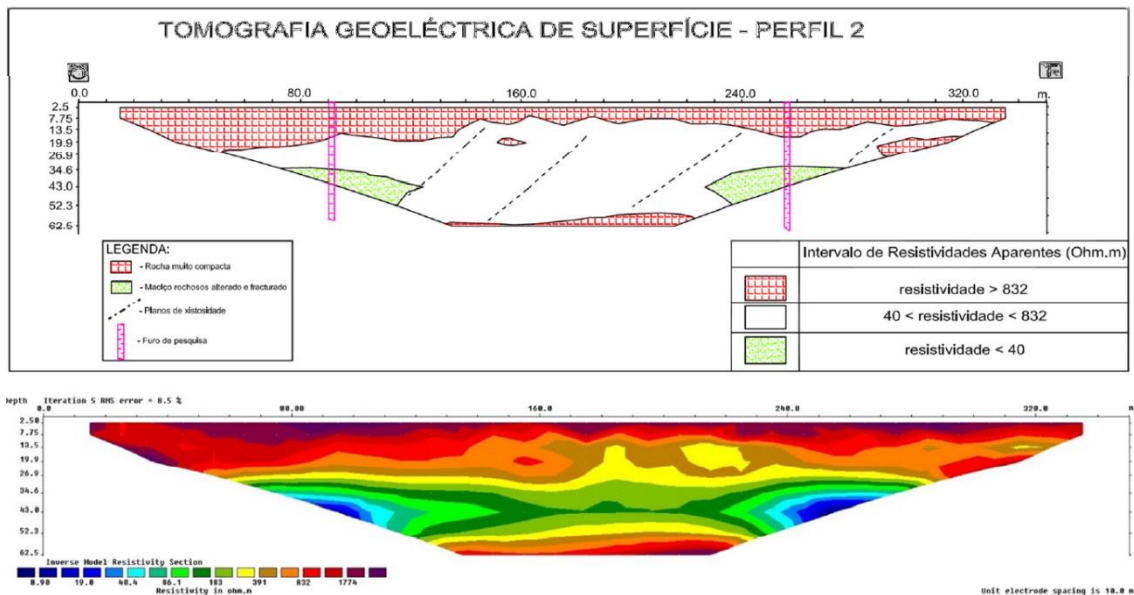


Figura 45 – Perfil geoeletrico 2 e respetiva interpretação.

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

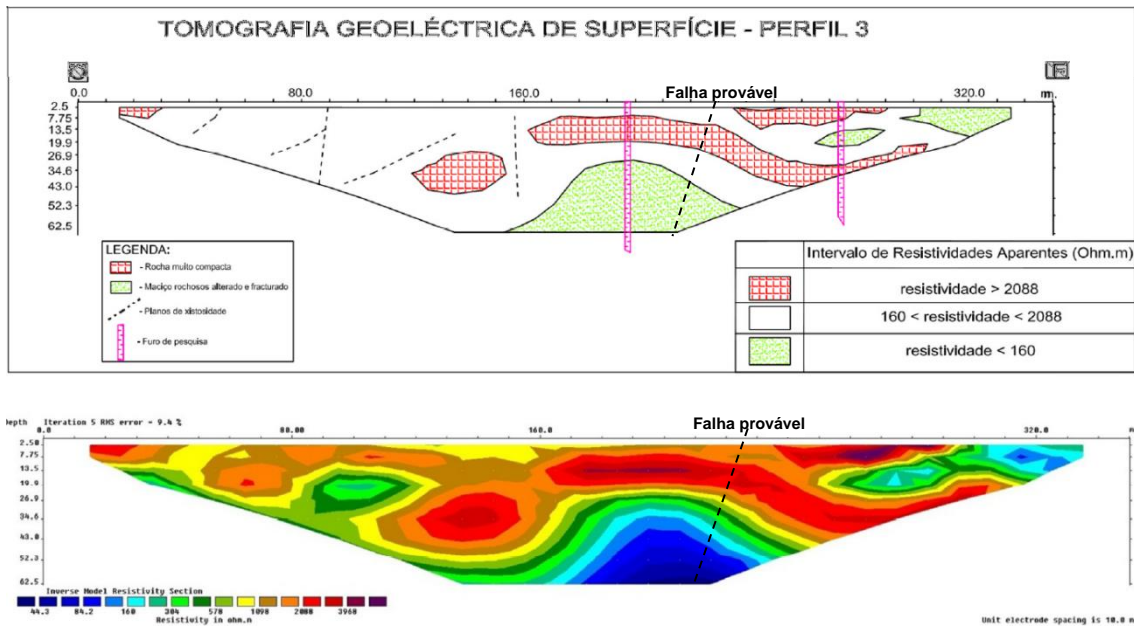


Figura 46 – Perfil geoelectrico 3 e respetiva interpretação.

Extrapolando os locais de menor resistividade eléctrica aparente dos perfis geoelectricos para o Google Earth, foi possível projetar a correspondência entre os pontos de menor resistividade eléctrica e o local para a execução dos furos de pesquisa como podemos observar na figura 47.



Figura 47 – Locais para possível realização da captação de água com base nos perfis geoelectricos 1, 2 e 3 (fonte: Google Earth).

A grande anomalia geoelectrica detetada no perfil 3 é coincidente com a zona de grande alteração observada no campo, tendo sido interpretada como provável falha

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

geológica, determinando esse o local como prioritário para a execução do furo de pesquisa e captação de água designado por “Furo 1”.

O método utilizado foi a perfuração por rotopercussão através de um equipamento de perfuração de modelo TH900 da marca Rolatec, aliada a um compressor de alta pressão e elevado débito, modelo XRHS 366 da marca Atlas Copco. A perfuração teve diâmetro inicial e máximo de 260 milímetros até aos 12 metros, correspondendo à zona mais superficial, onde o terreno se encontrava mais meteorizado. Posteriormente a perfuração foi de 180 milímetros de diâmetro. O revestimento foi feito com tubo de PVC de diâmetro 208 mm/10Kg até aos 12 metros de profundidade, tendo sido, daí em diante feito com tubo de PVC de 140 milímetros roscado de 16 bar. A perfuração atingiu os 150 metros de profundidade. O maciço filtrante, composto por areão com 3 a 5 milímetros de diâmetro foi adicionado desde o final da perfuração (150m) até sensivelmente 14 metros da boca do furo. Dos 14 metros até à boca do furo foi feito o isolamento com recurso a cimento e bentonite.

Todo o equipamento utilizado pode ser observado nas imagens que se seguem:



Figura 48 – Máquina perfuradora utilizada na execução do furo de pesquisa de água (fonte própria).



Figura 49 – Compressor utilizado na execução do furo.



Figura 50 – Tubo de revestimento em PVC.

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Durante a perfuração foram assinalados quatro níveis de aumento significativo de caudal descritos de seguida:

- 42 metros – caudal instantâneo parcial de 2000 L/h;
- 64 metros – caudal instantâneo parcial de 3000 L/h;
- 114 metros – caudal instantâneo parcial de 2600 L/h;
- 140 metros – caudal instantâneo parcial de 6400 L/h;
- Caudal total estimado de cerca de 14000 L/h.

Pode observar-se na figura que se segue um corte representativo do furo de pesquisa e captação (sem escala), podendo em anexo consultar-se a mesma figura com escala.

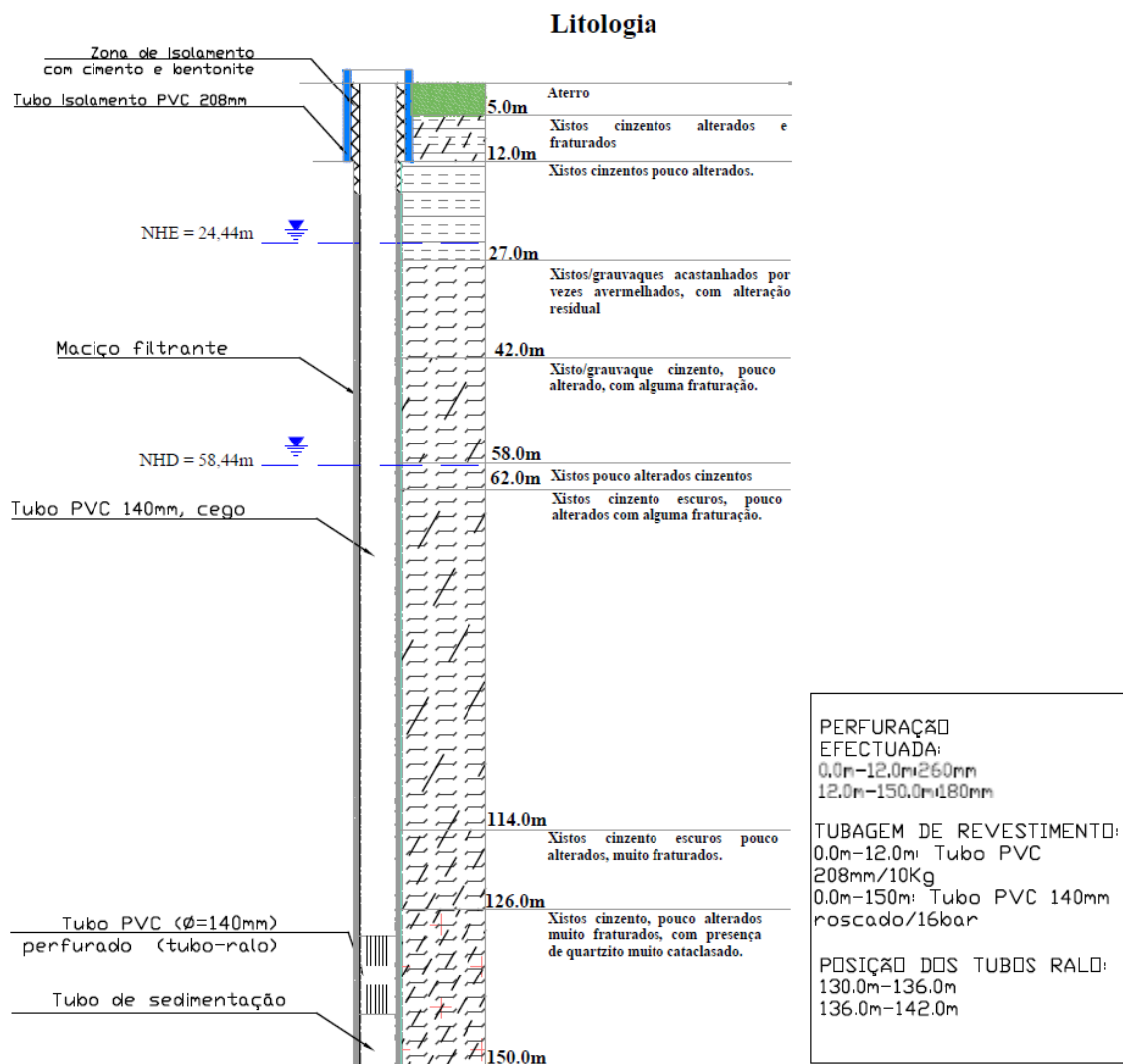


Figura 51 - Corte representativo do furo de pesquisa e captação de água efetuado (fonte: própria).

Embora se conheçam estes dados é sempre importante efetuar um ensaio de caudal como referido previamente, permitindo obter parâmetros hidráulicos objetivos, como a transmissividade do aquífero, de modo a definir o valor de caudal ideal de exploração do aquífero sem pôr em causa o seu tempo útil de exploração.

O ensaio de caudal foi realizado a um caudal constante de cerca de $146\text{m}^3/\text{dia}$ (cerca de 6000 L/h) e teve a duração de 3 dias, 5 horas e 36 minutos (4656 minutos), dos quais 2 dias (2880 minutos) corresponderam à fase de extração e o restante correspondeu à fase de recuperação. Na figura 52 podemos observar a figura do gráfico com os dados obtidos no ensaio realizado, tendo estes sido obtidos de forma automática, através de uma sonda piezométrica específica, a uma cadência de uma medição por minuto.

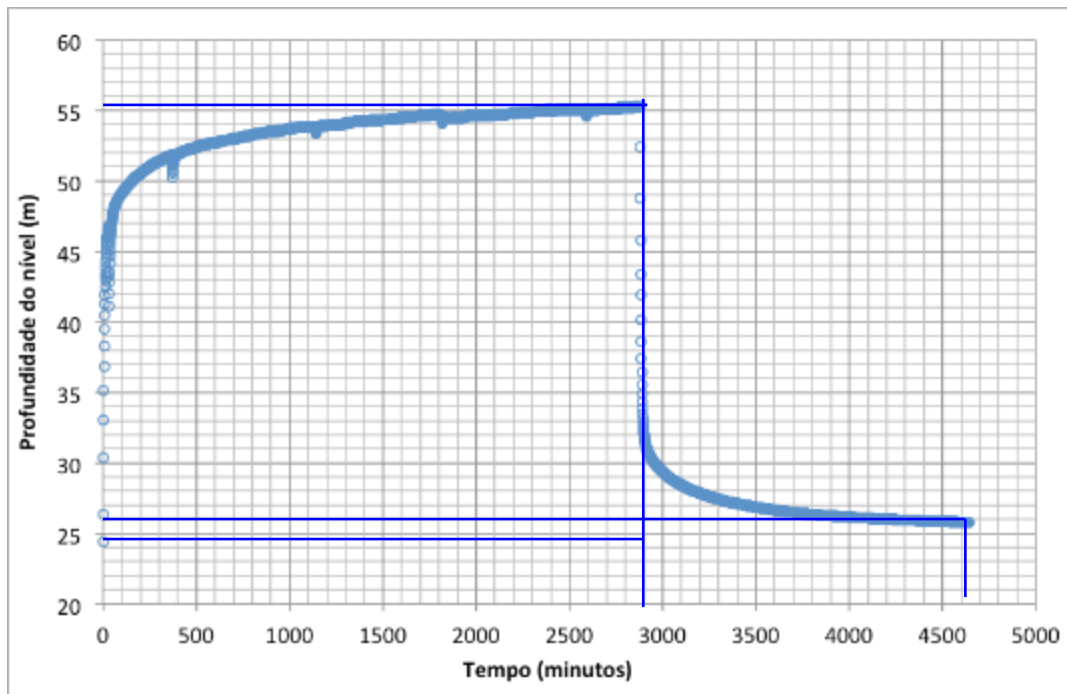


Figura 52 – Evolução do nível hidrodinâmico ao longo do ensaio de caudal realizado.

O nível freático encontrava-se a $24,44\text{ m}$ de profundidade. Da análise deste gráfico é possível observar o comportamento do nível hidrodinâmico ao longo do ensaio, sendo que no final do mesmo, o nível hidrodinâmico se encontrava a uma profundidade de $55,30\text{ m}$, tendo sido observado um rebaixamento de $30,86\text{ m}$.

A partir do minuto 3000 começou o ensaio de recuperação, tendo o mesmo terminado com o nível freático a uma profundidade de $25,78\text{ m}$, verificando-se um rebaixamento residual de $1,34\text{ m}$, de referir, no entanto, que o ensaio de recuperação teve cerca de metade da duração do ensaio de extração.

É importante salientar que devido a problemas técnicos, associados ao funcionamento da bomba de extração, ocorreram quatro interrupções durante a fase de

extração, como se pode verificar na curva do gráfico representado na figura 48. Em todo o caso, os tempos de interrupção foram muito curtos, não tendo assim efeitos significativos na interpretação quantitativa e qualitativa do presente ensaio.

Na figura 53 são apresentados, graficamente, os dados relativos ao ensaio de recuperação, tendo o mesmo sido interpretado pelo método de Theis e Jacob, 1935. O resultado esperado da aplicação deste método é um traçado perfeitamente retilíneo (Freeze & Cherry, 1979). Neste caso houve pequenas exceções, sendo estas normalmente desprezadas por corresponderem ao reequilíbrio elástico motivado pela paragem súbita da extração.

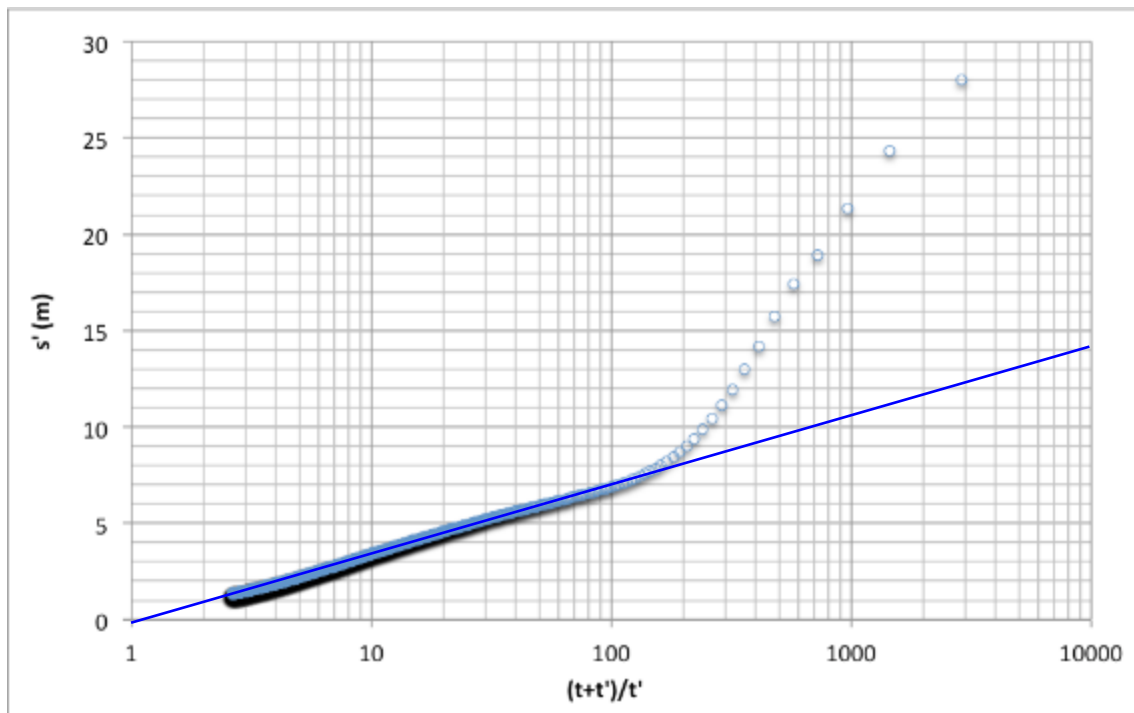


Figura 53 – Projeção dos dados do ensaio de recuperação num diagrama semilogarítmico, para aplicação do método de Theis & Jacob (1935).

O valor da transmissividade, para este aquífero, é de $7,6 \text{ m}^2/\text{dia}$, sendo este um valor robusto que traduz uma das propriedades hidráulicas do aquífero, não sendo possível avaliar o coeficiente de armazenamento por falta de, pelo menos, um piezómetro.

4.1.7. Discussão dos resultados do caso 1

A aptidão aquífera deste tipo de rochas apresenta, genericamente, uma permeabilidade média a baixa ou muito baixa, de acordo com a notícia explicativa da folha 9-D Penafiel, da Carta Geológica de Portugal 1:50000.

Por esse motivo, a ocorrência de água subterrânea, neste tipo de sistemas e em profundidade, está grandemente relacionada com a fraturação dos maciços rochosos,

superfícies de diaclasamento e/ou xistosidade, locais de maior fragilidade por onde a água circula preferencialmente.

A observação dos resultados de resistividade elétrica, obtidos pela análise das figuras 44, 45 e 46, permitem, de forma razoável, distinguir três zonas distintas, interpretadas em função dos valores de resistividade aparente relativa como sendo:

- **Maciço rochoso sem alteração e sem fraturação** – constituído essencialmente por xistos e grauvaques pouco fraturados e sem alteração, apresentando valores de permeabilidade baixos;
- **Maciço rochoso com alguma alteração** – constituído por xistos e grauvaques, apresentando alguma permeabilidade devido ao manto de alteração;
- **Maciço rochoso pouco alterado mas muito fraturado** – constituído por xistos e grauvaques muito fraturados onde os valores de permeabilidade são mais elevados, conferindo ao perfil valores de resistividade elétrica baixos.

Os valores de resistividade aparente mais baixos são, neste contexto geológico, com a presença de uma possível falha observada no terreno, os locais onde a probabilidade de sucesso na prospecção e pesquisa de água subterrânea será maior. De salientar que nem todas as anomalias de baixa resistividade significam a presença de água. Podem também ser provocadas por outros fatores geológicos, como discordâncias angulares, diaclasamento, presença de argilas, ou mesmo tratar-se de contactos entre diferentes litologias. Por outro lado, há casos em que anomalias de alta resistividade elétrica, como filões de quartzo, são ótimos indicadores de presença de água.

Com base nesses resultados, dentro do descrito contexto geológico, foram sugeridos cinco pontos onde a execução de furos de pesquisa de água teria maior probabilidade de sucesso.

Dos cinco pontos projetados é de salientar que o que apresenta maiores probabilidades em termos de sucesso na pesquisa de água é o ponto designado por “furo 1”, uma vez que é a anomalia de menor resistividade elétrica aparente e maior área (figura 46), estando essa anomalia relacionada com o local de interceção da falha observável no talude aflorante no terreno. Por sua vez o furo 5 é aquele que deixa maiores dúvidas (figura 44).

Há que salientar ainda, que na mesma figura 44, existe uma grande anomalia de baixa resistividade aparente do lado esquerdo do perfil que não foi sequer tida em consideração como um dos potenciais locais de pesquisa de água subterrânea, mesmo tendo grande expressão. Isto deve-se ao facto de, aquando da realização deste estudo,

estar já a decorrer uma escavação que remobilizou o solo do lado direito do perfil 1 para o lado esquerdo do mesmo, tratando-se de aterro que se encontrava do lado direito do perfil antes da execução da escavação. Como podemos observar todo o lado esquerdo do perfil é anómalo comparativamente aos outros 2 perfis, tratando-se de solo depositado antropicamente muito recentemente no local onde essa anomalia foi registada. Este é também um bom exemplo de que as anomalias elétricas não podem ser tidas em conta isoladamente, necessitando de interpretação correlativa com a Geologia local.

De acordo com esta interpretação, foi realizada a pesquisa no local do designado “furo 1”, de coordenadas 41.233953°; -8.491863° e sinalizado no perfil 3 (figura 47), do qual se obtiveram bons caudais instantâneos: 2000, 3000, 2600, e 6400 L/h aos 45, 64, 114 e 140 metros de profundidade respetivamente, totalizando um caudal instantâneo estimado em cerca de 14000 L/h.

No que diz respeito ao ensaio de caudal realizado, deparámo-nos com uma situação em que os dados dos ensaios se enquadram nos modelos teóricos, sendo assim fácil definir o caudal máximo de exploração da captação, sendo necessário apenas definir o rebaixamento máximo admissível. Assim, de acordo com os caudais instantâneos registados, o nível hidrodinâmico não deve ultrapassar os 59 m de profundidade, de modo a não deixar a descoberto nenhum dos tubos-ralo nem os níveis mais produtivos dos 64 m, dos 114 m e dos 140 m. De referir que, com este rebaixamento, irá ser afetado o primeiro nível de caudal instantâneo registado. No entanto, é o menos produtivo e, como foi possível observar durante o ensaio de caudal, não interferiu de modo significativo no rebaixamento do nível hidrodinâmico, deixando a ideia que não terá grande influência na produtividade geral da captação.

Desta forma, o rebaixamento máximo admissível será de 34 m, permitindo um caudal de exploração de 259,2m³/dia, cerca de 10 800L/h.

Não obstante, dado que o ensaio de caudal teve uma duração curta, não se exclui a 100% a possibilidade de ocorrer alguma alteração, de maior ou menor significado, no comportamento do nível freático quando a extração for efetuada de forma continua por períodos substancialmente mais longos do que o do ensaio executado. Por esta razão, recomenda-se não ultrapassar 2/3 do valor indicado (10 800L/h), ou seja, cerca de 172,8m³/dia, equivalente a 7200L/h.

Pode, assim, concluir-se que as condições hidrogeológicas do meio onde foi realizada a captação de água subterrânea são muito favoráveis. O valor de transmissividade obtido (7,6m²/dia) é considerado elevado para este ambiente geológico, em que as principais litologias se encontram pouco alteradas e pouco fraturadas, não permitindo grande circulação de água. Também a posição dos níveis

mais produtivos é muito favorável a um aproveitamento hidrogeológico sustentável, visto estarem abaixo do rebaixamento máximo admissível no furo, permitindo mesmo assim um bom caudal explorável.

Contudo, o caudal e regime de exploração reais devem ser definidos em função das necessidades hídricas efetivas e não em função do caudal máximo possível de extrair para o rebaixamento máximo considerado, sendo, por isso, importante a elaboração de um plano de exploração, evitando assim desperdícios de um dos recursos mais importante, se não o mais importante, para a vida humana.

4.2. Caso de estudo 2 (Braga)

4.2.1. Enquadramento Geográfico

O presente caso de estudo foi desenvolvido na cidade de Braga.

Braga é uma cidade localizada no extremo norte de Portugal, a nordeste da cidade do Porto, situando-se entre o Rio Douro e o Rio Minho. O concelho de Braga encontra-se assinalado a vermelho na figura 54.

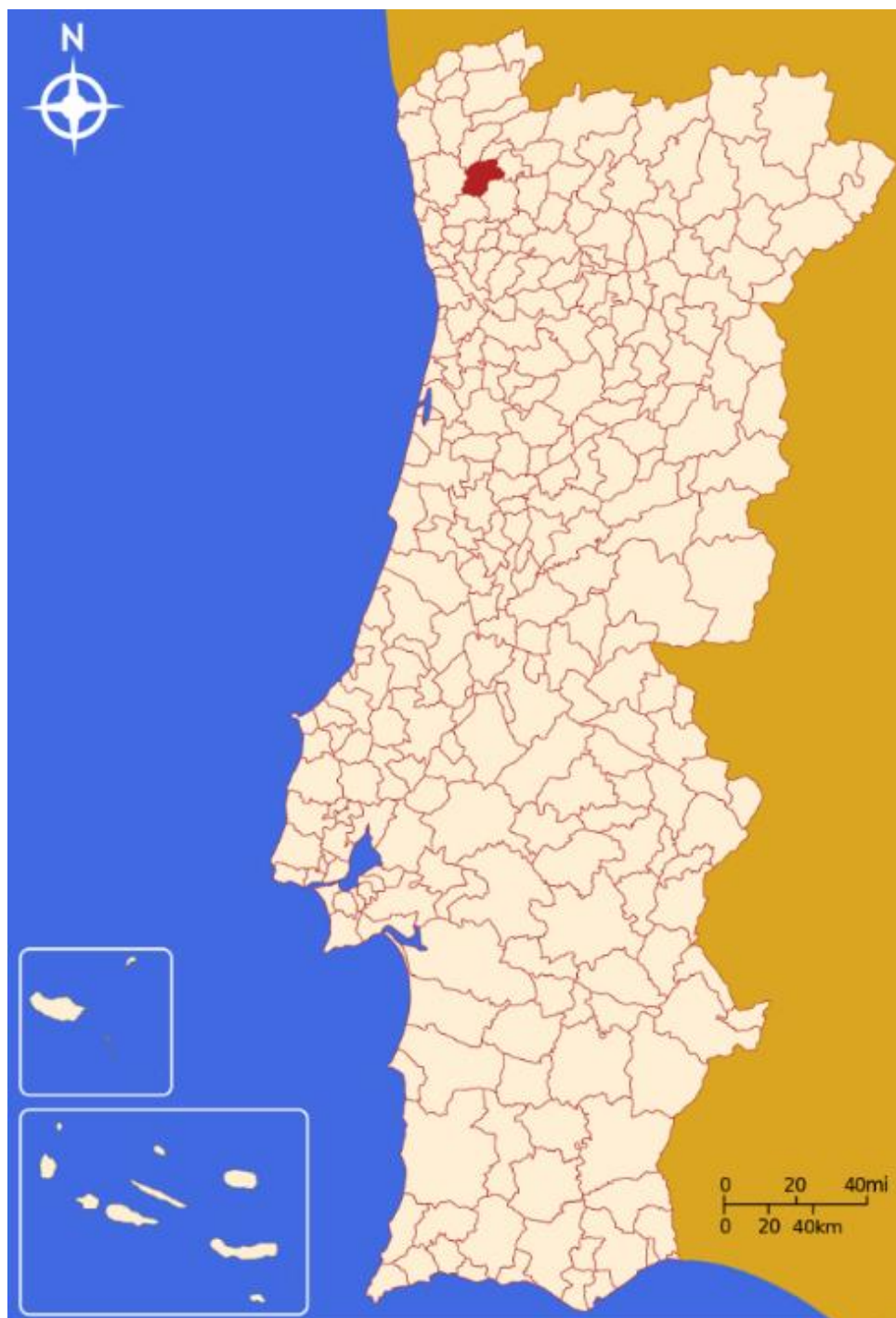


Figura 54 – Braga localizado no Mapa de Portugal.

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

O seu território é do domínio de duas bacias hidrográficas, a bacia hidrográfica do Rio Cávado, a Norte, e a bacia hidrográfica do Rio Ave, a Sul.

O concelho encontra-se predominantemente urbanizado, alterado antropicamente, podendo isso influenciar o comportamento hidrológico da região.

A zona em estudo encontra-se cartografada na folha 70 da Carta Militar de Portugal À escala 1:50000, elaborada pelos Serviços Cartográficos do Exército (Figura 55).

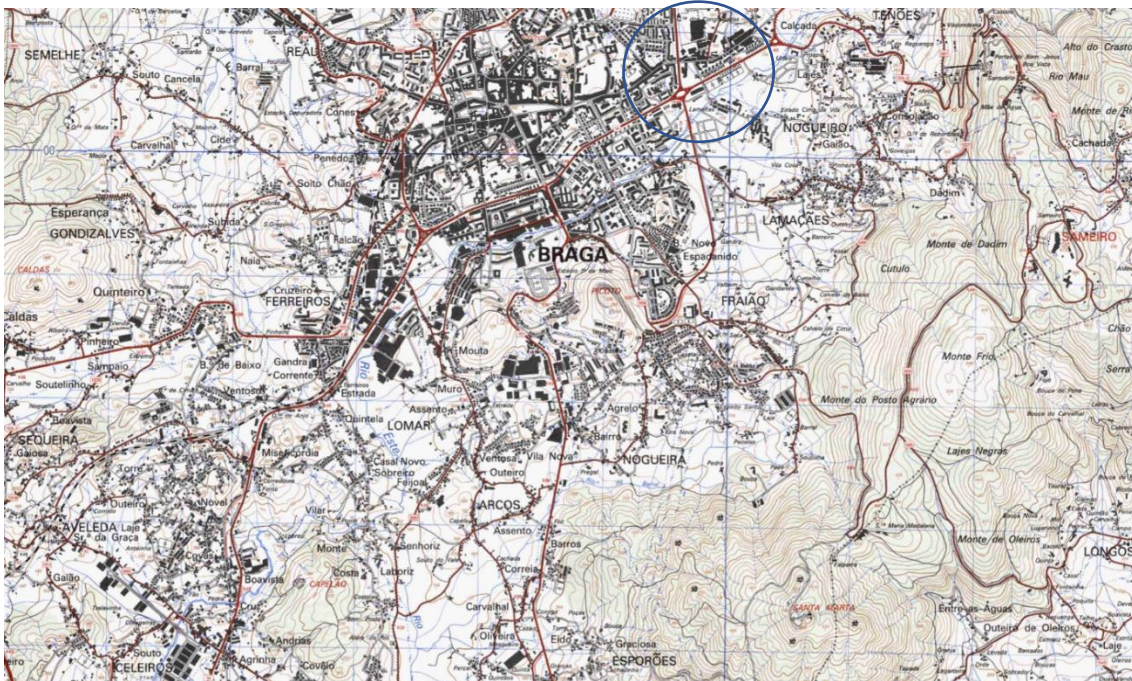


Figura 55 – Excerto da folha 70 da Carta Militar de Portugal (1:50000) com localização do local em estudo.

4.2.2. Enquadramento Geológico

A nível regional a área de interesse situa-se no Maciço Hespérico, essencialmente constituído por formações anteriores ao Mesozóico, que foram consolidando desde o fim da orogenia hercínica. Este maciço está dividido em várias zonas: Zona Cantábrica (ZC), Zona Astúrico Leonesa (ZAL), Zona Galiza Trás-os-Montes, Zona de Ossa Morena (ZOM), Zona Sul Portuguesa (ZSP) e Zona Centro Ibérica (ZCI), onde se localiza a área de interesse.

A área de interesse encontra-se representada na folha 5D-Braga da Carta Geológica de Portugal. Nesta zona foram cartografadas essencialmente formações graníticas de idade Hercínica, metassedimentos do Paleozóico, depósitos de cobertura do Plistocénico e aluviões.

As formações metassedimentares não têm grande expressão. Quanto aos depósitos de cobertura ocorrem essencialmente ligados aos grandes rios regionais, Cávado e Ave.

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Mais especificamente, o local interessado situa-se em zona de transição entre os metassedimentos do Paleozóico e as formações graníticas, tal como podemos observar no excerto da folha 5D – Braga, da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 (figura 56).

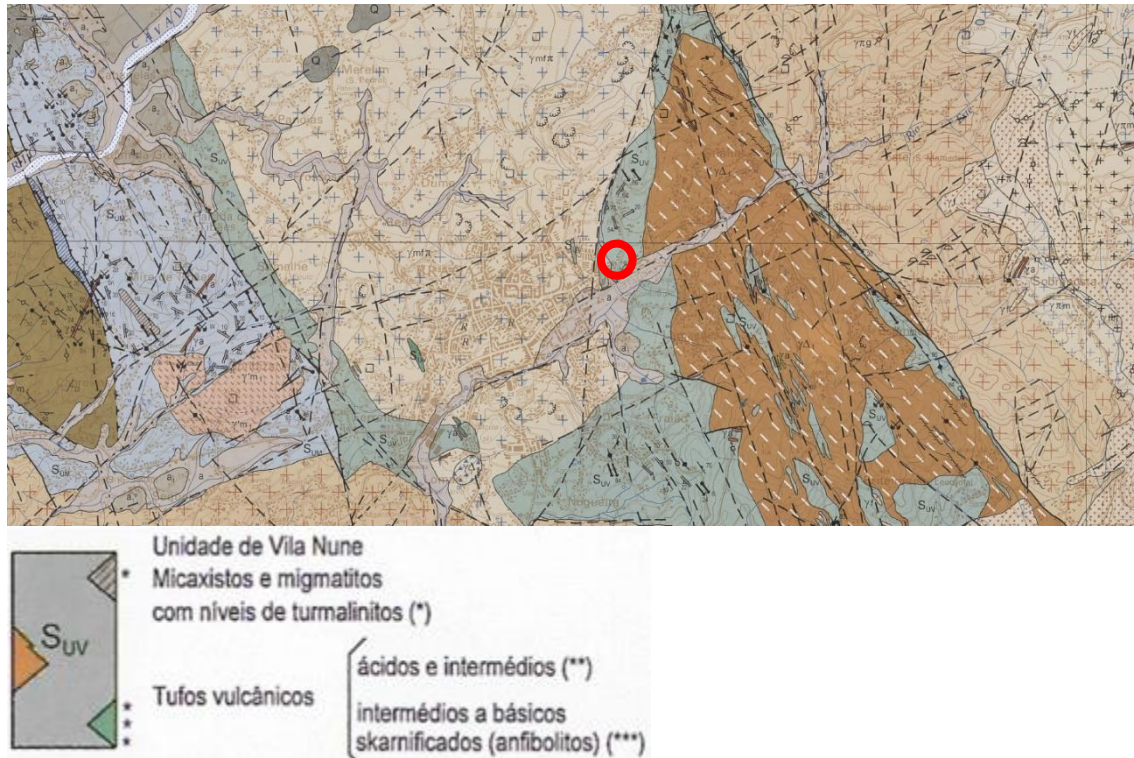


Figura 56 – Excerto da folha 5D – Braga da Carta Geológica de Portugal (1:50000).

Como é possível observar pelo ponto a negro da figura anterior, a área interessada encontra-se em zona de domínio metassedimentar, mais especificamente em zona caracterizada por metassedimentos da Unidade de Vila Nune, mas muito perto do contacto com as rochas graníticas.

A Unidade de Vila Nune destaca-se pela presença de litologias de maior grau metamórfico, denominadamente micaxistos e migmatitos com uma xistosidade muito intensa. Característica deste unidade é um metamorfismo de alta temperatura e baixa pressão.

4.2.3. Enquadramento Geomorfológico, Hidrogeológico e Climatológico

Segundo a notícia explicativa da carta acima referida, a morfologia da região é caracterizada pela alternância de alvéolos de erosão, vales fluviais nas zonas de menor cota e relevos acentuados. O setor NW da folha 5D – Braga é dominado pela bacia do Rio Cávado ao passo que o setor SE é dominado pela bacia do Rio Ave. Os vales destes

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

rios apresentam grandes áreas aluvionares sendo importantes depósitos de águas subterrâneas. Estas bacias encontram-se separadas pelas maiores elevações da carta, a Nordeste pela Serra de São Mamede de Penafiel com cerca de 740 metros de altitude e a Noroeste pelas Serras do Carvalho, Lombão, Sameiro, Santa Marta e Santo Antoninho, com altitudes compreendidas entre os 430 e os 560 metros de altitude, cujas vertentes descarregam para ambas as bacias.

Precisamente a Unidade de Vila Nune, é uma das formações de maior produtividade aquífera, apresentando caudais geralmente superiores a 2,5 l/s ou 9000 l/h. Recorrendo à Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000 (folha 5D-Braga) bem como à Carta Hidrogeológica de Portugal na escala 1:200 000 (folha 1) é perceptível que o local em estudo se encontra numa zona de contacto entre metassedimentos e rochas graníticas como podemos observar na figura 57.



ROCHAS GRANÍTICAS

- Tardi a pós - orogénicos
- Sin - orogénicos

METASSEDIMENTOS

- Xistos, quartzitos, pelitos, psamitos, xistos carbonosos e siltitos

Indicações relativas à água Superficial

- Curso de água permanente
- Curso de água sazonal
- Curso de água temporário
- Albufeira
- Linha de separação de bacias hidrográficas
- Estação hidrométrica (caudal médio anual de escoamento em Hm³)

Figura 57 – Excerto da Folha 1 da Carta Hidrogeológica de Portugal (escala 1:200 000).

De seguida são apresentados, na tabela 5, valores de aptidão aquífera da zona em estudo.

Tabela 5 – Excerto da Folha 1 da Carta Hidrogeológica de Portugal (escala 1:200 000).

PERMEABILIDADE	MEIO POROSO	PRODUTIVIDADE l/s . km ²	MEIO FISSURADO	PRODUTIVIDADE l/s . km ²
ALTA		IMPORTANTE > 5		IMPORTANTE > 3
MÉDIA A BAIXA		SIGNIFICATIVA 1 a 5		SIGNIFICATIVA 1 a 3
MUITO BAIXA		ESCASSA < 1		ESCASSA < 1

De acordo com a tabela 5, em relação ao local assinalado na figura 56, é de esperar que a zona seja caracterizada por ter uma aptidão aquífera média a baixa e de produtividade significativa (1 a 3 l/s km²) em meio fissurado. Estes dados poderão ser confirmados, ou não, após os trabalhos de prospeção geológico-geotécnica.

Segundo a Notícia Explicativa da Folha 1 da Carta Hidrogeológica de Portugal (1:200000), climatologicamente e tendo em consideração os dados do Instituto de Meteorologia para a estação Braga/Posto Agrário, entre as datas 1961/1990, com respeito à precipitação e evapotranspiração potencial pelo método de Penman sabe-se que:

Precipitação média anual

$$P = 1515 \text{ mm}$$

Evapotranspiração real média anual

$$ETR = 450 \text{ mm}$$

Excedentes hídricos

$$Ex = 925 \text{ mm}$$

Segundo o balanço hidrológico da mesma:

$$P = ETR + Ex + IW$$

$$P - ETR = Ex + IW$$

$$1515 - 450 = Ex + IW$$

$$Ex + IW = 1065 \text{ mm}$$

$$IW = 1065 - 925$$

$$IW = 140 \text{ mm}$$

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

onde:

P = precipitação média anual

ETR = evapotranspiração real média anual

Ex = excedentes hídricos médios anuais

IW = infiltração eficaz média anual

A zona envolvente do terreno em estudo é caracterizada por ter um relevo suave, sem contrastes altimétricos significativos, tendo um ligeiro pendor no sentido Norte/Sul.

A velocidade de infiltração está diretamente relacionada com a permeabilidade dos terrenos. Posto isto, um estudo de prospecção geológico-geotécnica e hidrogeológico têm uma grande importância, permitindo avaliar o comportamento esperado do solo na interação com a água. Dessa avaliação é possível tirar ilações quanto aos procedimentos necessários a ter em conta, visando evitar acidentes, quer em fase de obra, quer após a conclusão da mesma tendo em conta a geologia local.

De acordo com as amostras recolhidas após a realização dos diversos ensaios SPT é possível caracterizar o local como sendo constituído à superfície por uma pequena camada de solo de cobertura/aterro, seguido de um solo residual de aparência areno-siltosa de cor laranja acastanhada. Por fim, ao atingir o maciço rochoso, foi possível caracterizar um migmatito bastante alterado que se decompõe num solo de aparência areno-siltosa cor castanho alaranjado, com concentrações de micas e óxidos de ferro. Por vezes é possível caracterizar o mesmo migmatito na presença de filonetes de quartzo. Este migmatito pertence à Unidade de Vila Nune e é caracterizado como tendo níveis anormalmente ricos em turmalina.

4.2.4. Enquadramento Sísmico

Sismicamente, a zona em estudo encontra-se no local de menor risco sísmico do território nacional, tendo em conta o “Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP), a denominada **Zona D** tal como se pode observar na figura 58.



Figura 58 – Zonamento de risco sísmico (Fonte: DGA, Atlas do Ambiente, 1996-Registo sísmico compreendido entre 1755 e 1996).

Ao longo do tempo, Portugal tem vindo a registar consequências de sismos de moderada a forte magnitude. De acordo com a distribuição dessas ocorrências sísmicas foi possível a realização de um mapa de zonamento sob a forma de isossistas (curvas traçadas num mapa, que delimitam, em redor de um epicentro, zonas onde se registaram intensidades sísmicas idênticas durante o sismo). Este mapa está representado na figura 59. De acordo com a mesma, a área em estudo situa-se numa zona de intensidade sísmica de grau 6.

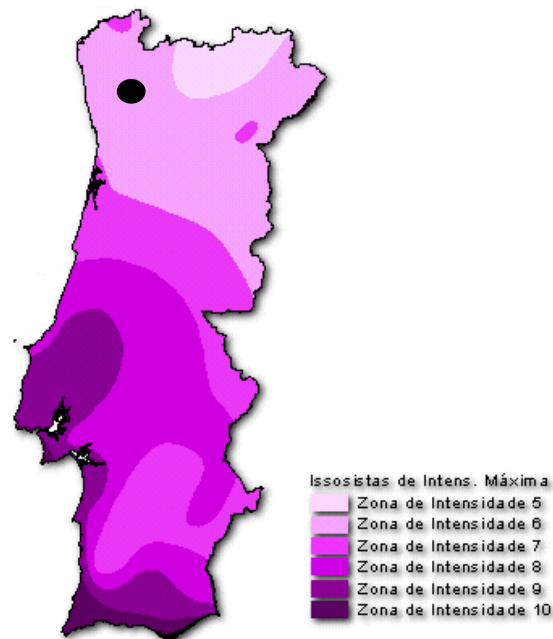


Figura 59 – Distribuição de isossistas de intensidade máxima de Portugal Continental (Fonte: DGA, Atlas do Ambiente, 1996-Registo sísmico compreendido entre 1755 e 1996).

4.2.5. Trabalhos realizados

A primeira fase de qualquer trabalho é a fase de prospecção, fase onde é recolhida a informação possível sobre a área de interesse.

De seguida, a visita ao local onde os trabalhos decorreram, foi essencial para se ter uma perceção dos meios necessários a mobilizar e dos ensaios possíveis e recomendados de acordo com o resultado pretendido pelo cliente. Esta visita é também importante para dar início à delimitação da malha do terreno a amostrar, bem como prever a facilidade de acesso para a maquinaria e material necessário à execução dos ensaios.

O plano de trabalhos consistiu na execução de seis sondagens mecânicas à rotação (S1 a S6) com realização de ensaios SPT, da instalação de dois piezómetros, execução de dois ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc e, também, recolha de amostras inalteradas para realização de ensaios laboratoriais. Na figura 60 podemos observar uma imagem onde se indicam os trabalhos de prospecção. Por sua vez na figura 61 podemos observar um dos equipamentos utilizados na realização desses ensaios.



Figura 60 – Localização dos ensaios realizados (fonte: Google Earth).



Figura 61 – Atlas Copco Mustang A32, utilizada nos trabalhos de prospecção (fonte: própria).

O equipamento representado na figura 61, para além de ser um equipamento de perfuração, tem também incorporado o equipamento necessário para a realização dos ensaios SPT e recolha das respetivas amostras.

A profundidade, atingida pela perfuração, depende de caso para caso, de acordo com os objetivos traçados pelo cliente e das propriedades do meio a ensaiar. Neste estudo, o intervalo de profundidade atingida pelas sondagens varia entre os 7,5 m e os 24,0 m. Durante a perfuração foram efetuados, a cada 1,5 m os ensaios SPT e feita a recolha das respetivas amostras de solo. Esta amostragem conta com recolha de amostras remexidas e amostras inalteradas, permitindo, a nível geotécnico, executar uma vasta gama de ensaios. Esta amostragem foi executada com recurso a amostradores tripartidos no caso da amostragem inalterada (figura 62), com 78 mm de diâmetro externo equipados com um liner de 63 mm no seu interior, sendo posteriormente seladas e acondicionadas como se pode observar na figura 63. A

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

recolha de amostras para classificação litológica ao longo da sondagem foi executada com um amostrador “Terzaghi” como ilustra a figura 64.

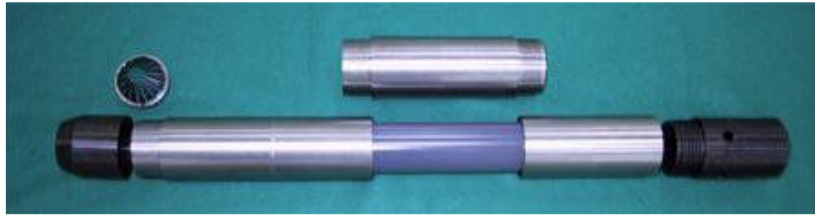


Figura 62 – Amostrador tripartido (fonte: própria).



Figura 63 – Amostras inalteradas, recolhidas no amostrador tripartido, devidamente etiquetadas e acondicionadas (fonte: própria).



Figura 64 – Amostrador do tipo “Terzaghi” (fonte: própria).

Após a conclusão dos furos de sondagem e retirado o material de perfuração, foi medido o nível da água em todas as sondagens onde tal foi possível. Em alguns casos houve o abatimento das paredes do furo, impossibilitando esse controlo.

Estas medições, bem como os resultados de todos os restantes ensaios serão apresentadas no subcapítulo que se segue (**capítulo 4.2.6**).

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Para além da execução das sondagens e respetivos ensaios SPT, foram também realizados dois ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc com carga variável, a uma profundidade de 4,0 m e com a execução de uma lanterna de 0,6 m. Foram ainda instalados dois piezómetros (S2Rep/Pz e S5/Pz).

Na figura 65 podemos observar a instalação de um dos piezómetros referidos. Na figura 66 podemos observar o resultado final da instalação, já com o tubo piezométrico à cota do solo e com a tampa de proteção instalada, evitando assim possíveis contaminações ou quedas de pessoas, objetos ou animais.



Figura 65 – Tubo piezométrico já instalado. Ainda por realizar corte do tubo de acordo com a topografia e execução da tampa de selagem (fonte: própria).



Figura 66 – Resultado final da instalação de um tubo piezométrico, onde o mesmo se encontra nivelado com a topografia do terreno e isolado do exterior, evitando qualquer tipo de contaminação ou acidentes (fonte: própria).

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

A tampa que podemos observar na figura 66 tem um mecanismo que permite a sua abertura e retirada, permitindo o controlo da superfície freática e/ou a recolha de amostras de água.

Estando este estudo relacionado com uma obra de engenharia, é do interesse do cliente a análise da agressividade da água ao betão.

Pondo em uso uma das funcionalidades dos piezómetros foi feita a recolha de uma amostra de água. Nessa recolha foi utilizado um amostrador de água subterrânea tipo Bailer, como se pode observar na figura 67.



Figura 67 – amostrador de água vertical tipo Bailer (fonte: própria).

No decorrer da execução da sondagem S2, foi intercetado um vazio a uma profundidade de cerca de 6,1 m. Esta sondagem encontra-se próxima ao poço existente no terreno pelo que foi feita uma inspeção ao poço de captação de água.

Com o objetivo de aferir as características geométricas do poço, bem como verificar a possível existência de galerias ou minas intercomunicantes, procedeu-se à instalação de uma mini grua/guincho com cabo de aço que permitiu a descida e entrada no mesmo. Foi também instalada uma eletrobomba submersível com capacidade de bombagem de um caudal de 16 m³/h com uma ligação de 1”1/2 de diâmetro. Nas figuras que se seguem é possível observar o exterior e o interior do poço mencionado.



Figura 68 – Laje de proteção quadrada (fonte: própria).



Figura 69 – Interior do poço de captação (fonte: própria).

Este poço é caracterizado por ser um poço em alvenaria granítica com uma laje de proteção quadrada à superfície. Inicialmente de forma quadrangular com 1.0 m x 1.0 m. A uma profundidade de cerca de 4,8 m o poço sofre um alargamento de cerca de 5,0 m na direção E-W e 1,5 m na direção N-S. A base do poço encontra-se a sensivelmente 9,0 m de profundidade, encontrando-se na base preenchido por material fino que terá sido ali depositado ao longo do tempo. A descida do mineiro comprovou o bom estado do interior do poço e confirmou a inexistência de qualquer galeria de ligação a possíveis minas de água.

Para permitir a descida do mineiro, foi executada uma bombagem no poço. A bombagem teve início às 11:10h e foi finalizada por volta das 12:00h do 7º dia de trabalhos no terreno interessado, tendo sido registada uma descida do nível hidrodinâmico no poço dos 5,7 m para os 6,4 m, onde se manteve estável por 15 minutos a um caudal de extração de cerca de 15.000 l/h, tendo um rebaixamento de 0,7 m. Nos piezómetros instalados não se fez sentir qualquer alteração, denotando a pouca permeabilidade do solo, embora tenha decorrido pouco tempo de bombagem. De salientar que o tempo de bombagem foi curto pois não foi planeado nem autorizado pelo cliente qualquer ensaio de caudal, sendo a extração feita com uma única intenção, a de esvaziar o poço para a descida do mineiro ao seu interior. Também por isso os dados obtidos não são exatos, rigorosos nem devidamente tratados, visto a bombagem ter sido feita pelo mineiro e não pelo corpo técnico da Triáguas, sendo que por esse motivo não foram tidos em conta para qualquer tipo de ensaio. No capítulo de resultados será

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

apresentado um quadro com as medições executadas no poço de captação ao longo do período de bombagem bem como nos dois piezómetros instalados.

Devido à inexistência de qualquer galeria de ligação, continua por explicar a cavidade intercetada na sondagem S2. Por isso, e com a intenção de tentar perceber que tipo de estrutura ali se encontra, foi proposta uma campanha geofísica pela técnica de Georadar (GPR).

4.2.5.1. Parâmetros de recolha de dados GPR

O presente ensaio foi posicionado com base na localização da sondagem 2, local onde foi intercetada uma cavidade de origem desconhecida, potencialmente preenchida por ar, a uma profundidade de cerca de 6,1 m com uma expressão vertical de cerca de 1,4 m.

Foi estabelecida uma malha retangular (figura 70), onde a possível presença de infraestruturas carecia de maior confirmação, ao longo da qual foram efetuados um conjunto de perfis.

De referir que esta recolha de dados foi condicionada pela grande restrição do espaço ocupado pela vegetação (figura 71), árvores e material de vazadouro, pela presença de ruídos e materiais que interferiam no sinal do aparelho e pela possível saturação do solo aquando da aquisição dos dados de georadar, podendo interferir e limitar a profundidade de recolha dos mesmos (ocorreu intensa pluviosidade poucos dias antes da realização destes trabalhos).



Figura 70 – Malha retangular estabelecida para recolha de perfis GPR (fonte: própria).



Figura 71 – Recolha de dados, visivelmente condicionada pela forte presença de vegetação (fonte: própria).

4.2.6. Resultados obtidos

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos após a realização dos diversos ensaios previamente descritos.

4.2.6.1. Ensaios in situ

Tendo como objetivo a recolha de amostras, bem como a avaliação das características e parâmetros geotécnicos mais relevantes do solo e/ou rocha branda, foram realizados ensaios de penetração ao longo dos furos de sondagem, de acordo com a norma ASTM D – 1586-99 e com o estabelecido em “Standard Penetration Test: International Reference Test Procedure”.

Os resultados obtidos nos ensaios SPT estão indicados nos log’s das sondagens apresentados em anexo. Na tabela seguinte, podem observar-se resumidamente as principais características referentes às sondagens realizadas.

Tabela 6 - Resumo das quantidades de trabalho executadas (sondagens mecânicas).

Designação do furo de sondagem	Profundidade / comprimento (m)	Ensaios SPT	Amostras inalteradas	Ensaios Lefranc
S1	7.50	5	1	-
S2	7.50	5	1	-
S2Rep/Pz	7.50	2	-	-
S3	13.50	9	1	-
S4	12.00	8	1	-
S5/Pz	22.50	15	1	-

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

S6	24.00	16	1	-
LF1	4.60	-	-	1 (4.00m - 4.60m)
LF2	4.60	-	-	1 (4.00m - 4.60m)
Total	93.00	60	6	2

Legenda da Tabela:

S – Sondagem

Rep – Repetição

Pz – Piezómetro

LF – Ensaio de permeabilidade do tipo Lefranc

É de salientar que o critério de conclusão das respetivas sondagens consistiu na obtenção de três ensaios consecutivos em que NSPT ≥ 60 pancadas.

A profundidade atingida pelas sondagens variou entre os 7,5 m e os 24,0 m, mostrando um terreno heterogéneo. A sondagem S2 foi repetida e deu origem à sondagem S2Rep/Pz. Isto deveu-se ao facto de durante a execução da sondagem S2 se ter intercetado uma estrutura subterrânea não natural do solo, possivelmente uma galeria subterrânea de origem antrópica.

Durante a perfuração foram também feitas recolhas de amostras indeformadas para posteriores ensaios laboratoriais, cujos resultados serão apresentados na próxima secção deste capítulo **(4.2.6.2)**. Na tabela 7 encontra-se um resumo das amostras recolhidas e da respetiva profundidade de recolha.

Tabela 7 - Profundidade de colheita de cada amostra.

Furo de Sondagem	Profundidade da amostra (m)
S1	2.0m – 2.6m
S2	2.0m – 2.6m
S3	2.0m – 2.6m
S4	2.0m – 2.6m
S5	6.0m – 6.6m
S6	2.0m – 2.6m

Concluídos os trabalhos de perfuração, os respetivos ensaios SPT e a recolha de amostras, foi retirado o material de perfuração e foram feitas medições do nível da água subterrânea.

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Para melhor e maior controlo no nível freático foram instalados, no interior de dois furos de sondagem, piezómetros do tipo “tubo aberto”, de configuração simples, em PVC rígido de 50mm de diâmetro (S2RepPz; S5/Pz).

Foram também feitas medições do nível de água num poço já existente na área interessada.

Na tabela 8 é possível observar o registo das medições executadas. Essas medições foram executadas ao longo de 7 dias, 5 deles consecutivos, complementados posteriormente por 2 dias não consecutivos.

Tabela 8 - Profundidade do nível de água subterrânea.

Profundidade do nível de água subterrânea (m)								
Dia	Hora	S1	S2Rep/Pz	S3	S4	S5/pz	S6	Poço
1	13:00	-	-	4,70	-	-	-	5,80
1	17:00	-	7,20	4,70	-	-	-	5,80
2	08:30	FS 5,7m	7,20	4,70	-	-	-	5,80
3	08:30	-	7,20	4,70	5,20	-	-	5,80
4	08:30	-	7,20	4,70	5,20	-	5,90	5,80
5	08:30	-	7,20	4,70	5,20	4,65	5,90	5,80
6	10:00	-	7,23	-	-	3,79	-	5,36
7	10:40	-	7,40	-	-	4,60	-	5,70

*FS – Furo fechou seco, não sendo possível a execução de medições.

Da análise aos registos presentes no quadro anterior, denota-se que, no último dia de leituras, o nível de água nos piezómetros se encontrava a variar entre os 4,60 m e os 7,40 m de profundidade, abaixo das cotas do terreno à data das medições.

Pelo facto de o período de monitorização dos piezómetros instalados ter sido muito curto, é recomendada a realização de leituras periódicas a partir dos mesmos, com o objetivo de obter mais registos e avaliar a possível variação do nível freático no decorrer do ano hidrológico.

Na tabela 9 podemos analisar os valores das medições executadas no poço e nos piezómetros durante a extração de água do poço.

Tabela 9 - Medições executadas no poço e piezómetros durante a bombagem.

Dia | Hora	S2/PZ (m)	S5/Pz (m)	Poço (m)
09/01 | 11:10h	7.40	4.60	5.70
09/01 | 11:15h	7.40	4.60	5.95

09/01 | 11:25	7.40	4.60	6.40
09/01 | 11:40	7.40	4.60	6.40

Como descrito na tabela 10, foram também executados dois ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc com carga variável. Os ensaios foram ambos preparados aos 4 metros de perfuração, tendo sido construída uma lanterna com 0,6 metros de profundidade, sendo o ensaio realizado a uma profundidade de 4,6 metros. É de salientar que ambos os ensaios foram realizados acima do nível freático, ou seja, em solo não saturado. O ensaio consistiu na observação e medição da variação de carga hidráulica ao longo do tempo, obtendo assim o valor de permeabilidade do solo. Os valores obtidos são apresentados na tabela 10, sendo os boletins apresentados em anexo.

Tabela 10 - Resultados dos ensaios Lefranc.

Ensaio Lefranc	Permeabilidade (k)
1	6,96E ⁻⁴ cm/s
2	5,73E ⁻⁴ cm/s

O cálculo foi feito com base na norma CAN/BNQ 2501-135-M88, que define:

$$K = A p' / (6000 C) \text{ onde } A = 3.14d^2/4; C = 2\pi L / \ln(2L/DL); p' = (\ln \lambda_i - \ln \lambda_f) / t_r - t_i$$

Para estimar o grau de permeabilidade dos solos foi considerado o seu coeficiente de permeabilidade, por comparativo da tabela 11, por Terzaghi & Peck (1967). Quanto à sua classificação granulométrica foi considerado o seu coeficiente de permeabilidade, por comparativo da tabela 12, proposto por Mello & Teixeira (1967).

Tabela 11 - Grau de permeabilidade, (Terzaghi & Peck, 1967).

Grau de Permeabilidade	Coefficiente K (cm/s)
Grande	Acima de 10 ⁻¹
Média	De 10 ⁻¹ a 10 ⁻³
Baixa	De 10 ⁻³ a 10 ⁻⁵
Muito baixa	De 10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷
Praticamente impermeável	Menos de 10 ⁻⁷

Tabela 12 - Classificação granulométrica segundo o coeficiente de permeabilidade (MELLO e Teixeira, 1967).

K (cm/s)	Acima de 1	De 1 a 10 ⁻³	De 10 ⁻³ a 10 ⁻⁷	Menos de 10 ⁻⁷

TIPO DE SOLO	Pedregulhos	Areias	Areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos	Argilas
---------------------	-------------	--------	---	---------

Comparando os valores obtidos dos solos ensaiados com os valores de referência da tabela 9 é possível determinar os solos ensaiados como solos de baixa permeabilidade, com valores de $6,96 \times 10^{-4}$ cm/s e $5,73 \times 10^{-4}$ cm/s que são da mesma ordem de grandeza.

Relacionando os valores de permeabilidade obtidos com os valores da tabela 8, podemos estimar que estamos na presença de um solo caracterizado por uma granulometria correspondente a areias finas siltosas ou argilosas ou siltes argilosos. O ensaio granulométrico apresentado de seguida irá comprovar ou discordar do presente resultado.

4.2.6.2. Ensaio laboratoriais

Como referido no capítulo “Trabalhos realizados”, a recolha de amostras de solo foi executada em todas as sondagens tendo sido submetidas a tratamento laboratorial, de acordo com os seguintes ensaios:

- E-239 (1971): Análise granulométrica por peneiração húmida;
- NP-143 (1969): Determinação dos limites de consistência (LL e LP);
- NP-84 (1965): Teor de humidade natural.

Foi ainda recolhida uma amostra de água com recurso a amostrador para caracterização da agressividade da água aos betões, em S5/Pz, segundo a norma:

- NP-EN-206 – 1 (2007): Agressividade da água aos betões.

Os boletins dos referidos ensaios estão presentes em anexo, sendo de seguida apresentado um quadro resumo (tabela 13) dos resultados obtidos relativos à caracterização dos solos.

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de caracterização dos solos.

Sondagem da colheita	Profundidade de recolha da amostra (m)	Granulometria passada (%)				Limites de Consistência			Teor em água	Classificação	
		Peneiro 4	Peneiro 10	Peneiro 40	Peneiro 200	LL (%)	LP (%)	IP (%)	ω (%)	ASTM	AASHTO

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

S1	2.00 - 2.60	97.6	91.8	72.9	30.8	29	NP	-	14.8	Areia Siltosa (SM)	A-2-4 (0)
S2	2.00 - 2.60	93.7	85.8	61.6	19.7	NL	NP	-	16.6	Areia Siltosa (SM)	A-2-4 (0)
S3	2.00 - 2.60	94.1	84.0	66.8	30.3	35	NP	-	19.8	Areia Siltosa (SM)	A-2-4 (0)
S4	2.00 - 2.60	93.9	81.5	59.1	28.0	38	NP	-	22.2	Areia Siltosa (SM)	A-2-4 (0)
S5	6.00 - 6.60	81.6	72.4	57.5	25.1	32	NP	-	16.1	Areia Siltosa (SM)	A-2-4 (0)
S6	2.00 - 2.60	100.0	100.0	93.8	38.3	30	NP	-	19.9	Areia Siltosa (SM)	A-4 (1)

Como se pode observar pela análise da tabela 13, a classificação ASTM caracteriza a granulometria do solo como sendo areia siltosa (SM), o que, segundo a tabela 12 de Mello & Teixeira, 1967, apresenta coeficientes de permeabilidade dos solos (K) com valores entre 10^{-3} cm/s e 10^{-7} cm/s, classificando-se como solos com permeabilidade baixa a muito baixa segundo Terzaghi & Peck, 1967.

Segundo a Classificação Unificada, adaptado de Lambe & Whitman, 1979, a tendência de comportamento do grupo SM, quando usado em obras de aterro, apresenta-se semipermeável a impermeável, quando compactado.

Segundo a classificação rodoviária (AASHTO), o solo apresenta um comportamento na camada sob o pavimento maioritariamente excelente a bom, identificado apenas na amostra recolhida na sondagem S6 como regular a mau.

Ambas as classificações podem ser consultadas em anexo.

Relativamente à amostra de água ensaiada podemos observar os resultados no quadro que se segue.

Tabela 14 - Resultados dos ensaios de agressividade da água subterrânea.

Parâmetro**	Resultados dos ensaios S5/PZ	Valores limites das classes de exposição (norma NP 206-1 (2007) Betão – Parte 1		
		XA1	XA2	XA3
Alcalinidade total (mg/L CaCO ₃)	<10,0	-	-	-
Azoto amoniacal (mg/L NH ₄)	<2,6	[15;30]	]30;60]	]60;100]
Dióxido de carbono agressivo (mg/L CO ₂)	21	[15;40]	]40;100]	>100 até à saturação
Magnésio (mg/L Mg)	3,6	[300;1000]	]1000;3000]	>3000 até à saturação
pH	5,5	[5,5;6,5]	]4,5;5,5[	[4,0;4,5[
Sulfatos (mg/L SO ₄)	17	[200;600]	]600;3000]	]3000;6000]

Da análise destes resultados é possível concluir que a amostra de água subterrânea, recolhida em S5/Pz, apresenta valores fora dos intervalos considerados, excetuando-se os valores referentes aos parâmetros pH e dióxido de carbono agressivo. Nessas situações a amostra de água posiciona-se na classe XA1 segundo o quadro 2 da norma NP EN 206-1 2007. Segundo esta mesma norma, quando duas ou mais características conduzirem à mesma classe, o ambiente deve ser classificado na classe imediatamente superior, a menos que um estudo especial para o caso específico mostre tal não ser necessário. Desta forma a agressividade desta água corresponde à classe XA2, pelo que segundo o quadro 1 da mesma norma o ambiente é considerado moderadamente agressivo. A norma mencionada encontra-se em anexo.

4.2.7. Discussão dos resultados do caso 2

Relativamente aos estudos hidrogeológicos é de referir que da prospeção geofísica, foi possível constatar que não foram encontradas quaisquer estruturas que possam condicionar o projeto nos locais estudados até uma profundidade de 4,0m. O facto de ter chovido intensamente nos dias que antecederam o estudo geofísico, aliado à grande presença de vegetação no local interessado, limitou a profundidade de aquisição de dados de georadar.

Segundo informação disponibilizada pelo cliente, está prevista a execução de duas caves, estando a 2ª cave prevista à cota 179.56 m. As medições de nível freático, aquando da realização deste estudo, denotavam uma variação do nível entre os 4,6 m

e os 7,4 m de profundidade, às quais correspondem respetivamente as cotas 177.8 m e 179.8 m. De acordo com estes dados, é perceptível que o nível freático pode vir a ser intersetado durante os trabalhos de escavação para execução de fundações. De referir, no entanto, que o nível freático pode variar ao longo do ano hidrológico, tendo as presentes medições sido feitas numa época em que este estará na sua cota mais elevada.

Resultado dos ensaios de caracterização de solos, com base na sua granulometria, teor de humidade e limites de consistência, os mesmos foram classificados como areias siltosas, inserindo-se no grupo de símbolo SM da classificação unificada ASTM. Segundo Mello e Teixeira, 1967, estas areias siltosas encontram-se num intervalo de coeficiente de permeabilidade com valores a variar entre 10^{-3} cm/s a 10^{-7} cm/s, inserindo-se assim, segundo Terzaghi e Peck, 1967, no grupo classificado como tendo baixa a muito baixa permeabilidade.

No entanto, foram executados dois ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc cujos resultados obtidos foram de $6,96^{-4}$ cm/s no ensaio 1 e $5,73^{-4}$ cm/s no ensaio 2. Novamente segundo Terzaghi e Peck, 1967, estes valores enquadraram-se agora num grupo classificado como tendo uma baixa permeabilidade.

Isto permite concluir que, embora a permeabilidade estimada pelos ensaios granulométricos esteja de acordo com os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc, os últimos mencionados são mais precisos, tendo permitido passar de uma classificação que indicava solos de baixa a muito baixa permeabilidade para uma classificação que indica apenas solos de baixa permeabilidade, reduzindo o intervalo de resultados e, assim, reduzindo também o grau de erro e/ou incerteza.

Posto isto, sabendo que se trata de um estudo para uma futura obra de engenharia e não sabendo o tipo de estrutura de contenção a executar, chama-se a atenção que a mesma poderá provocar um efeito de barreira, implicando um aumento do nível hidrológico a montante.

Geotecnicamente, a observação da amostragem recolhida nas sondagens mecânicas e a elaboração do respetivo log de sondagem permitiu estabelecer a seguinte sequência cronostratigráfica:

Recente

(Sc) Solo de cobertura/aterro: Intersectado em todas as sondagens, desde a superfície do terreno até uma profundidade média de 0,5 m. É constituído por solo com contaminação orgânica e tom acastanhado.

Metassedimentos do Paleozoico

(S_{UV}) Unidade de Vila Nune: caracterizada maioritariamente por migmatito, de cor castanho avermelhado e acastanhado, com concentrações visíveis de micas e óxidos de ferro, com os seguintes graus de alteração:

- **(Sr) Solo residual:** Identificado nas sondagens S3 e S6 dos 0,5 m aos 3,0 m, de aparência areno-siltosa. Os valores dos ensaios SPT foram até 19 pancadas identificando-o como um solo medianamente compacto, segundo a classificação de Terzaghi & Peck (1948).
- **(W5) Decomposto:** Intersectado em todas as sondagens, subjacente aos materiais acima descritos. Desagrega-se facilmente num solo areno-siltoso de tom acastanhado a alaranjado, com presença de filonetes de quartzo e laivos argilosos esbranquiçados. Os valores dos ensaios SPT variaram entre as 16 e as 60 pancadas, correspondendo a um solo medianamente compacto a muito compacto, segundo a classificação de Terzaghi & Peck (1948).

A classificação do solo quanto à compacidade, foi feita através de correlações com os ensaios SPT, conforme a tabela 15. Por sua vez a classificação do maciço rochoso foi feita de acordo com a Classificação da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (S.I.M.R.) conforme se pode observar na tabela 16.

Ensaio de penetração (SPT)	Classificação do solo				
	Muito solto	Solto	Medianamente compacto	Compacto	Muito compacto
Número de pancadas	0-4	4-10	10-30	30-50	>50

Tabela 15 - Classificação de solos incoerentes quanto à compacidade relativa (Terzaghi e Peck, 1948).

SÍMBOLOS		DESIGNAÇÕES	DESCRIÇÃO
W ₁	W ₁₋₂ (*)	São	Sem quaisquer sinais de alteração.
W ₂		Pouco alterado	Sinais de alteração, apenas nas imediações das descontinuidades.
W ₃		Medianamente alterado	Alteração visível em todo o maciço rochoso, mas não é friável
W ₄	W ₄₋₅ (*)	Muito alterado	Alteração visível em todo o maciço e a rocha é parcialmente friável.
W ₅		Decomposto	Maciço apresenta-se completamente friável, praticamente com comportamento de solo.

Tabela 16 - Grau de alteração de um maciço rochoso (I.S.R.M.).

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Com base no resultado de todos estes ensaios, foi possível a construção de diferentes perfis geológico-geotécnicos interpretativos (em anexo), que permitem identificar 4 zonas geotécnicas bem como um modelo hidrogeológico regional interpretativo (figura 73). Este modelo teve origem no “corte” apresentado na figura 72.



Figura 72 - Excerto da Carta Geológica 5D-Braga 1:50000, com "corte" que deu origem ao Modelo Hidrogeológico Regional Interpretativo.

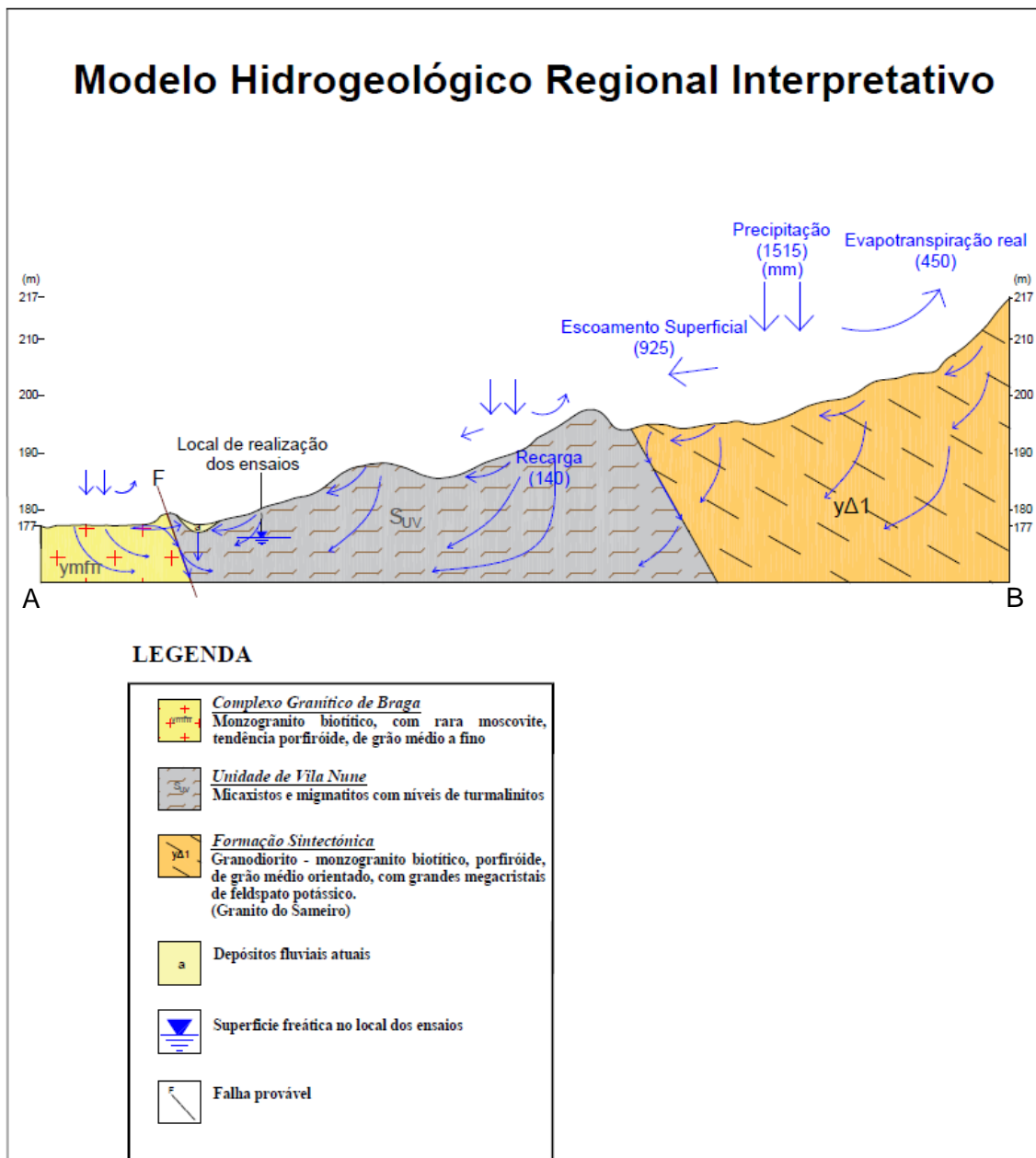


Figura 73 - Modelo Hidrogeológico Regional Interpretativo sem escala. Pode ser consultado em anexos com escala (fonte: própria).

De seguida é apresentada uma proposta de tabela descritiva (tabela 17) dos parâmetros físicos e mecânicos para as unidades geológicas acima descritas.

A Prospeção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Tabela 17 - Características das zonas geotécnicas para o maciço.

ZONAS GEOTÉCNICAS	Formação/Litologia	INTERVALOS N_{SPT}	TENSÃO DE CONTACTO ADMISSÍVEL (kPa) ⁽¹⁾
ZG4	Solo de cobertura e aterros, com contaminação orgânica	Não se aplica	Não se aplica
ZG3	Solo Residual e migmatito decomposto (W5), medianamente compacto.	$15 < N_{SPT} \leq 30$	150 a 300
ZG2	Migmatito decomposto (W5), compacto,	$30 < N_{SPT} \leq 50$	300 a 500
ZG1	Migmatito decomposto (W5), muito compacto.	$N_{SPT} > 50$	500 a 700

(1) – Terzaghi & Peck (1948), “Correlação entre os resultados do Ensaio SPT e a tensão admissível de sapatas sobre solos arenosos, admitindo um assentamento máximo de 25mm.”

Este é o resultado final ao qual é possível chegar com o acumular de todos os resultados dos ensaios acima descritos. As zonas geotécnicas apresentadas na tabela 17 e os perfis geológico-geotécnicos, bem como o modelo hidrogeológico regional interpretativo apresentado são da máxima importância, pois é através deles que serão tomadas muitas decisões relativas à obra de engenharia a desenvolver.

Estes dados permitirão perceber e dimensionar eventuais estruturas de contenção, tipo de fundações a utilizar, cota de fundação, melhor estrato para execução de fundações de acordo com as tensões admissíveis do solo e as tensões necessárias para a estrutura a edificar. Muito importante também é o controlo da superfície freática e do nível de água, podendo ser necessária a bombagem de água para rebaixamento destes níveis, permitindo as escavações necessárias na execução da referida obra de engenharia.

5. Conclusões e limitações

Sendo a prospeção uma área tão versátil e variável, é importante saber conjugar os seus diferentes tipos e métodos de aplicação, dependendo dos resultados que se pretendem atingir. Um bom exemplo da conjugação de diferentes métodos de prospeção é o 1º caso de estudo apresentado, onde a análise cartográfica e de campo permitiu a determinação dos melhores locais para a execução de perfis com recurso a Geofísica. Após a realização da mesma foi possível interpretar os resultados daí obtidos, sendo estes coerentes com os dados cartográficos e de campo, indo a maior anomalia geolétrica coincidir com a possível falha interpretada no terreno.

Os conhecimentos Geológicos postos em prática permitiu evitar uma prospeção direta aleatória através da perfuração, que traria custos extra e resultados possivelmente menos satisfatórios às necessidades do cliente.

No 2º caso de estudo apresentado foi possível perceber a importância da Geologia na prospeção necessária a um bom planeamento de qualquer obra de engenharia, sendo possível conhecer o solo com o qual se vai trabalhar de forma íntima e incomparável, através da execução de ensaios in situ, como o SPT e o Lefranc, complementados com a recolha de amostras e respetivos ensaios laboratoriais.

Estes ensaios laboratoriais permitiram retirar inúmeras conclusões relativamente ao tipo de solo, à sua granulometria, saturação em água entre outros.

Também a execução de piezómetros revelou a sua importância no controlo do nível freático bem como na recolha de amostras de água, que ao ser analisada se classificou como sendo moderadamente agressiva ao betão, parâmetro importante nas obras de engenharia, tornando-se assim evidente a grande importância e utilidade que a prospeção tem, nas mais diversas áreas e aplicações, desde a prospeção hidrogeológica, à prospeção geológico-geotécnica como no presente relatório apresentado, até outras áreas pluridisciplinares como a prospeção mineira, o controlo ambiental, entre outras.

Durante o decorrer do meu estágio curricular deu-se a pandemia relacionada com o vírus COVID-19 que acabou por nos afetar a todos. A empresa passou a trabalhar em teletrabalho acabando por condicionar um pouco o normal funcionamento das atividades, como o acompanhamento de diversos ensaios geotécnicos e/ou captações de água.

Ainda assim, foi possível concluir os trabalhos apresentados no presente relatório sem grandes percalços.

Houve, no entanto, algumas limitações impostas pela corrente pandemia, nomeadamente a impossibilidade de utilização dos laboratórios da faculdade onde

pretendia executar ensaios granulométricos com o objetivo de obter a curva granulométrica completa, pelo ensaio de sedimentação, abrangendo assim também a percentagem de finos (partículas com diâmetro inferior a 0.1 mm).

Com esses dados seria possível correlacionar a expressão semiempírica de Hazen, com os valores de permeabilidade obtidos pelo ensaio de permeabilidade do tipo Lefranc bem como com o valor obtido através da correlação do valor de permeabilidade com o do tipo de solo amostrado e ensaiado.

Bibliografia

Bell, F.G.; - Engineering Geology and Construction, Spon Press, New York, 2004.

Caputo, H.P. & Caputo, A.N.; - Mecânica dos Solos e Suas Aplicações, 7th Ed., LTC, Rio de Janeiro, 2015 (Volume 1).

Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000. Folha 5-D-Braga. Instituto Geológico e Mineiro, 2000.

Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000. Folha 9-D-Penafiel. Direção Geral de Geologia e Minas, 1981.

Carta Hidrogeológica de Portugal na escala 1:200000. Folha 1. Serviços Geológicos de Portugal, 1982.

Carta Militar de Portugal na escala 1:50000. Folha n.º 70 – Braga. Serviços Cartográficos do Exército, 2006.

Carta Militar de Portugal na escala 1:50000. Folha n.º 111 – Paços de Ferreira. Serviços Cartográficos do Exército, 2012.

Carter, M.R.; – Soil Sampling and Methods of Analysis, 1st Ed, CRC Press, Flórida, 1993.

Cherry, J.A. & Freeze, R.A.; - Groundwater, Prentice Hall, Inc, New Jersey, 1979.

Coelho, S; - Tecnologia de Fundações, Escola Profissional Gustavo Eiffel, Amadora, 1996.

CS/04; - Manual de Boas Práticas para Execução e Exploração de Furos de Captação de Águas Subterrâneas, Instituto Português da Qualidade, 2012.

Custodio, E. & Llamas, M.R.; - Hidrologia Subterrânea, Omega, 1996 (Volume 1).

Daniels, D.J; - Ground Penetrating Radar, 2nd Ed, The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 2004.

European Communities; - Soil Atlas of Europe, Office for Official Publications of the Europe Communities, 2006.

Fernandes, M.M; - Mecânica dos Solos, Conceitos e Princípios Fundamentais, 1st Ed, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006 (Volume 1).

A Prospecção Hidrogeológica aplicada às captações de água e à Geotecnia

Fetter, C.W.; - Applied Hydrogeology, 4th Ed., Prentice Hall, 2001.

Krynine, D.P. & Judd, W.R.; - Principles of Engineering Geology and Geotechnics, McGraw – Hill Book Company, Inc., Nova Iorque, 1957.

Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, Folha 9-D-Penafiel. Direção Geral de Geologia e Minas, 1981.

Ordem dos Engenheiros - Especialização de Geotecnia; - Recomendações na Área da Geotecnia, Ingenium Edições, Lda, Lisboa, 2004.

Pansu, M & Gautheyrou, J.; - Handbook of Soil Analysis, 1st Ed, Springer, Alemanha, 2006.

Price, M; - Introducing groundwater, 2nd Ed, Taylor & Francis, Reino Unido, 1996.

Terzaghi, K; Peck, R.B. & Mesri, G.; - Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, Canada, 1996.

Todd, D.K.; - Groundwater Hydrogeology, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Canada, 1980.

United States Department of Agriculture, Soil Survey Division Staff; - Soil Survey Manual, U.S. Government Printing Office, Washington, 1993.

Webgrafia

Herrick, J.E. & Jones, T.L.; - A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.66, n.4, 2002 (consultado em <https://access.onlinelibrary.wiley.com/journal/14350661>, na data 24/05/2020)

<http://waterdropess.blogspot.com/2016/03/o-ciclo-hidrologico.html> (consultado em 05/11/2019)

Anexos

Logs de Sondagem

Cota da boca do furo: 184.08
 Cota nível de água: ----

Profundidade	Simbologia	Estatigrafia	Descrição Litológica	Alteração Fraturação/ISRM	Nível Freático	Ensaio SPT		Índice RQD - cor preto % Recuperação - cor castanho								
						SPT Profundidade	Número de Pancadas	20	40	60	80	100				
0		Sc Suv	Solo de cobertura, com contaminação orgânica, de cor acastanhado.	sr		0	1020304050									
1			Solo residual, de cor castanho alaranjado.													
2		W5	Migmatito decomposto, que se decompõe num solo de aparência areno-siltosa cor castanho alaranjado.			2	4 19(7+12)									
3						3	8 25(11+14)									
4						4										
5						5	5 24(10+14)									
6						6	7 41(16+25)									
7						7										
8						8	7 28(12+16)									
9						9	8 44(17+27)									
10						10										
11						11	15 60(30+30) 28cm									
12						12	15 60(25+35) 30cm									
13						13										
14						14	15 60(30+30) 27cm									
15							Fim de sondagem									
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																


A.I.

Cota da boca do furo: 183.93
 Cota nível de água: ----

Profundidade	Simbologia	Estatigrafia	Descrição Litológica	Alteração Fraturação/ ISRM	Nível Freático	Ensaio SPT		Índice RQD - cor preto % Recuperação - cor castanho							
						SPT Profundidade	Número de Pancadas	20	40	60	80	100			
0		Sc	Solo de cobertura, com contaminação orgânica, cor acastanhado.	W5		0	1020304050								
0		Suv	Migmatito decomposto, que se decompõe num solo de aparência areno-siltosa cor castanho avermelhado escuro, com concentrações de óxidos de ferro.				1								
1							2	5 24(11+13)							
2							3	10 33(14+19)							
3							4								
4							5	11 32(17+15)							
5							6	11 34(15+19)							
6							7								
7							8	4 16(6+10)							
8			Idem, com laivos argilosos de cor esbranquiçada.				9	18 60(45+15) 20cm							
9			Idem, acastanhado.				10								
10							11	17 60(44+16) 20cm							
11						12	15 60(30+30) 23cm								
12			Fim de Sondagem.			13									
13						14									
14						15									
15						16									
16						17									
17						18									
18						19									
19						20									
20						21									
21						22									
22						23									

A.I.

Cota da boca do furo: 183.74
 Cota nível de água: 179.09

Profundidade	Simbologia	Estatigrafia	Descrição Litológica	Alteração Fraturação/ ISRM	Nível Freático	Ensaio SPT		Índice RQD - cor preto % Recuperação - cor castanho						
						SPT Profundidade	Número de Pancadas	20	40	60	80	100		
0		Sc	Solo de cobertura, com contaminação orgânica.	W5		0	1020304050							
0		Suv	Migmatito decomposto, que se decompõe num solo de aparência areno-siltosa cor castanho alaranjado, com concentrações de micas e óxidos.				0							
1						1		6	21(9+12)					
2						2								
3						3		5	21(9+12)					
4						4								
5						5		11	35(16+19)					
6						6								
7						7		8	49(19+30)					A.I.
8						8		7	24(10+14)					
9						9		9	31(11+20)					
10						10								
11			Idem, de cor castanha acinzentada.			11		11	37(19+18)					
12						12		7	38(17+21)					
13						13								
14						14		8	33(13+20)					
15						15		11	35(15+20)					
16						16								
17						17		15	60(30+30) 27cm					
18						18		12	60(20+40) 30cm					
19						19								
20						20		10	38(14+24)					
21			Idem, de cor alaranjada. Aparência oxidada.			21		30	60(54+6) 16cm					
22			Idem, de cor acastanhada.			22								
23			Fim de sondagem			23		28	60(60+0)					

Ensaaios in situ

ENSAIO TIPO LEFRANC

ENSAIO DE CARGA VARIÁVEL

Entidade:		Sondagem:	LF01	Data:	
Nº do Processo:		Obra:			

Distâncias medidas entre o chão, e:

Nível freático, h_2 (cm):	470
Fundo da sondagem, h_1 (cm):	400
Topo do revestimento, h_3 (cm):	60

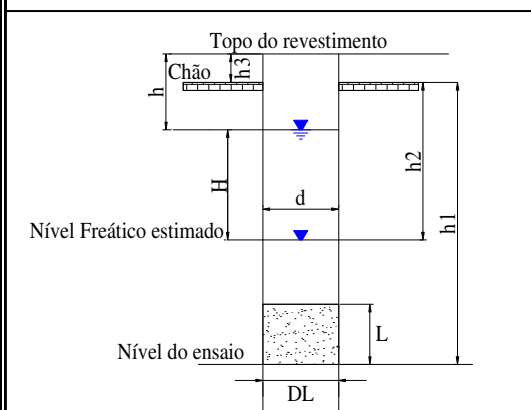
Lanterna		Comprimento, L (cm):	60,00
		Diâmetro, D_L (cm):	7,8
		Material usado	
Tubo de Revestimento		Diâmetro externo, D (cm):	9,8
		Diâmetro interno, d (cm):	8,9
		Comprimento total, L (cm)	460

$$C = 2\pi L / \ln(2L/D_L)$$

C (cm): 137,92183

h - Profundidade entre topo revestimento e nível do ensaio

H - Altura da coluna de água entre o nível freático e nível do ensaio



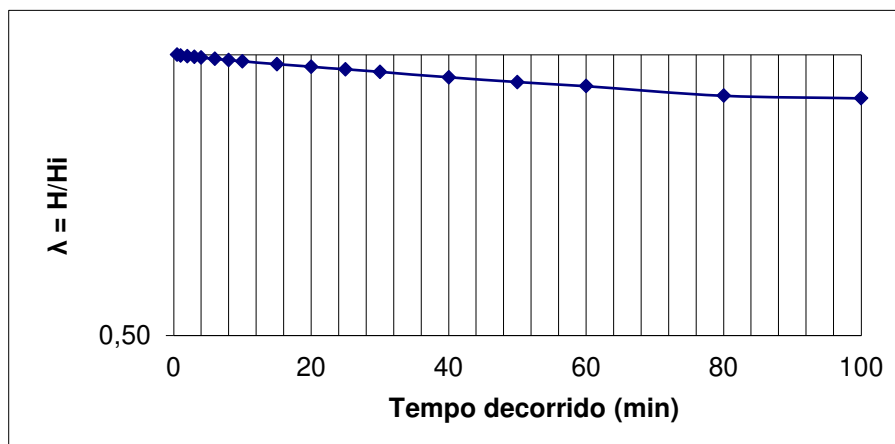
Tempo (min)	h (cm)	H (cm)	$\lambda = H/H_i$ (cm)
0	0	530	-
0,5	0,05	529,95	1,00
1	1,2	528,8	1,00
2	2	528	1,00
3	2,9	527,1	0,99
4	3,7	526,3	0,99
6	5,2	524,8	0,99
8	6,9	523,1	0,99
10	8,6	521,4	0,98
15	12,1	517,9	0,98
20	15,4	514,6	0,97
25	18,8	511,2	0,96
30	22	508	0,96
40	28,6	501,4	0,95
50	34,6	495,4	0,93
60	39,5	490,5	0,93
80	51	479	0,90
100	54	476	0,90

Cálculo do coeficiente de permeabilidade (segundo a norma CAN/BNQ 2501-135-M88)

$$p' = (\ln \lambda_1 - \ln \lambda_2) / t_2 - t_1 = \underline{0,0011} \text{ min}^{-1}$$

$$A = 3.14d^2 / 4 = \underline{62,17985} \text{ cm}^2$$

$$k = A p' / (6000 C) = \frac{6,96E-02}{6,96E-04} \text{ m/s} = \underline{0,01} \text{ cm/s}$$



ENSAIO TIPO LEFRANC

ENSAIO DE CARGA VARIÁVEL

Entidade:		Sondagem:	LF02	Data:	
Nº do Processo:		Obra:			

Distâncias medidas entre o chão, e:	
Nível freático, h_2 (cm):	470
Fundo da sondagem, h_1 (cm):	400
Topo do revestimento, h_3 (cm):	60

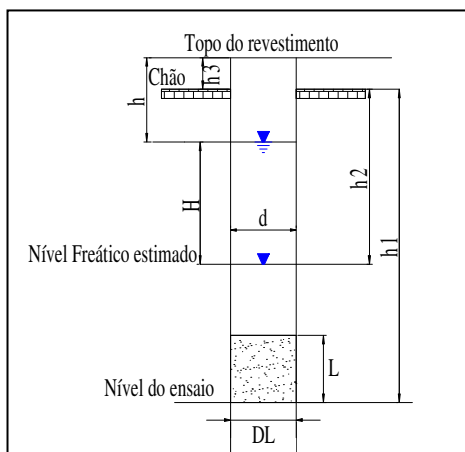
Lanterna	Comprimento, L (cm):	60,00
	Diâmetro, D_L (cm):	7,8
	Material usado	
Tubo de	Diâmetro externo, D (cm):	9,8
	Diâmetro interno, d (cm):	8,9
Revestimento	Comprimento total, L (cm):	400

$$C = 2\pi L / \ln(2L/D_L)$$

C (cm): 137,92183

h - Profundidade entre topo revestimento e nível do ensaio

H - Altura da coluna de água entre o nível freático e nível do ensaio



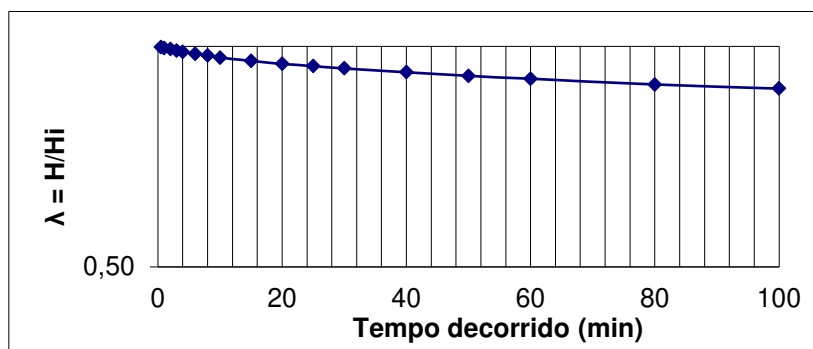
Tempo (min)	h (cm)	H (cm)	$\lambda = H/H_i$ (cm)
0	0	530	-
0,5	1,2	528,8	1,00
1	2,7	527,3	0,99
2	4,6	525,4	0,99
3	7	523	0,99
4	9,1	520,9	0,98
6	12,3	517,7	0,98
8	14,9	515,1	0,97
10	18,5	511,5	0,97
15	23,7	506,3	0,96
20	28,4	501,6	0,95
25	32	498	0,94
30	35,5	494,5	0,93
40	41,3	488,7	0,92
50	47	483	0,91
60	51,3	478,7	0,90
80	59,9	470,1	0,89
100	65,9	464,1	0,88

Cálculo do coeficiente de permeabilidade (segundo a norma CAN/BNQ 25)

$$p' = (\ln \lambda_1 - \ln \lambda_2) / t_2 - t_1 = \underline{0,0013 \text{ min}^{-1}}$$

$$A = 3.14d^2 / 4 = \underline{62,17985 \text{ cm}^2}$$

$$k = A p' / (6000 C) = \frac{5,73E-02}{5,73E-04} \text{ m/s} = 100 \text{ cm/s}$$



Ensaaios Laboratoriais

SOLOS - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA
E - 239 (1970)

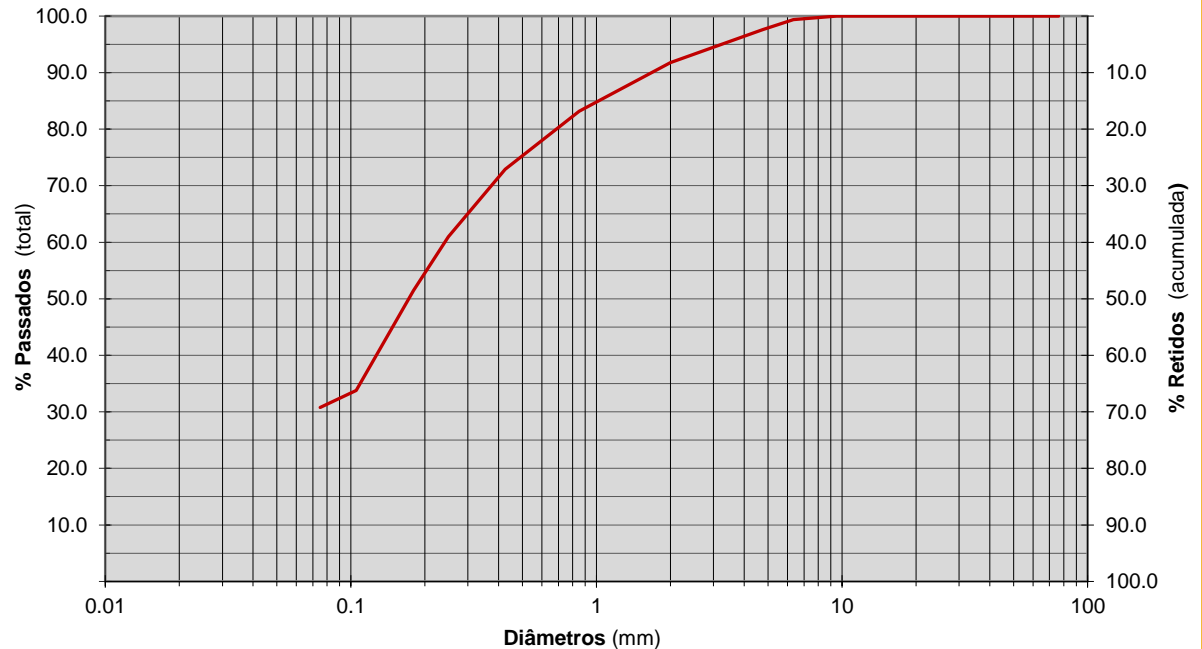
Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:		Data entrada LEST:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira	Referência amostra:	S1	Data recolha obra:	-
Obra:		Profundidade da amostra:	2,00 - 2,60 (m)	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.				

Massa total da amostra antes de lavada no #10 (g)	618.1
Massa total da amostra passada no #10 (g)	567.2
Massa da toma seca passada no #10 antes de lavada (g)	100.20

Peneiros				
Nº	mm	Peso retido	% Retida	% Total que passa
3"	76.2			100.0
2"	50.8			100.0
1 1/2"	38.1			100.0
1"	25.4			100.0
3/4"	19.1			100.0
1/2"	12.7			100.0
3/8"	9.52			100.0
1/4"	6.35	3.70	0.6	99.4
4	4.76	11.10	1.8	97.6
10	2	36.10	5.8	91.8
20	0.85	9.40	8.6	83.2
40	0.425	11.20	10.3	72.9
60	0.25	13.00	11.9	61.0
80	0.18	10.40	9.5	51.5
140	0.105	19.30	17.7	33.8
200	0.075	3.30	3.0	30.8

Resto	33.600	30.8	
TOTAL	100.200	100.0	

Curva granulométrica



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

<p>O Técnico</p> <p>(José Gonçalves)</p>	<p>Verificou</p> <p>(Eng. Marco Jorge)</p>	<p>O Diretor do LEST</p> <p>(Prof. Paulo Lourenço)</p>
---	---	---

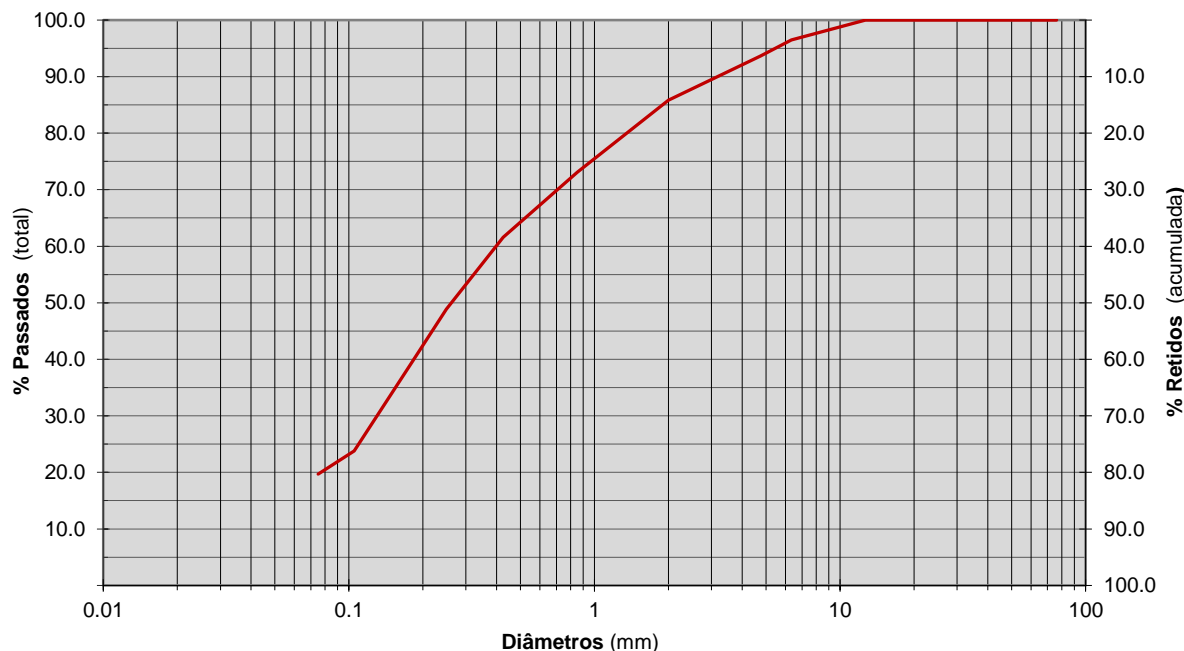
SOLOS - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA
E - 239 (1970)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:		Data entrada LEST:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira	Referência amostra:	S2	Data recolha obra:	-
Obra:		Profundidade da amostra:	2,00 - 2,60 (m)	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.				

Massa total da amostra antes de lavada no #10 (g)	728.6
Massa total da amostra passada no #10 (g)	625.3
Massa da toma seca passada no #10 antes de lavada (g)	102.40

Peneiros				
Nº	mm	Peso retido	% Retida	% Total que passa
3"	76.2			100.0
2"	50.8			100.0
1 1/2"	38.1			100.0
1"	25.4			100.0
3/4"	19.1			100.0
1/2"	12.7			100.0
3/8"	9.52	10.60	1.5	98.5
1/4"	6.35	14.90	2.0	96.5
4	4.76	20.70	2.8	93.7
10	2	57.10	7.8	85.8
20	0.85	15.20	12.7	73.1
40	0.425	13.70	11.5	61.6
60	0.25	15.20	12.7	48.9
80	0.18	11.30	9.5	39.4
140	0.105	18.60	15.6	23.8
200	0.075	4.90	4.1	19.7
Resto		23.500	19.7	
TOTAL		102.400	100.0	

Curva granulométrica



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico
[Assinatura]
(José Gonçalves)

Verificou
[Assinatura]
(Eng. Marco Jorge)

O Diretor do LEST
[Assinatura]
(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

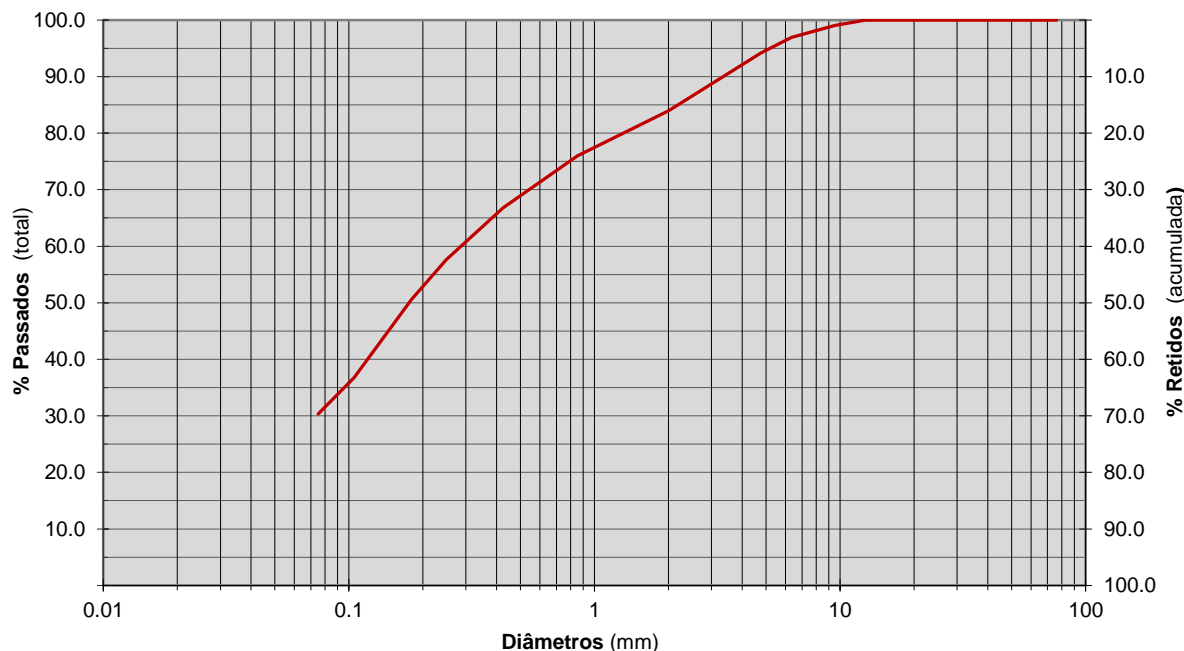
E - 239 (1970)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:		Data entrada LEST:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira	Referência amostra:	S3	Data recolha obra:	-
Obra:		Profundidade da amostra:	2,00 - 2,60 (m)	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.				

Massa total da amostra antes de lavada no #10 (g)	588.4
Massa total da amostra passada no #10 (g)	494.1
Massa da toma seca passada no #10 antes de lavada (g)	106.60

Peneiros				
Nº	mm	Peso retido	% Retida	% Total que passa
3"	76.2			100.0
2"	50.8			100.0
1 1/2"	38.1			100.0
1"	25.4			100.0
3/4"	19.1			100.0
1/2"	12.7			100.0
3/8"	9.52	5.70	1.0	99.0
1/4"	6.35	12.30	2.1	96.9
4	4.76	16.50	2.8	94.1
10	2	59.80	10.2	84.0
20	0.85	10.20	8.0	75.9
40	0.425	11.60	9.1	66.8
60	0.25	11.60	9.1	57.7
80	0.18	9.00	7.1	50.6
140	0.105	17.50	13.8	36.8
200	0.075	8.20	6.5	30.3
Resto		38.500	30.3	
TOTAL		106.600	100.0	

Curva granulométrica



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico

(José Gonçalves)

Verificou

(Eng. Marco Jorge)

O Diretor do LEST

(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

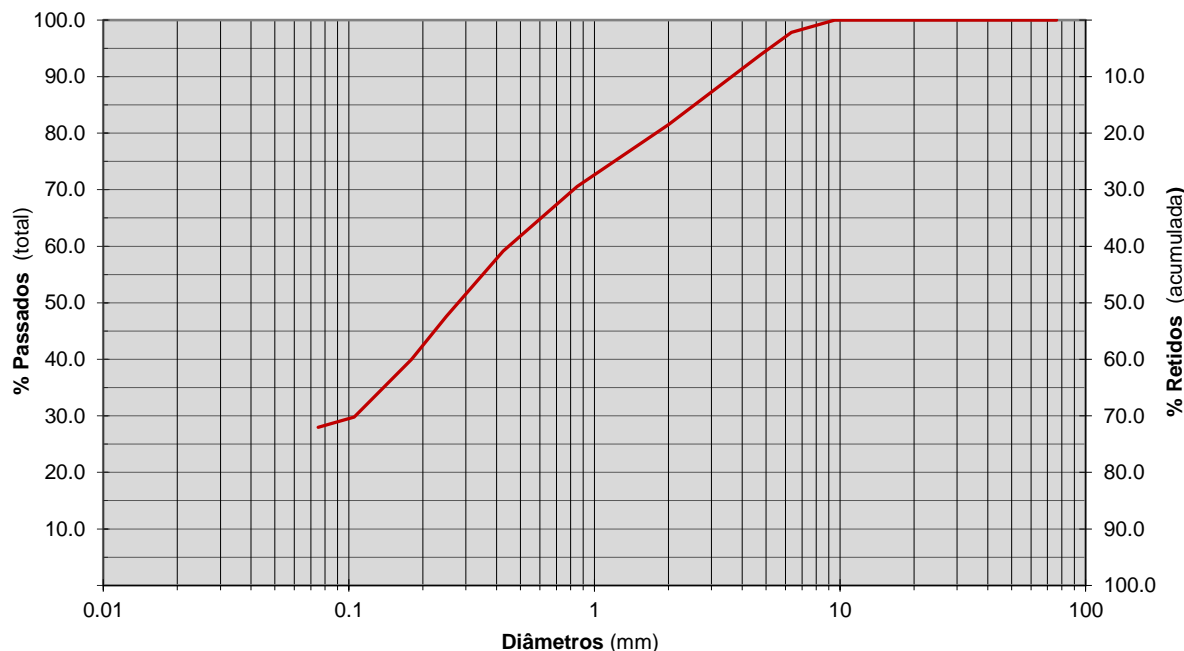
E - 239 (1970)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:		Data entrada LEST:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira	Referência amostra:	S4	Data recolha obra:	-
Obra:		Profundidade da amostra:	2,00 - 2,60 (m)	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.				

Massa total da amostra antes de lavada no #10 (g)	430.5
Massa total da amostra passada no #10 (g)	350.8
Massa da toma seca passada no #10 antes de lavada (g)	107.50

Peneiros				
Nº	mm	Peso retido	% Retida	% Total que passa
3"	76.2			100.0
2"	50.8			100.0
1 1/2"	38.1			100.0
1"	25.4			100.0
3/4"	19.1			100.0
1/2"	12.7			100.0
3/8"	9.52			100.0
1/4"	6.35	9.40	2.2	97.8
4	4.76	16.90	3.9	93.9
10	2	53.40	12.4	81.5
20	0.85	14.40	10.9	70.6
40	0.425	15.10	11.4	59.1
60	0.25	15.20	11.5	47.6
80	0.18	10.00	7.6	40.0
140	0.105	13.50	10.2	29.8
200	0.075	2.40	1.8	28.0
Resto		36.900	28.0	
TOTAL		107.500	100.0	

Curva granulométrica



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico
[Signature]
(José Gonçalves)

Verificou
[Signature]
(Eng. Marco Jorge)

O Diretor do LEST
[Signature]
(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA
E - 239 (1970)

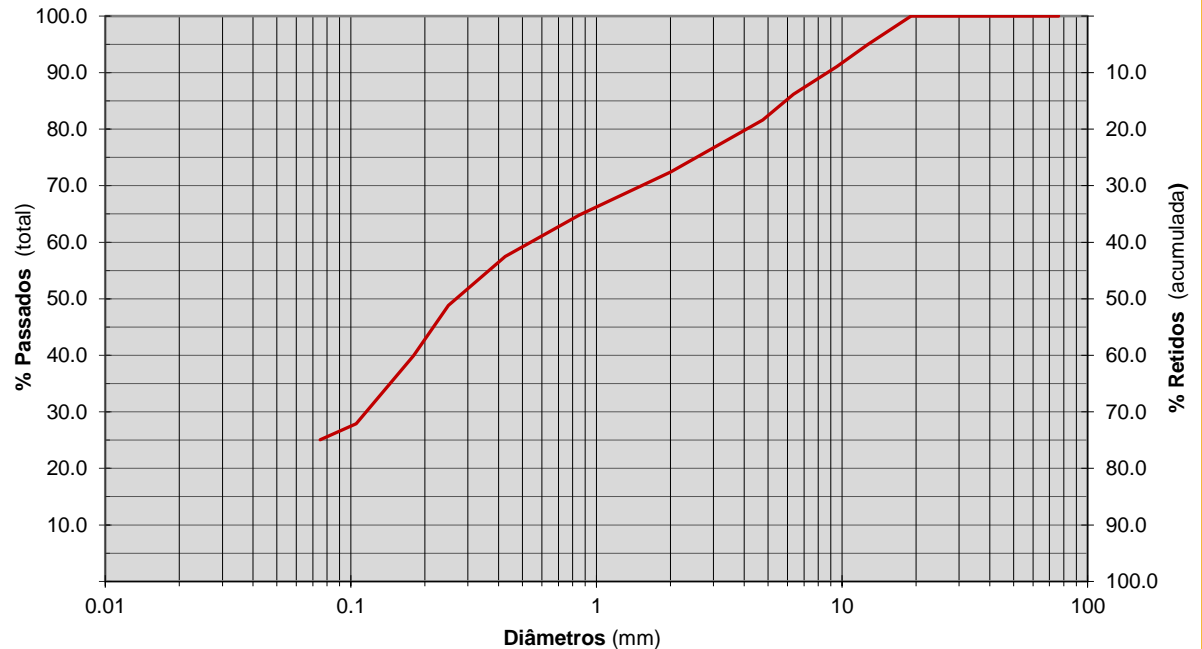
Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:		Data entrada LEST:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira	Referência amostra:	S5	Data recolha obra:	-
Obra:		Profundidade da amostra:	6,00 - 6,60 (m)	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.				

Massa total da amostra antes de lavada no #10 (g)	1261.3
Massa total da amostra passada no #10 (g)	913.2
Massa da toma seca passada no #10 antes de lavada (g)	112.10

Peneiros				
Nº	mm	Peso retido	% Retida	% Total que passa
3"	76.2			100.0
2"	50.8			100.0
1 1/2"	38.1			100.0
1"	25.4			100.0
3/4"	19.1			100.0
1/2"	12.7	64.00	5.1	94.9
3/8"	9.52	48.60	3.9	91.1
1/4"	6.35	62.00	4.9	86.2
4	4.76	57.00	4.5	81.6
10	2	116.50	9.2	72.4
20	0.85	11.80	7.6	64.8
40	0.425	11.30	7.3	57.5
60	0.25	13.40	8.7	48.8
80	0.18	13.80	8.9	39.9
140	0.105	18.60	12.0	27.9
200	0.075	4.40	2.8	25.1

Resto	38.800	25.1	
TOTAL	112.100	100.0	

Curva granulométrica



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

<p>O Técnico</p> <p>(José Gonçalves)</p>	<p>Verificou</p> <p>(Eng. Marco Jorge)</p>	<p>O Diretor do LEST</p> <p>(Prof. Paulo Lourenço)</p>
---	---	---

SOLOS - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

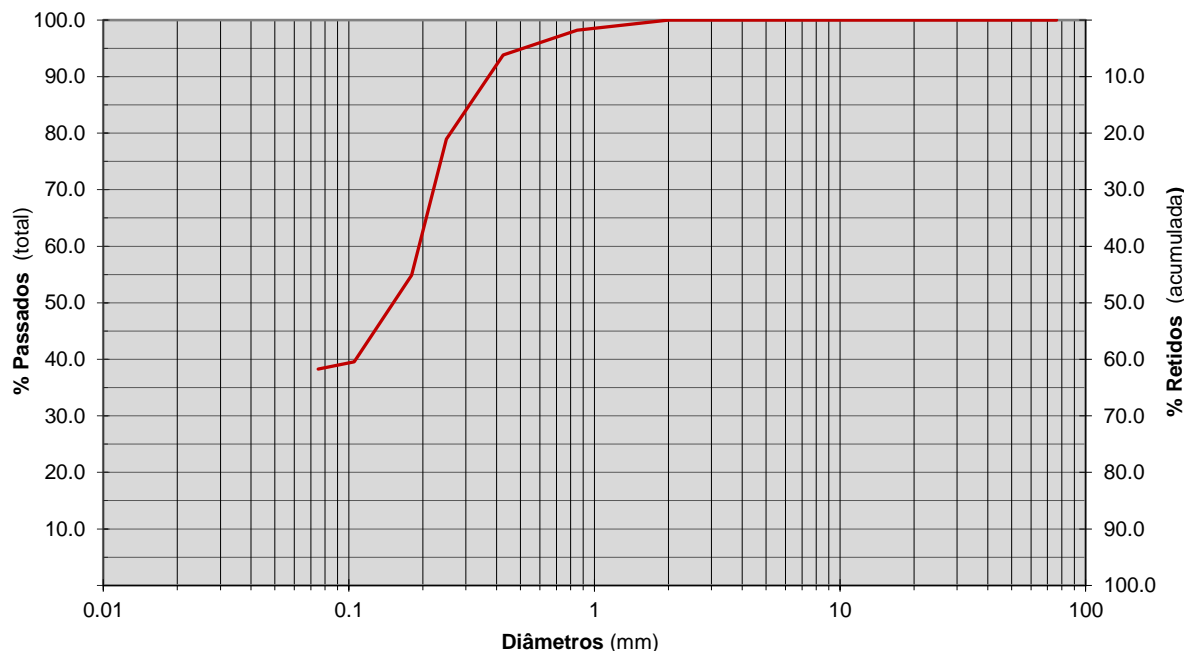
E - 239 (1970)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:		Data entrada LEST:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira	Referência amostra:	S6	Data recolha obra:	-
Obra:		Profundidade da amostra:	2,00 - 2,60 (m)	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.				

Massa total da amostra antes de lavada no #10 (g)	565.1
Massa total da amostra passada no #10 (g)	565.1
Massa da toma seca passada no #10 antes de lavada (g)	100.60

Peneiros				
Nº	mm	Peso retido	% Retida	% Total que passa
3"	76.2			100.0
2"	50.8			100.0
1 1/2"	38.1			100.0
1"	25.4			100.0
3/4"	19.1			100.0
1/2"	12.7			100.0
3/8"	9.52			100.0
1/4"	6.35			100.0
4	4.76			100.0
10	2			100.0
20	0.85	1.80	1.8	98.2
40	0.425	4.40	4.4	93.8
60	0.25	15.00	14.9	78.9
80	0.18	24.20	24.1	54.9
140	0.105	15.40	15.3	39.6
200	0.075	1.30	1.3	38.3
Resto		38.500	38.3	
TOTAL		100.600	100.0	

Curva granulométrica



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico
[Signature]
(José Gonçalves)

Verificou
[Signature]
(Eng. Marco Jorge)

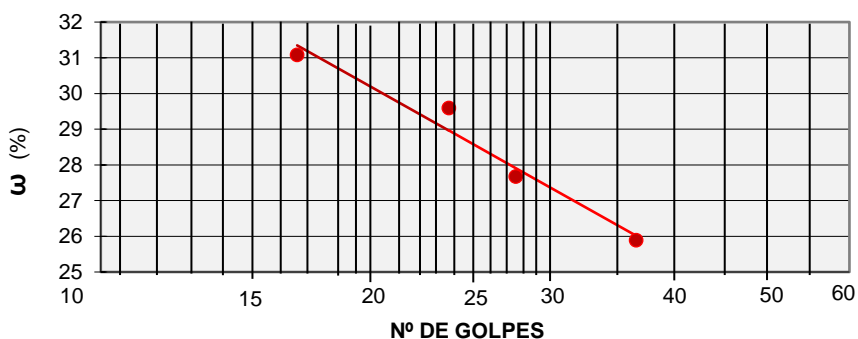
O Diretor do LEST
[Signature]
(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA NP - 143 (1969)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira		
Obra:		Data entrada LEST:	
Profundidade da recolha:	2,00 - 2,60 (m)	Data recolha amostra:	-
Referência da amostra:	S1	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.		

LIMITE DE LIQUIDEZ

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)	18.74	19.60	18.78	18.40
Peso da cápsula + toma seca (g)	16.99	17.65	17.02	16.80
Água na toma (g)	1.75	1.95	1.76	1.60
Peso da cápsula (g)	11.36	11.06	10.66	10.62
Toma seca (g)	5.63	6.59	6.36	6.18
Teor em água ω (%)	31.08	29.59	27.67	25.89
Número de golpes	16	23	27	36



LIMITE DE PLASTICIDADE

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)				
Peso da cápsula + toma seca (g)				
Água na toma (g)				
Peso da cápsula (g)				
Toma seca (g)				
Teor em água ω (%)				

Teor em água - Valor médio ω (%)

LIMITE DE LIQUIDEZ LL (%)	29
LIMITE DE PLASTICIDADE LP (%)	NP
LIMITE DE RETRACÇÃO LR (%)	-
ÍNDICE DE PLASTICIDADE I _p (%)	-

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO (*)

(*) Solo classificado segundo as especificações AASHTO.

Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico

(José Gonçalves)

Verificou

(Eng. Marco Jorge)

O Diretor do LEST

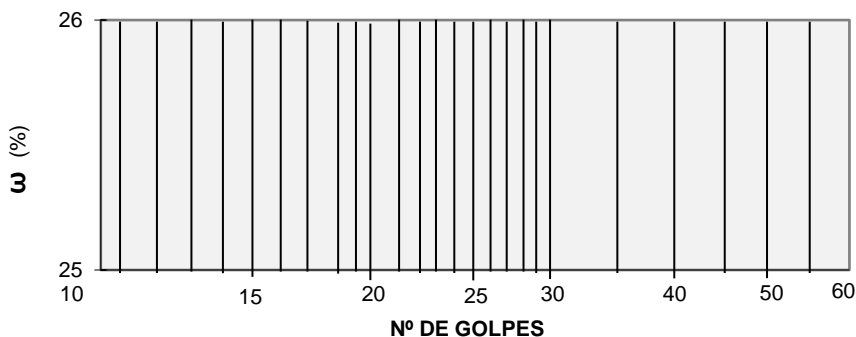
(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA
NP - 143 (1969)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira		
Obra:		Data entrada LEST:	
Profundidade da recolha:	2,00 - 2,60 (m)	Data recolha amostra:	-
Referência da amostra:	S2	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.		

LIMITE DE LIQUIDEZ

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)				
Peso da cápsula + toma seca (g)				
Água na toma (g)				
Peso da cápsula (g)				
Toma seca (g)				
Teor em água ω (%)				
Número de golpes				



LIMITE DE PLASTICIDADE

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)				
Peso da cápsula + toma seca (g)				
Água na toma (g)				
Peso da cápsula (g)				
Toma seca (g)				
Teor em água ω (%)				

Teor em água - Valor médio ω (%)

LIMITE DE LIQUIDEZ LL (%)	NL
LIMITE DE PLASTICIDADE LP (%)	NP
LIMITE DE RETRACÇÃO LR (%)	-
ÍNDICE DE PLASTICIDADE I _p (%)	-

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO (*)

(*) Solo classificado segundo as especificações AASHTO.

Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico

(José Gonçalves)

Verificou

(Eng. Marco Jorge)

O Diretor do LEST

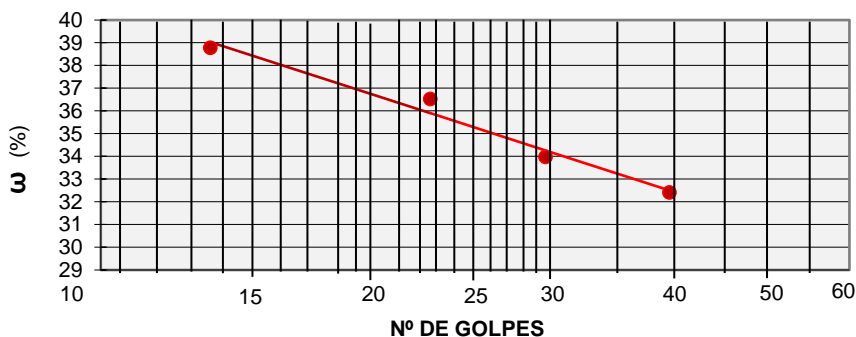
(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA
NP - 143 (1969)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira		
Obra:		Data entrada LEST:	
Profundidade da recolha:	2,00 - 2,60 (m)	Data recolha amostra:	-
Referência da amostra:	S3	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.		

LIMITE DE LIQUIDEZ

Número da cápsula	1	2	3	4
Peso da cápsula + toma húmida (g)	12.67	10.67	15.49	15.82
Peso da cápsula + toma seca (g)	10.70	9.11	13.56	14.18
Água na toma (g)	1.97	1.56	1.93	1.64
Peso da cápsula (g)	5.62	4.84	7.88	9.12
Toma seca (g)	5.08	4.27	5.68	5.06
Teor em água ω (%)	38.78	36.53	33.98	32.41
Número de golpes	13	22	29	39



LIMITE DE PLASTICIDADE

Número da cápsula	1	2	3	4
Peso da cápsula + toma húmida (g)				
Peso da cápsula + toma seca (g)				
Água na toma (g)				
Peso da cápsula (g)				
Toma seca (g)				
Teor em água ω (%)				

Teor em água - Valor médio ω (%)

LIMITE DE LIQUIDEZ LL (%)	35
LIMITE DE PLASTICIDADE LP (%)	NP
LIMITE DE RETRACÇÃO LR (%)	-
ÍNDICE DE PLASTICIDADE I _p (%)	-

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO (*)

(*) Solo classificado segundo as especificações AASHTO.

Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico

(José Gonçalves)

Verificou

(Eng. Marco Jorge)

O Diretor do LEST

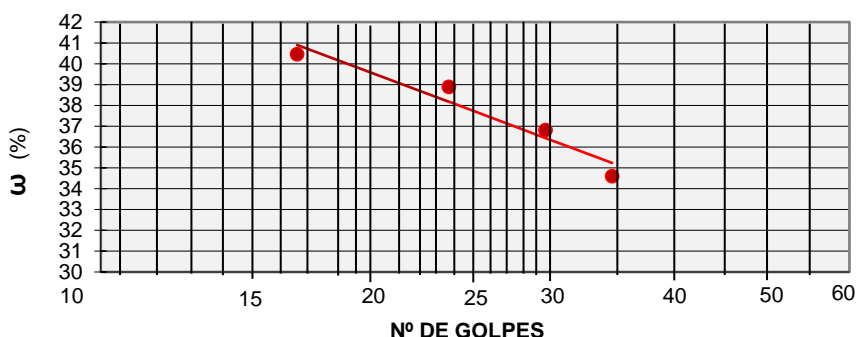
(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA
NP - 143 (1969)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira		
Obra:		Data entrada LEST:	
Profundidade da recolha:	2,00 - 2,60 (m)	Data recolha amostra:	-
Referência da amostra:	S4	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.		

LIMITE DE LIQUIDEZ

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)	19.07	17.40	17.98	19.65
Peso da cápsula + toma seca (g)	16.55	15.58	16.18	17.37
Água na toma (g)	2.52	1.82	1.80	2.28
Peso da cápsula (g)	10.32	10.90	11.29	10.78
Toma seca (g)	6.23	4.68	4.89	6.59
Teor em água ω (%)	40.45	38.89	36.81	34.60
Número de golpes	16	23	29	34



LIMITE DE PLASTICIDADE

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)				
Peso da cápsula + toma seca (g)				
Água na toma (g)				
Peso da cápsula (g)				
Toma seca (g)				
Teor em água ω (%)				

Teor em água - Valor médio ω (%)

LIMITE DE LIQUIDEZ LL (%)	38
LIMITE DE PLASTICIDADE LP (%)	NP
LIMITE DE RETRACÇÃO LR (%)	-
ÍNDICE DE PLASTICIDADE I _p (%)	-

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO (*)

(*) Solo classificado segundo as especificações AASHTO.

Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico

(José Gonçalves)

Verificou

(Eng. Marco Jorge)

O Diretor do LEST

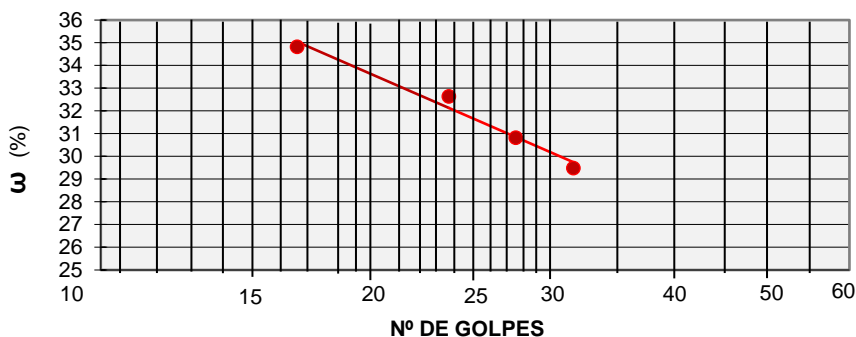
(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA
NP - 143 (1969)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira		
Obra:		Data entrada LEST:	
Profundidade da recolha:	6,00 - 6,60 (m)	Data recolha amostra:	-
Referência da amostra:	S5	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.		

LIMITE DE LIQUIDEZ

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)	18.94	14.53	17.93	18.15
Peso da cápsula + toma seca (g)	16.83	13.11	15.72	16.44
Água na toma (g)	2.11	1.42	2.21	1.71
Peso da cápsula (g)	10.77	8.76	8.55	10.64
Toma seca (g)	6.06	4.35	7.17	5.80
Teor em água ω (%)	34.82	32.64	30.82	29.48
Número de golpes	16	23	27	31



LIMITE DE PLASTICIDADE

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)				
Peso da cápsula + toma seca (g)				
Água na toma (g)				
Peso da cápsula (g)				
Toma seca (g)				
Teor em água ω (%)				

Teor em água - Valor médio ω (%)

LIMITE DE LIQUIDEZ LL (%)	32
LIMITE DE PLASTICIDADE LP (%)	NP
LIMITE DE RETRACÇÃO LR (%)	-
ÍNDICE DE PLASTICIDADE I _p (%)	-

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO (*)

(*) Solo classificado segundo as especificações AASHTO.

Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico

(José Gonçalves)

Verificou

(Eng. Marco Jorge)

O Diretor do LEST

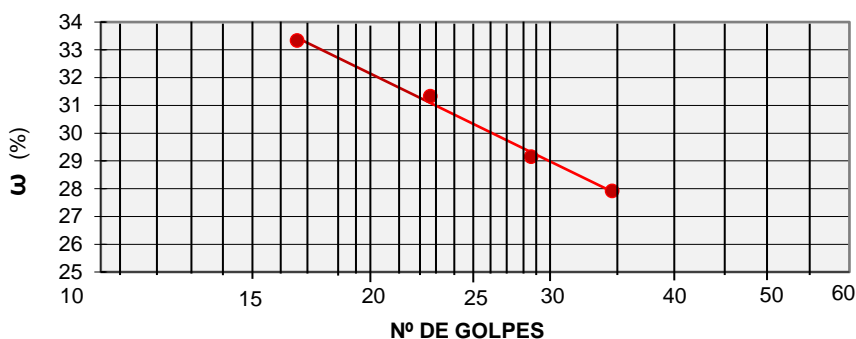
(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA NP - 143 (1969)

Nome:	Triáguas, José Machado & Costas Lda	Data requisição:	
Morada:	Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira		
Obra:		Data entrada LEST:	
Profundidade da recolha:	2,00 - 2,60 (m)	Data recolha amostra:	-
Referência da amostra:	S6	Data de ensaio:	
Obs:	Amostras entregues no LEST pelo requerente.		

LIMITE DE LIQUIDEZ

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)	16.40	16.07	11.49	14.81
Peso da cápsula + toma seca (g)	14.16	14.03	9.98	12.80
Água na toma (g)	2.24	2.04	1.51	2.01
Peso da cápsula (g)	7.44	7.52	4.80	5.60
Toma seca (g)	6.72	6.51	5.18	7.20
Teor em água ω (%)	33.33	31.34	29.15	27.92
Número de golpes	16	22	28	34



LIMITE DE PLASTICIDADE

	1	2	3	4
Número da cápsula				
Peso da cápsula + toma húmida (g)				
Peso da cápsula + toma seca (g)				
Água na toma (g)				
Peso da cápsula (g)				
Toma seca (g)				
Teor em água ω (%)				

Teor em água - Valor médio ω (%)

LIMITE DE LIQUIDEZ LL (%)	30
LIMITE DE PLASTICIDADE LP (%)	NP
LIMITE DE RETRACÇÃO LR (%)	-
ÍNDICE DE PLASTICIDADE I _p (%)	-

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO (*)

(*) Solo classificado segundo as especificações AASHTO.

Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Telefone: +351 253 510 245

O Técnico

(José Gonçalves)

Verificou

(Eng. Marco Jorge)

O Diretor do LEST

(Prof. Paulo Lourenço)

SOLOS - DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
NP - 84 (1965)

REQUERENTE

Nome: Triáguas, José Machado & Costas Lda Data requisição:

Morada: Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira

Obra:

AMOSTRA

Referência da amostra: S1 Data entrada LEST:

Profundidade da recolha: 2,00 - 2,60 (m) Data recolha obra: -

Observações:

Amostras entregues no LEST pelo requerente.

ENSAIO

Data de Ensaio:

Provete	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Massa do recipiente m_1 (g)	10.77	10.45		
Massa do recipiente + solo húmido m_2 (g)	70.82	67.41		
Massa do recipiente + solo seco m_3 (g)	62.98	60.12		
Massa da água m_4 (g)	7.84	7.29		
Massa do solo seco m_5 (g)	52.21	49.67		
Teor em água ω (%)	15.0	14.7		

Teor em água - valor médio ω (%) **14.8**

SOLOS - DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
NP - 84 (1965)

REQUERENTE

Nome: Triáguas, José Machado & Costas Lda Data requisição:

Morada: Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira

Obra:

AMOSTRA

Referência da amostra: S2 Data entrada LEST:

Profundidade da recolha: 2,00 - 2,60 (m) Data recolha obra: -

Observações:
Amostras entregues no LEST pelo requerente.

ENSAIO

Data de Ensaio:

Provete	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Massa do recipiente m_1 (g)	10.91	11.65		
Massa do recipiente + solo húmido m_2 (g)	67.59	71.51		
Massa do recipiente + solo seco m_3 (g)	59.48	63.00		
Massa da água m_4 (g)	8.11	8.51		
Massa do solo seco m_5 (g)	48.57	51.35		
Teor em água ω (%)	16.7	16.6		

Teor em água - valor médio ω (%)

16.6

SOLOS - DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
NP - 84 (1965)

REQUERENTE

Nome: Triáguas, José Machado & Costas Lda Data requisição:

Morada: Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira

Obra:

AMOSTRA

Referência da amostra: S3 Data entrada LEST:

Profundidade da recolha: 2,00 - 2,60 (m) Data recolha obra: -

Observações:

Amostras entregues no LEST pelo requerente.

ENSAIO

Data de Ensaio:

Provete	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Massa do recipiente m_1 (g)	10.79	12.22		
Massa do recipiente + solo húmido m_2 (g)	69.05	61.43		
Massa do recipiente + solo seco m_3 (g)	59.39	53.32		
Massa da água m_4 (g)	9.66	8.11		
Massa do solo seco m_5 (g)	48.60	41.10		
Teor em água ω (%)	19.9	19.7		

Teor em água - valor médio ω (%) **19.8**

SOLOS - DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
NP - 84 (1965)

REQUERENTE

Nome: Triáguas, José Machado & Costas Lda Data requisição:

Morada: Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira

Obra:

AMOSTRA

Referência da amostra: S4 Data entrada LEST:

Profundidade da recolha: 2,00 - 2,60 (m) Data recolha obra: -

Observações:

Amostras entregues no LEST pelo requerente.

ENSAIO

Data de Ensaio:

Provete	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Massa do recipiente m_1 (g)	11.29	11.36		
Massa do recipiente + solo húmido m_2 (g)	76.41	76.85		
Massa do recipiente + solo seco m_3 (g)	64.50	65.00		
Massa da água m_4 (g)	11.91	11.85		
Massa do solo seco m_5 (g)	53.21	53.64		
Teor em água ω (%)	22.4	22.1		

Teor em água - valor médio ω (%)

22.2

SOLOS - DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
NP - 84 (1965)

REQUERENTE

Nome: Triáguas, José Machado & Costas Lda Data requisição:

Morada: Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira

Obra:

AMOSTRA

Referência da amostra: S5 Data entrada LEST:

Profundidade da recolha: 6,00 - 6,60 (m) Data recolha obra: -

Observações:

Amostras entregues no LEST pelo requerente.

ENSAIO

Data de Ensaio:

Provete	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Massa do recipiente m_1 (g)	10.79	10.55		
Massa do recipiente + solo húmido m_2 (g)	61.90	61.23		
Massa do recipiente + solo seco m_3 (g)	54.75	54.23		
Massa da água m_4 (g)	7.15	7.00		
Massa do solo seco m_5 (g)	43.96	43.68		
Teor em água ω (%)	16.3	16.0		

Teor em água - valor médio ω (%)

16.1

SOLOS - DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
NP - 84 (1965)

REQUERENTE

Nome: Triáguas, José Machado & Costas Lda Data requisição:

Morada: Rua Alto do Paraíso, nº106, 4595-080 Eiriz, Paços de Ferreira

Obra:

AMOSTRA

Referência da amostra: S6 Data entrada LEST:

Profundidade da recolha: 2,00 - 2,60 (m) Data recolha obra: -

Observações:
Amostras entregues no LEST pelo requerente.

ENSAIO

Data de Ensaio:

Provete	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Massa do recipiente m_1 (g)	10.69	10.66		
Massa do recipiente + solo húmido m_2 (g)	48.46	43.75		
Massa do recipiente + solo seco m_3 (g)	42.20	38.25		
Massa da água m_4 (g)	6.26	5.50		
Massa do solo seco m_5 (g)	31.51	27.59		
Teor em água ω (%)	19.9	19.9		

Teor em água - valor médio ω (%) **19.9**

RELATÓRIO DE ENSAIO

Triágua - José Machado & Costas, Lda.

PROCESSO Nº: 1923807

Rua da Alegria, nº 16

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66906

4595-149 Sanfins de Ferreira

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:			
Tipo de amostra/produto:	A1/1923807	Colheita:	
Documento Origem do Valor Limite:	Água subterrânea	Receção:	
Tipo de Amostragem:	Norma NP EN 206-1 2007	Início da análise:	
Efetuada por:	Pontual	Fim da análise:	
	Cliente	Emissão do Relatório:	

Este boletim não pode ser parcialmente reproduzido sem autorização por escrito dada pela direção do nosso Laboratório. Os resultados referem-se exclusivamente às amostras recebidas e ensaiadas. Qualquer extrapolação é da exclusiva responsabilidade do cliente.

PARÂMETRO	Valor Obtido	Valor Limite	Unidade	Método de Ensaio	LD	LQ	Incerteza
Alcalinidade Total	< 10	N/A	mg/L CaCO ₃	SMEWW 2320 B.			
Azoto Amoniacal*	< 2,6	N/A	mg/L NH ₄	SMEWW 4500 - NH ₃ F.			
Dióxido de carbono agressivo*	21	N/A	mg/L CO ₂	EN 13577:1999			
Magnésio	3,6	N/A	mg/L Mg	CEA-PE063 (2018-10-10) SMEWW 3030E.			
pH	5,5	N/A	Unidades de pH	CEA-PE002 (2016-11-28)			
Sulfatos*	17	N/A	mg/L SO ₄	CEA-PE043 (Rodier, J.)			

Notas - O ensaio assinalado com * não está incluído no âmbito da acreditação; O ensaio assinalado com ** foi contratado a um laboratório com o parâmetro não acreditado e não está incluído no âmbito da acreditação; O ensaio assinalado com *** foi contratado a um laboratório com o parâmetro acreditado e não está incluído no âmbito da acreditação; Os resultados expressos na forma <X, na coluna designada "Valor Obtido", são inferiores ao limite de quantificação do método (LQ); LD - Limite de deteção do método; A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação; N/A - Não aplicável. Método interno equivalente é aquele que tem a mesma área de aplicação (parâmetros e matrizes) e que cumpre as características de desempenho, obtendo resultados comparáveis ao(s) método(s) normalizado(s) junto indicado(s). VMD - Valor máximo desejável. A incerteza expandida reportada é baseada na incerteza calculada multiplicada pelo fator k=2 para um nível de confiança de 95%.

SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª Edição
 CEA-PEXXX - Código interno do método.

Observações:

pH realizado a 19,5°C. Segundo o quadro 2 da norma NP EN 206-1 2007 a água caracterizada pertence à classe de exposição para o ataque químico XA2, pelo que segundo o quadro 1 da mesma norma o ambiente é considerado moderadamente agressivo.

Comentários:

A Diretora do Laboratório do CEA



 Rosária Santos, Eng^a Química

Classificações e normas

1.11 resume algumas importantes propriedades dos solos dos grupos em que se divide a Classificação Unificada depois de compactados.

Quadro 1.10 - Classificação de solos (ASTM D 2487-85).

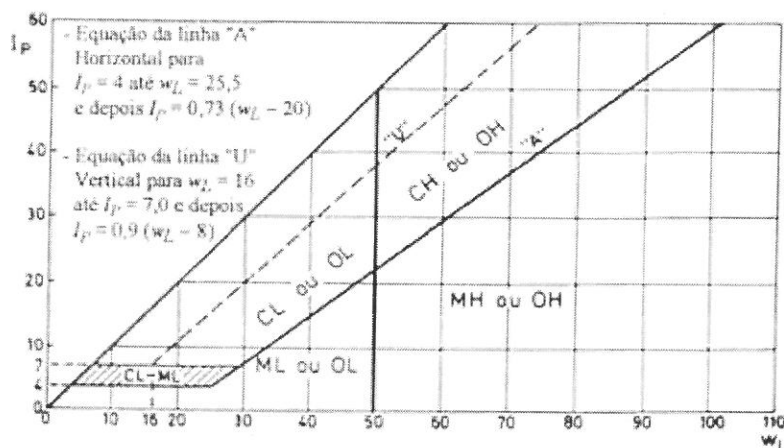
Critérios para designação dos símbolos e nome dos grupos utilizando ensaios de laboratório (a)				Classificação do solo	
				Símbolo do grupo	Nome do grupo (b)
SOLOS GROSSOS mais de 50% retido no peneiro nº 200	Cascalho mais de 50% da fracção grossa retida no peneiro nº 4	Cascalhos limpos (c)	$C_U \geq 4$ e $1 \leq C_C \leq 3$ (e)	GW	Cascalho bem graduado (f)
		Menos de 5% de finos	$C_U < 4$ e/ou $1 > C_C > 3$ (e)	GP	Cascalho mal graduado (f)
		Cascalhos com finos (c)	Finos classificados como ML ou MH	GM	Cascalho siltoso (f), (g), (h)
		Mais de 12% de finos	Finos classificados como CL ou CH	GC	Cascalho argiloso (f), (g), (h)
Areias 50% ou mais da fracção grossa passa no peneiro nº 4	Areias limpas (d)	Areias limpas (d)	$C_U \geq 6$ e $1 \leq C_C \leq 3$ (e)	SW	Areia bem graduada (i)
		Menos de 5% de finos	$C_U < 6$ e/ou $1 > C_C > 3$ (e)	SP	Areia mal graduada (i)
		Areias com finos (d)	Finos classificados como ML ou MH	SM	Areia siltosa (g), (h), (i)
		Mais de 12% de finos	Finos classificados como CL ou CH	SC	Areia argilosa (g), (h), (i)
SOLOS FINOS 50% ou mais passado no peneiro nº 200	Siltes e Argilas $w_L < 50\%$	Inorgânico	$I_p > 7$ e situa-se na linha A ou acima desta (j)	CL	Argila magra (k), (l), (m)
			$I_p < 4$ ou situa-se abaixo da linha A (j)	ML	Silte (k), (l), (m)
		Orgânico	$\frac{w_L(\text{seco em estufa})}{w_L(\text{sem secagem})} < 0,75$	OL	Argila orgânica (k), (l), (m), (n) Silte orgânico (k), (l), (m), (o)
	Siltes e Argilas $w_L \geq 50\%$	Inorgânico	I_p situa-se na linha A ou acima desta	CH	Argila gorda (k), (l), (m)
			I_p situa-se abaixo da linha A	MH	Silte elástico (k), (l), (m)
		Orgânico	$\frac{w_L(\text{seco em estufa})}{w_L(\text{sem secagem})} < 0,75$	OH	Argila orgânica (k), (l), (m), (p) Silte orgânico (k), (l), (m), (q)
Solos altamente orgânicos, principalmente matéria orgânica, cor escura e odor orgânico				Pt	Turfa

Nota do Autor – No contexto desta norma a separação entre areia e cascalho é referida ao peneiro nº 4 (4,75 mm).

Quadro 1.10 - Classificação de solos (ASTM D 2487-85) (Continuação).

- (a) Baseado no material passado no peneiro 3" (75mm)
- (b) Se a amostra virgem tiver blocos e/ou calhaus junto "com blocos e/ou calhaus" ao nome do grupo
- (c) Cascalho com 5% a 12% de finos precisa de dois símbolos
 GW - GM Cascalho bem graduado com silte
 GW - GC Cascalho bem graduado com argila
 GP - GM Cascalho mal graduado com silte
 GP - GC Cascalho mal graduado com argila
- (d) Areia com 5% a 12% de finos precisa de dois símbolos
 SW - SM Areia bem graduada com silte
 SW - SC Areia bem graduada com argila
 SP - SM Areia mal graduada com silte
 SP - SC Areia mal graduada com argila
- (e) $C_U = D_{60} / D_{10}$; $C_C = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$
- (f) Se o solo contém $\geq 15\%$ de areia, junte "com areia" ao nome do grupo
- (g) Se os finos se classificam como CL-ML, use dois símbolos: GC-GM, SC-SM
- (h) Se os finos são orgânicos, junte "com finos orgânicos" ao nome do grupo
- (i) Se o solo contém $\geq 15\%$ de cascalho, junte "com cascalho" ao nome do grupo
- (j) Se os limites de Atterberg se situam na zona sombreada da carta de plasticidade, o solo é um CL-ML, argila siltosa
- (k) Se o solo contém 15 a 30% retido no peneiro nº 200, junte "com areia" ou "com cascalho" conforme o predominante
- (l) Se o solo contém $\geq 30\%$ retido no peneiro nº 200, predominantemente arenoso, junte "arenoso" ao nome do grupo
- (m) Se o solo contém $\geq 30\%$ retido no peneiro nº 200, predominantemente cascalho, junte "cascalhento" ao nome do grupo
- (n) $I_p \geq 4$ e situa-se na linha A ou acima desta
- (o) $I_p < 4$ ou situa-se abaixo da linha A
- (p) I_p situa-se na linha A ou acima desta
- (q) I_p situa-se abaixo da linha A

CARTA DE PLASTICIDADE DE CASAGRANDE



Nota: Os resultados que conduzam a pontos acima da linha "U" são provavelmente irrealistas pelo que os correspondentes ensaios deverão ser repetidos cuidadosamente.

Quadro 1.11 – Tendências de comportamento dos grupos da Classificação Unificada quando usados em obras de aterro (adaptado de Lambe e Whitman, 1979).

SÍMBOLO DO GRUPO	PROPRIEDADES IMPORTANTES			
	PERMEABILIDADE QUANDO COMPACTADO	RESISTÊNCIA AO CORTE QUANDO COMPACTADO E SATURADO	COMPRESSIBILIDADE QUANDO COMPACTADO E SATURADO	TRABALHABILIDADE COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO
GW	Permeável	Excelente	Desprezável	Excelente
GP	Muito permeável	Boa	Desprezável	Boa
GM	Semipermeável a impermeável	Boa	Desprezável	Boa
GC	Impermeável	Boa a razoável	Muito baixa	Boa
SW	Permeável	Excelente	Desprezável	Excelente
SP	Permeável	Boa	Muito baixa	Razoável
SM	Semipermeável a impermeável	Boa	Baixa	Razoável
SC	Impermeável	Boa a razoável	Baixa	Boa
ML	Semipermeável a impermeável	Razoável	Média	Razoável
CL	Impermeável	Razoável	Média	Boa a razoável
OL	Semipermeável a impermeável	Fraca	Média	Razoável
MH	Semipermeável a impermeável	Razoável a fraca	Alta	Fraca
CH	Impermeável	Fraca	Alta	Fraca
OH	Impermeável	Fraca	Alta	Fraca
Pt	--	--	--	--

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.		51 mín.								
Nº 40	30 máx.	50 máx.	10 máx.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.				40 máx.			41 mín.
Índice de Plasticidade				41 mín.				41 mín.			40 máx.
IP (%)			NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom										Fraco a pobre

Processo de classificação:

Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação. O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se $IP \leq LL - 30$, será A-7-5; Se $IP > LL - 30$, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

$a = p - 35$ (se $p > 75\%$, adota-se 75 e se $p < 35\%$, adota-se 35)

$b = p - 15$ (se $p > 55\%$, adota-se 55 e se $p < 15\%$, adota-se 15)

$c = LL - 40$ (se $LL > 60\%$, adota-se 60 e se $LL < 40\%$, adota-se 40)

$d = IP - 10$ (se $IP > 30$, adota-se 30 e se $IP < 10$, adota-se 10)

$IG_{\min} = 0$ $IG_{\max} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

Quadro 2 – Valores limite das classes de exposição para o ataque químico proveniente de solos naturais e de águas neles contidas

Os ambientes com agressividade química, abaixo classificados, têm como base o solo e a água nele contida, com temperaturas do solo ou da água entre os 5 °C e os 25 °C e com velocidades da água suficientemente lentas que possam ser consideradas próximas das condições estáticas. A classe é determinada pelo valor mais elevado para qualquer característica química. Quando duas ou mais características agressivas conduzirem à mesma classe, o ambiente deve ser classificado na classe imediatamente superior, a menos que um estudo especial para este caso específico prove que não é necessário.				
Característica química	Método de ensaio de referência	XA1	XA2	XA3
Águas				
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2*	≥ 200 e ≤ 600	> 600 e ≤ 3000	> 3000 e ≤ 6000
pH	ISO 4316	≥ 5,5 e ≤ 6,5	≥ 4,5 e < 5,5	≥ 4,0 e < 4,5
CO ₂ agressivo mg/l	prEN 13577:1999*	≥ 15 e ≤ 40	> 40 e ≤ 100	> 100 até à saturação
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1 ou ISO 7150-2	≥ 15 e ≤ 30	> 30 e ≤ 60	> 60 e ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	≥ 300 e ≤ 1000	> 1000 e ≤ 3000	> 3000 até à saturação
Solos				
SO ₄ ²⁻ total ^{a)} mg/kg	EN 196-2 ^{b)}	≥ 2000 e ≤ 3000 ^{c)}	> 3000 ^{c)} e ≤ 12000	> 12000 e ≤ 24000
Acidez ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	Não encontrado na prática	
<p>a) Os solos argilosos com uma permeabilidade abaixo de 10⁻⁵ m/s podem ser colocados numa classe mais baixa.</p> <p>b) O método de ensaio prescreve a extracção do SO₄²⁻ através de ácido clorídrico; em alternativa, pode usar-se a extracção aquosa, se houver experiência no local de utilização do betão.</p> <p>c) O limite de 3000 mg/kg deve ser reduzido para 2000 mg/kg, caso exista risco de acumulação de iões sulfato no betão devido a ciclos de secagem e molhagem ou à absorção capilar.</p>				

Quadro 3 – Classes de abaixamento

Classe	Abaixamento em mm
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5 ¹⁾	≥ 220

Quadro 4 – Classes Vêbê

Classe	Tempo Vêbê em
V0 ¹⁾	≥ 31
V1	30 a 21
V2	20 a 11
V3	10 a 6
V4 ¹⁾	5 a 3

* Ver Anexo Nacional NA (informativo).

¹⁾ Ver nota da secção 5.4.1.

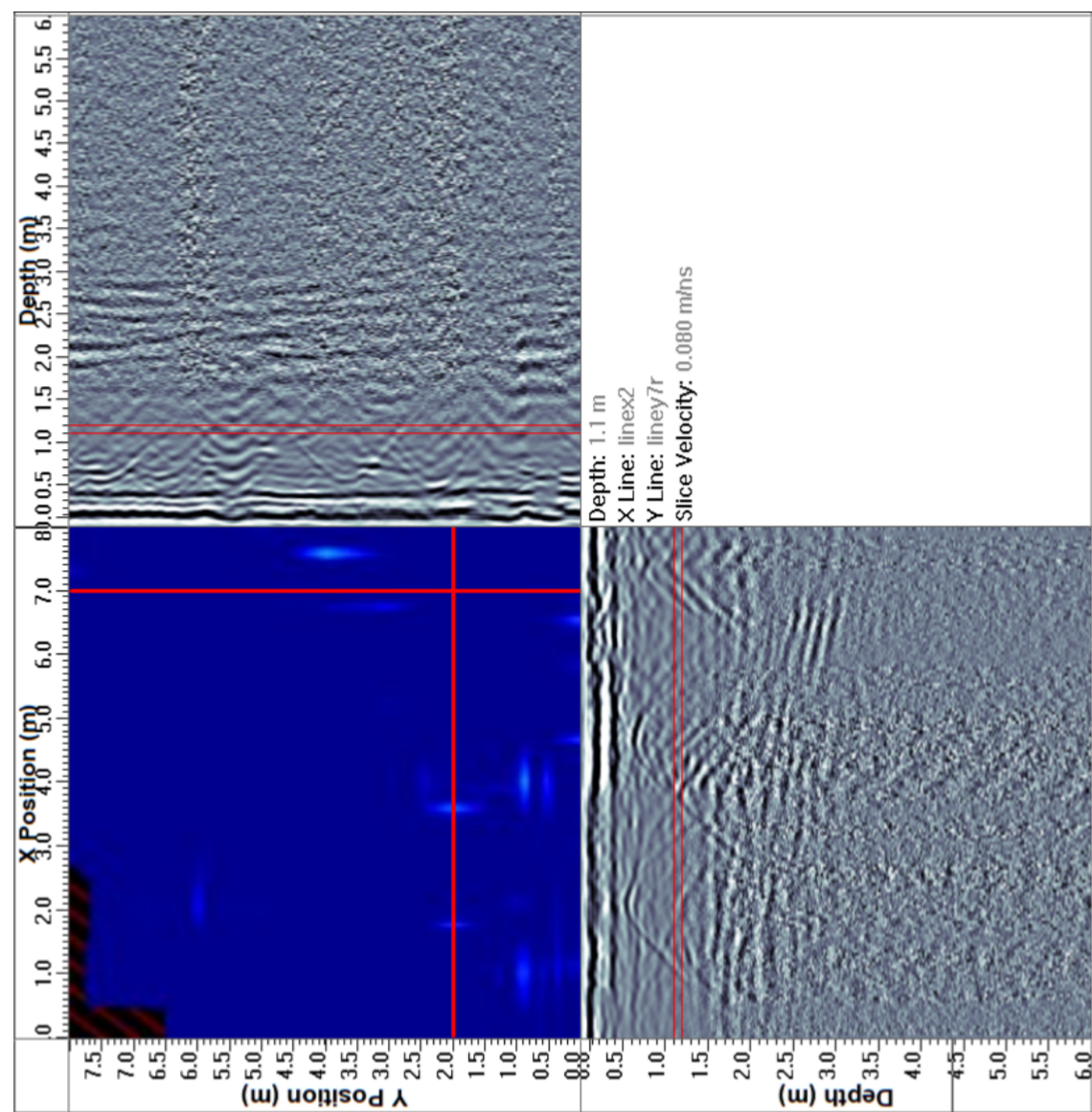
Quadro 1 – Classes de exposição

(continuação)

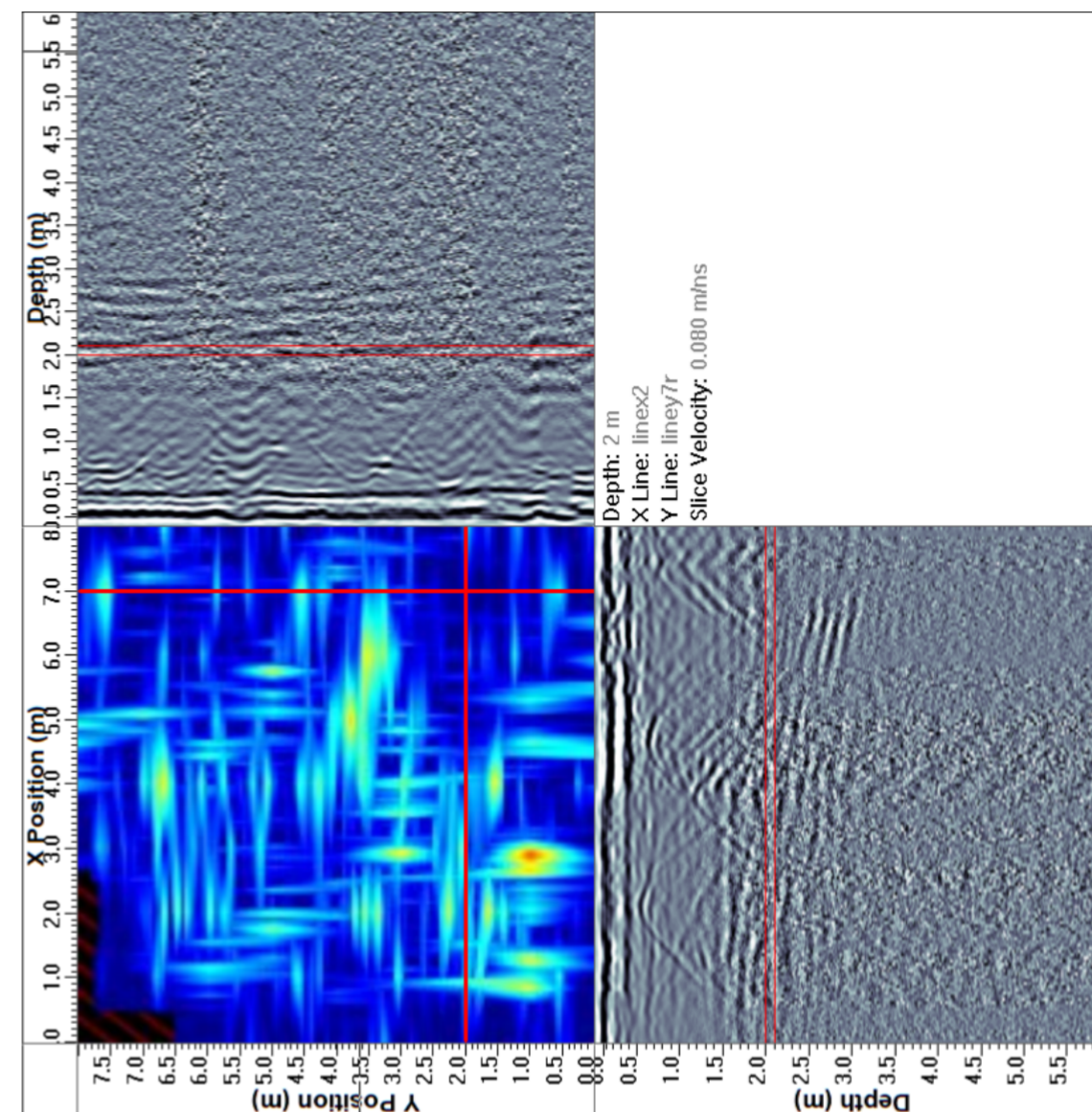
Designação da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos onde podem ocorrer as classes de exposição
6 Ataque químico		
<p>Quando o betão se encontrar exposto ao ataque químico proveniente de solos naturais e de águas subterrâneas, conforme indicado no Quadro 2, a exposição ambiental deve ser classificada como estabelecido abaixo. A classificação da água do mar depende da localização geográfica, aplicando-se assim a classificação válida no local de utilização do betão.</p> <p><i>NOTA:</i> Pode ser necessário um estudo especial para estabelecer condições de exposição relevantes quando há:</p> <ul style="list-style-type: none"> - valores fora dos limites do Quadro 2; - outros agentes químicos agressivos; - água ou solos poluídos quimicamente; - grande velocidade de água em conjunto com os agentes químicos do Quadro 2. 		
XA1	Ligeiramente agressivo, de acordo com o Quadro 2	
XA2	Moderadamente agressivo, de acordo com o Quadro 2	
XA3	Fortemente agressivo, de acordo com o Quadro 2	

Modelo GPR

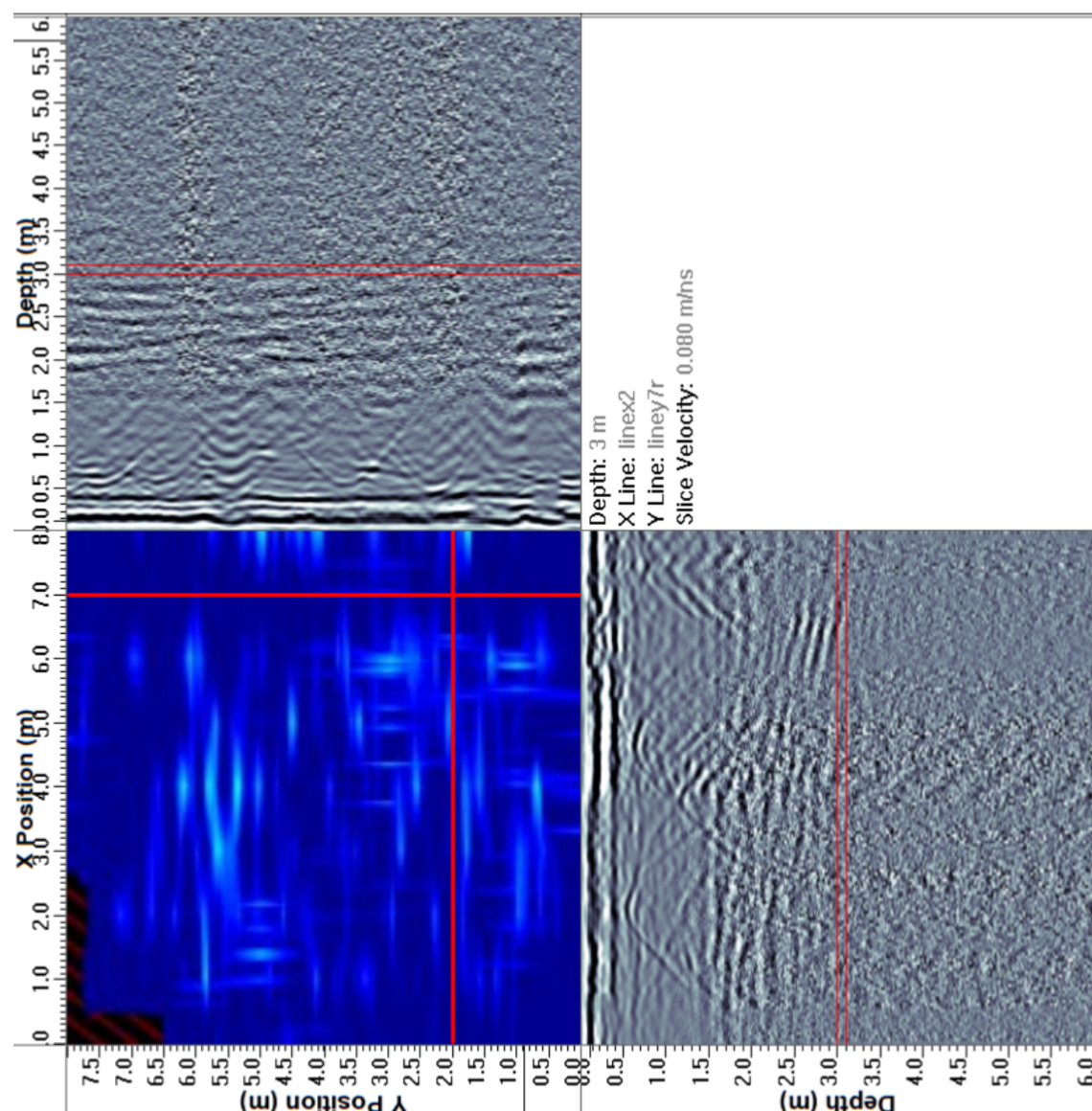
Profundidade: 1 m



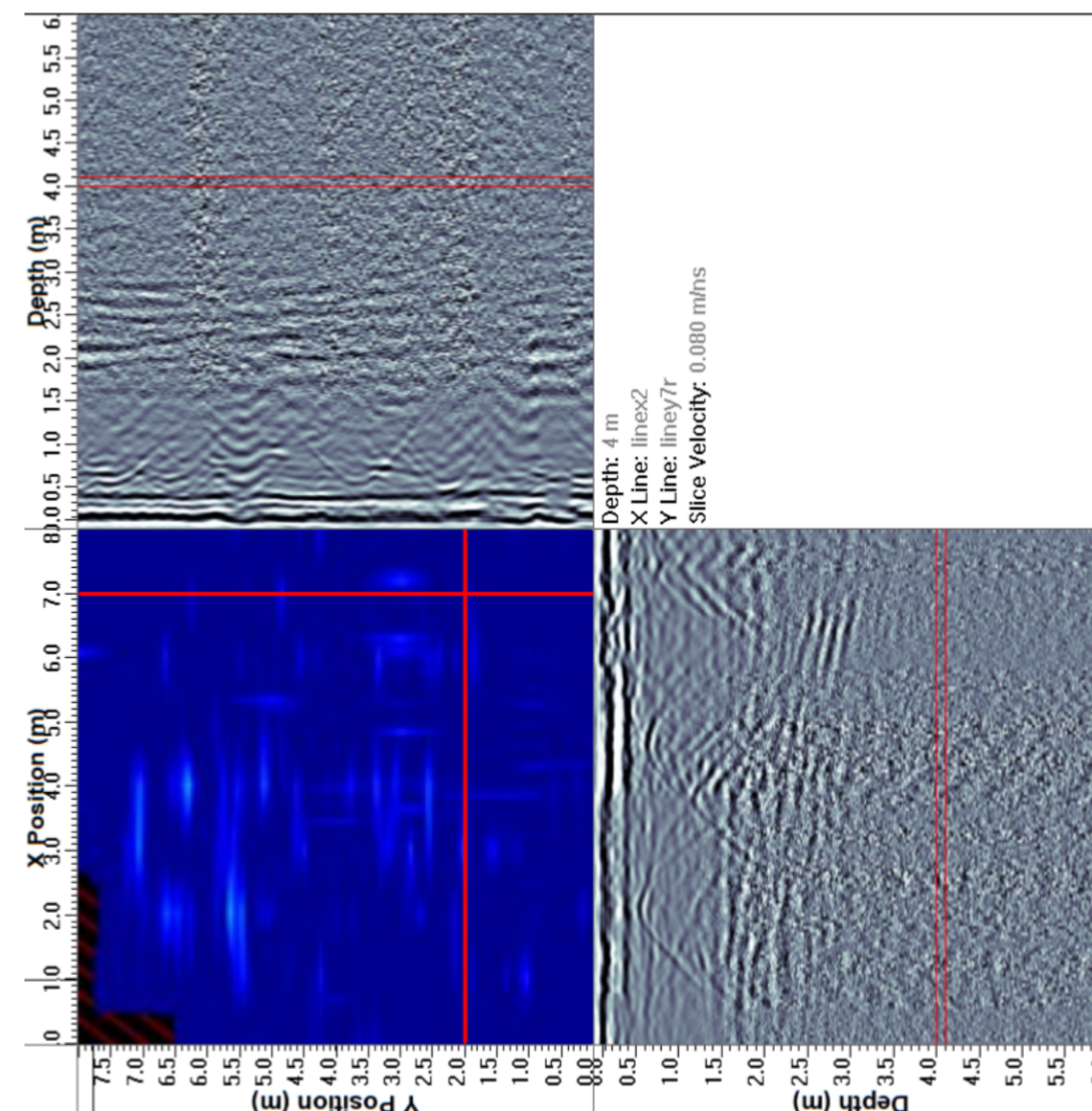
Profundidade 2 m



Profundidade 3 m



Profundidade 4 m



Rev.	Data	Descrição das Alterações	Aprov.

OBRA:
Estudo Geofísico:
Georadar

REQUERENTE:



FASE:
Final

DESENHO:
Anexo

TÍTULO:
Modelo 3D de GPR

ESCALAS:
S/ ESC

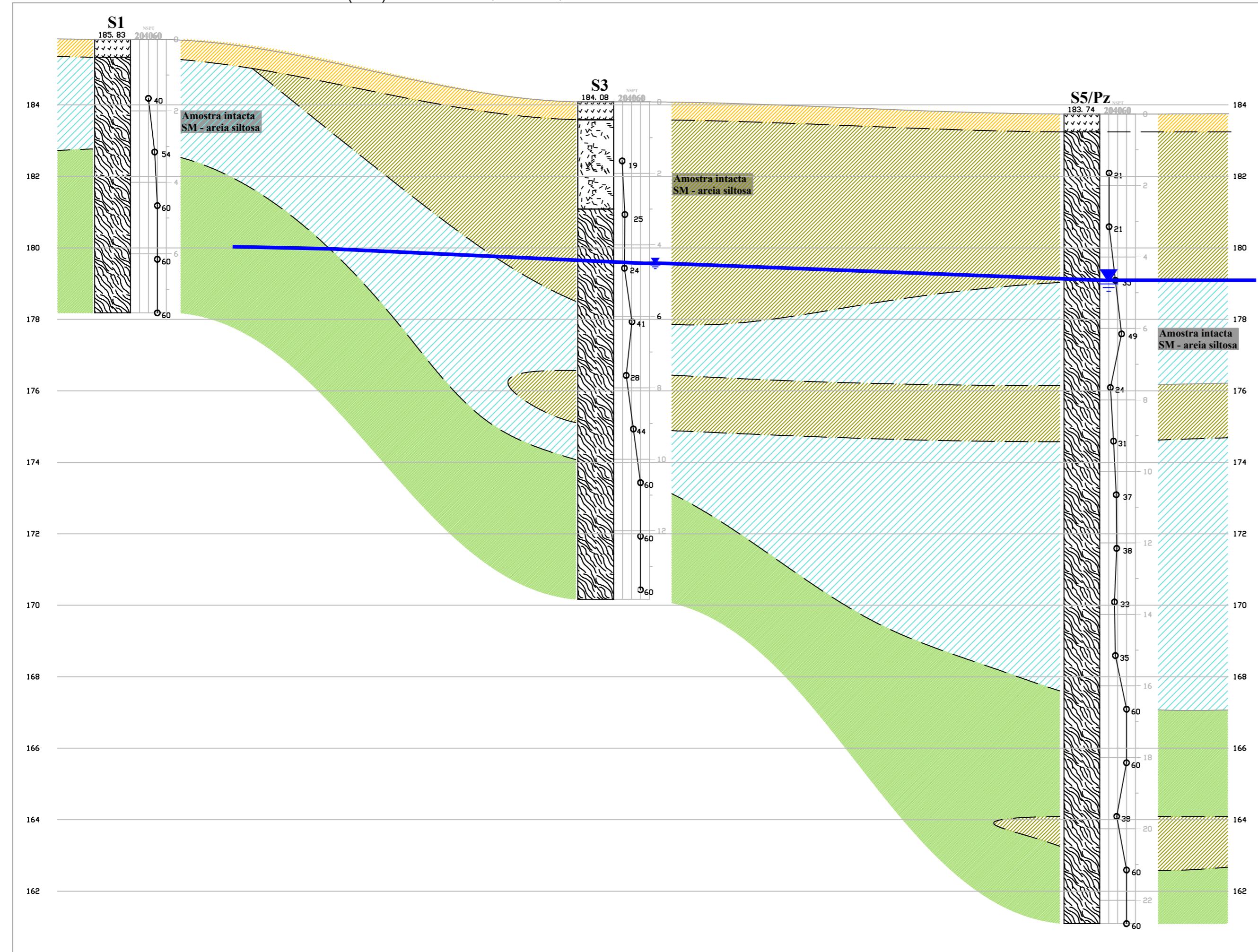
REVISÃO
0

COORDENADAS: Fornecidas pelo Cliente

Planta e perfis

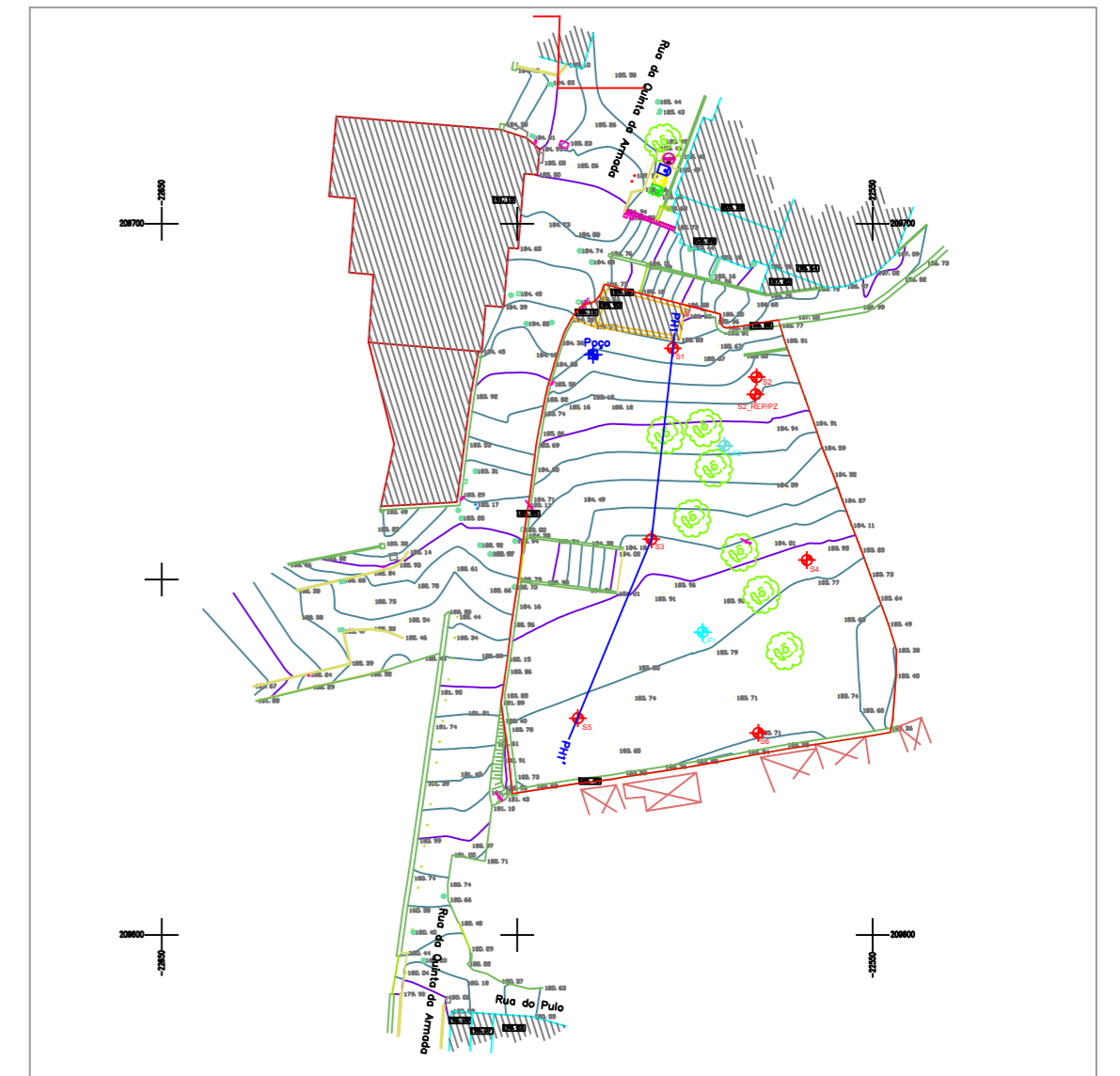
PERFIL INTERPRETATIVO HIDROGEOLÓGICO (PH1)

Esc.V.: 1|100 / Esc.H.: 1|200



LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS E DAS SONDAGENS

Esc.: 1|1000



LEGENDA

- PHI-PHI' - Perfil interpretativo hidrogeológico
- Si - Sondagem com realização de Ensaios SPT;
- Si/Pz - Sondagem com realização de Ensaios SPT e instalação de Piezômetro;
- Valor do Ensaio SPT (Nº);
- Nivel de água detectado no furo de sondagem, piezômetro e poço.
- Limite geotécnico interpretado
- Possível continuação do vazio detetado
- Poço de captação de água
- LFI - Ensaio Lefranc

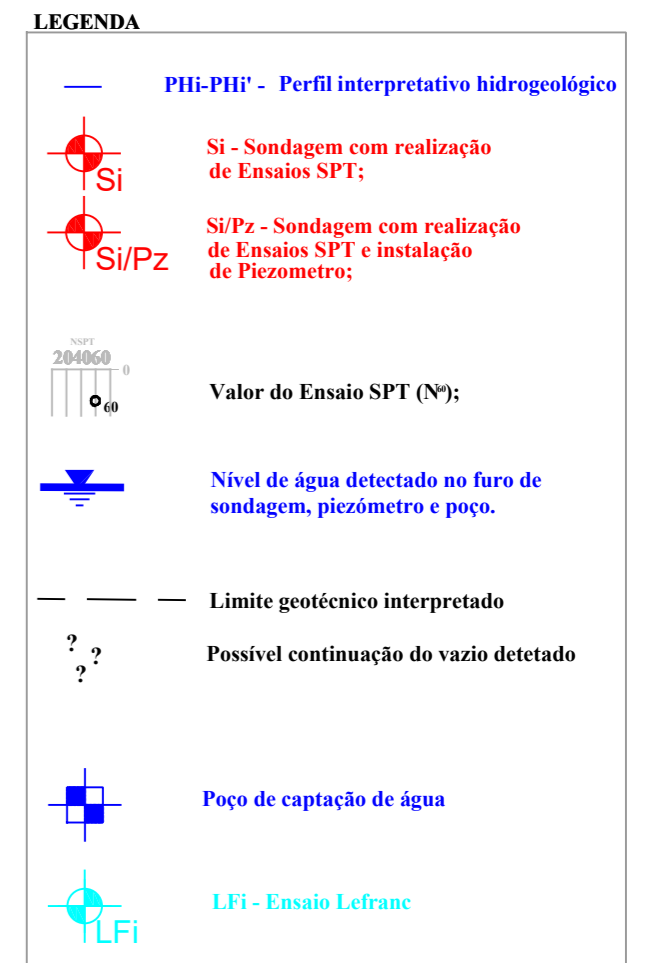
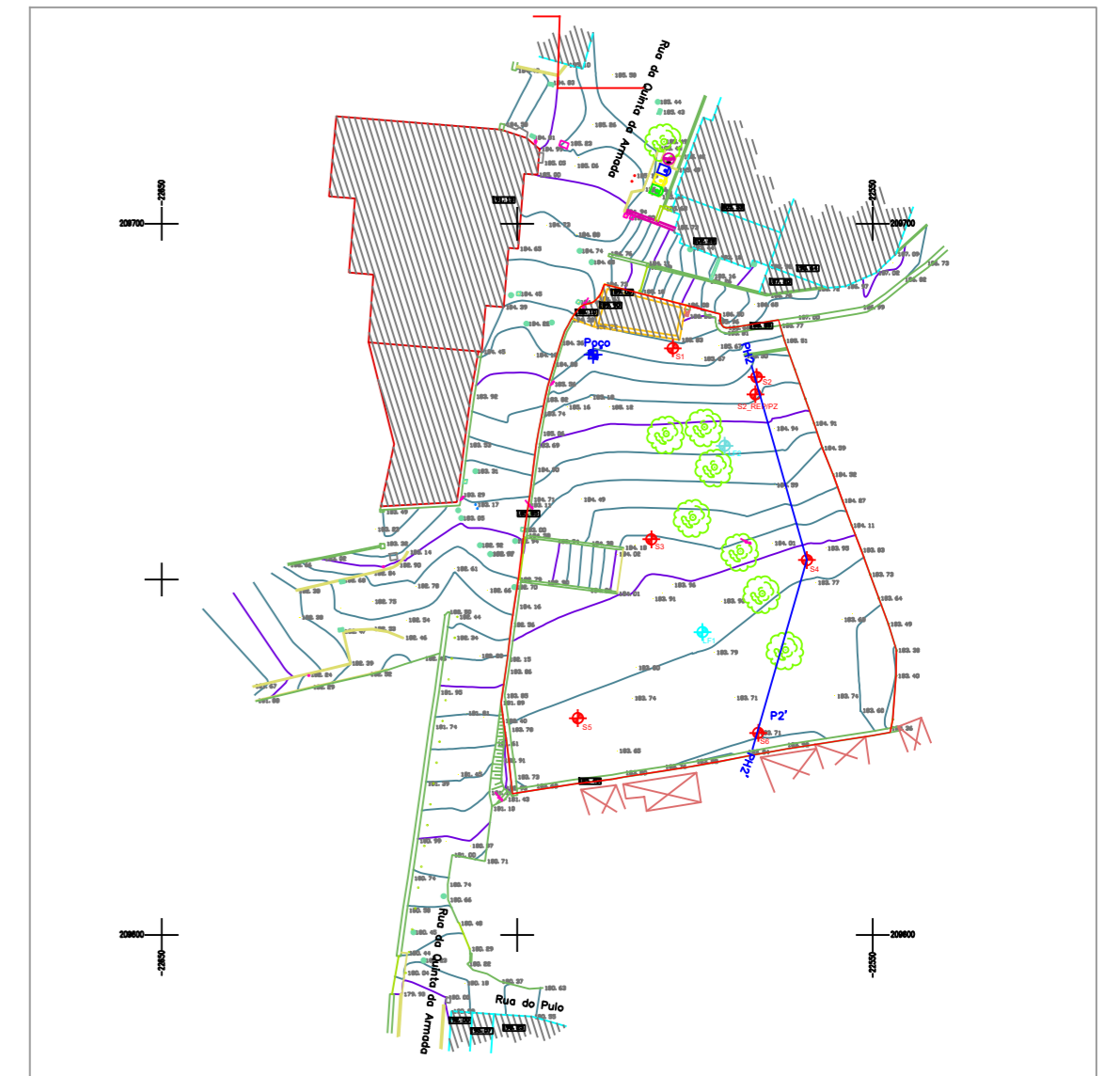
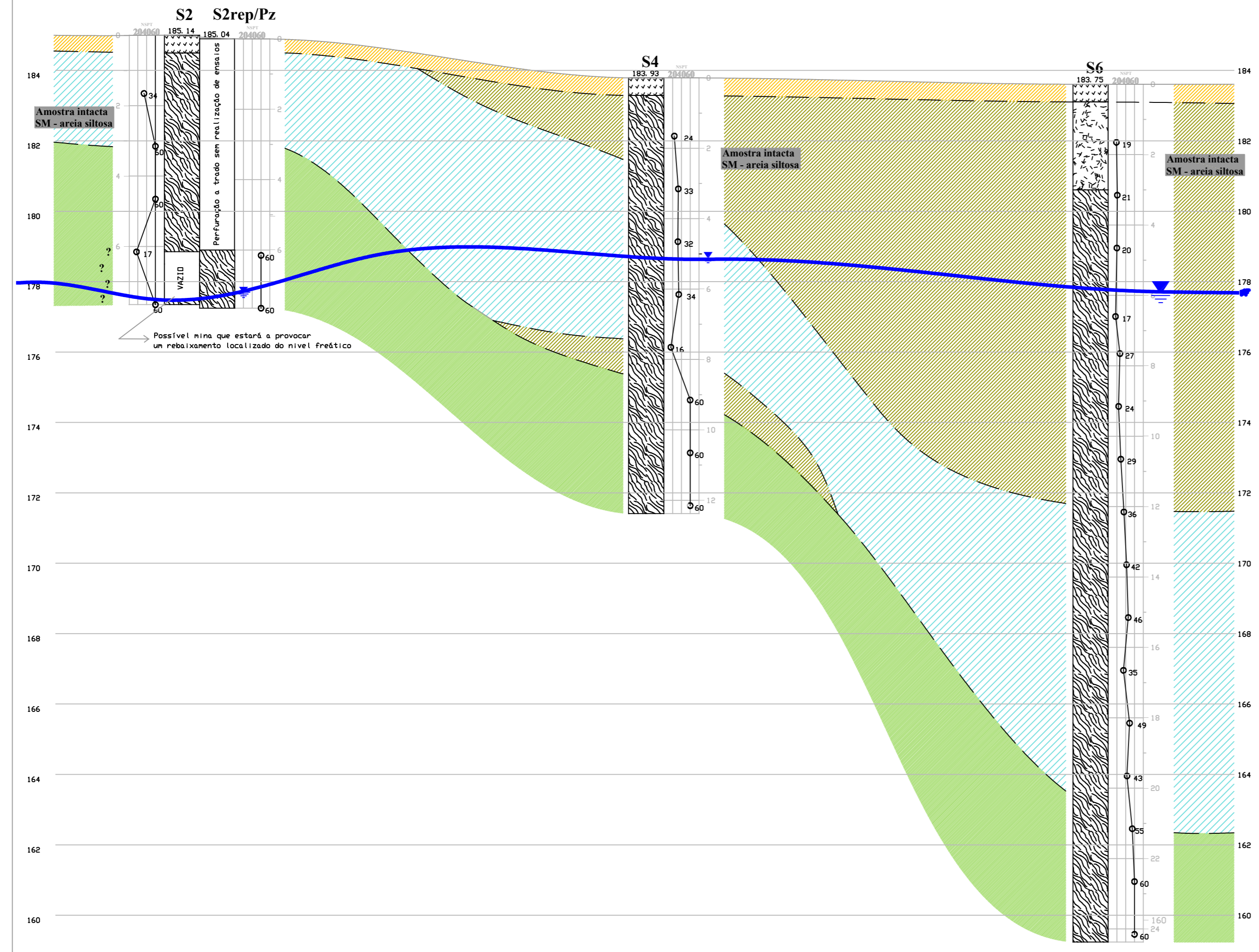
LEGENDA GEOTÉCNICA

- Zona Geotécnica 4 (ZG4): Solo de cobertura e aterros, com contaminação orgânica.
- Zona Geotécnica 3 (ZG3): Solo residual de aparência areno-siltoso e migmatito decomposto (W5), medianamente compacto (15<NSPT<30).
- Zona Geotécnica 2 (ZG2): Migmatito decomposto (W5), compacto (30<NSPT<50)
- Zona Geotécnica 1 (ZG1): Migmatito decompostos (W5), muito compacto (NSPT > 50)

LEGENDA LITOLÓGICA

- Solo de cobertura / aterro, com contaminação orgânica de cor castanho escuro.
- Solo residual migmatítico de aparência areno-siltosa de cor laranja acastanhado.
- Migmatítico de cor castanho avermelhado a acastanhado, com concentrações visíveis de micas e óxidos, com os seguintes graus de alteração (Unidade Vila Nune).

		José Machado & Costas, Lda Rua Da Alegria, 16 | 4595-149 Paços de Ferreira Tel.: 255 965 282 Fax: 255 864 409 E-mail: geral@triguas.com	
Cliente: Enescoord Coordenação e Gestão de Projetos e Obras, Lda	Des.: Jorge Peixoto Verif.: Jorge Peixoto	Especialidade: Prospecção Geológica-Geotécnica	Obra/Local: Residência Universitária Rua da Quinata da Armada S. Vitor - Braga
Data: fevereiro 2020	Designação: Planta de localização das sondagens e Perfil Interpretativo Hidrogeológico 1 (PH1)	Formato: A4 A3 A2 x	Desenho nº: 01 Revisão nº: 01



LEGENDA GEOTÉCNICA

- Zona Geotécnica 4 (ZG4): Solo de cobertura e aterros, com contaminação orgânica.
- Zona Geotécnica 3 (ZG3): Solo residual de aparência areno-siltoso e migmatito decomposto (W5), medianamente compacto (15<NSPT<30).
- Zona Geotécnica 2 (ZG2): Migmatito decomposto (W5), compacto (30<NSPT<50)
- Zona Geotécnica 1 (ZG1): Migmatito decompostos (W5), muito compacto (NSPT > 50)

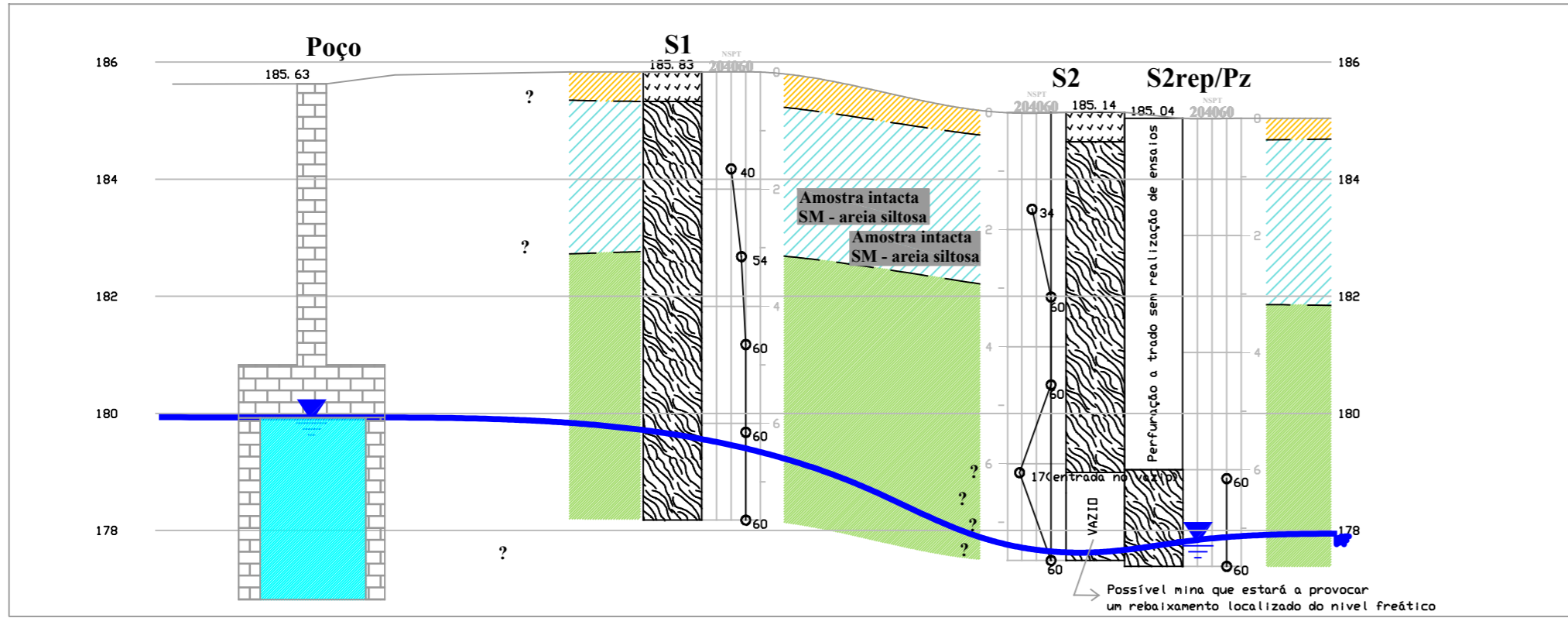
LEGENDA LITOLÓGICA

- Solo de cobertura / aterro, com contaminação orgânica de cor castanho escuro.
- Solo residual migmatítico de aparência areno-siltosa de cor laranja acastanhado.
- Migmatítico de cor castanho avermelhado a acastanhado, com concentrações visíveis de micas e óxidos, com os seguintes graus de alteração (Unidade Vila Nune).

trióguas SONDAGENS E CAPTAÇÃO DE ÁGUA		José Machado & Costas, Lda Rua Da Alegria, 16 | 4595-149 Paços de Ferreira Tel.: 255 965 282 Fax: 255 864 409 E-mail: geral@trioguas.com	
		Cliente: Enescoord Coordenação e Gestão de Projetos e Obras, Lda	Des: Jorge Peixoto Verif: Jorge Peixoto
Especialidade: Prospeção Geológica-Geotécnica	Obra/Local: Residência Universitária Rua da Quinata da Armada S. Vitor - Braga	Formato: A4 A3 A2 x	Desenho nº: 02 Revisão nº: 01
Data: fevereiro 2020	Designação: Planta de localização das sondagens e Perfil Interpretativo Hidrogeológico PH2		

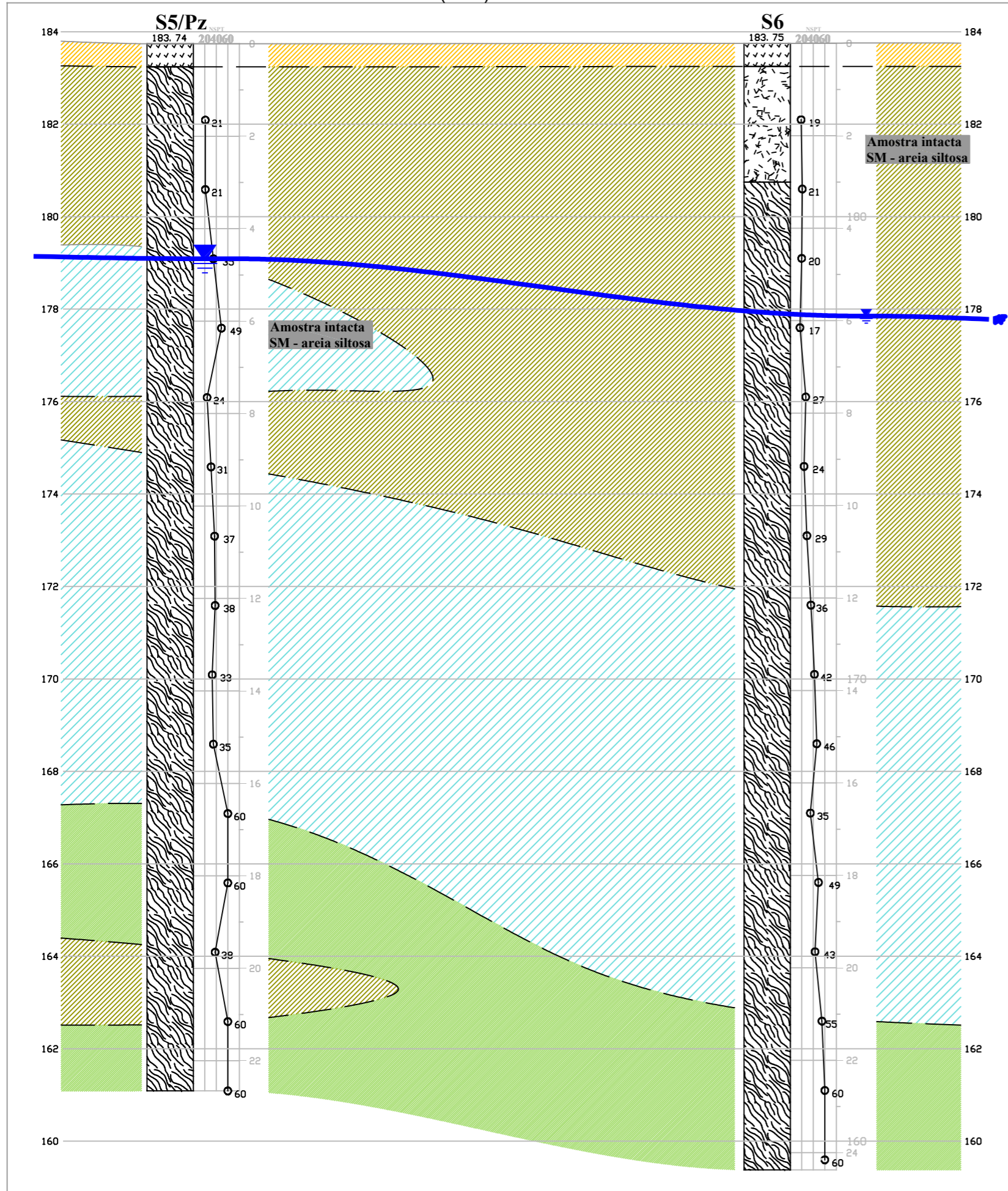
PERFIL INTERPRETATIVO HIDROGEOLÓGICO (PH3)

Esc.V.: 1|100 / Esc.H.: 1|200



PERFIL INTERPRETATIVO HIDROGEOLÓGICO (PH4)

Esc.V.: 1|100 / Esc.H.: 1|200



LEGENDA GEOTÉCNICA

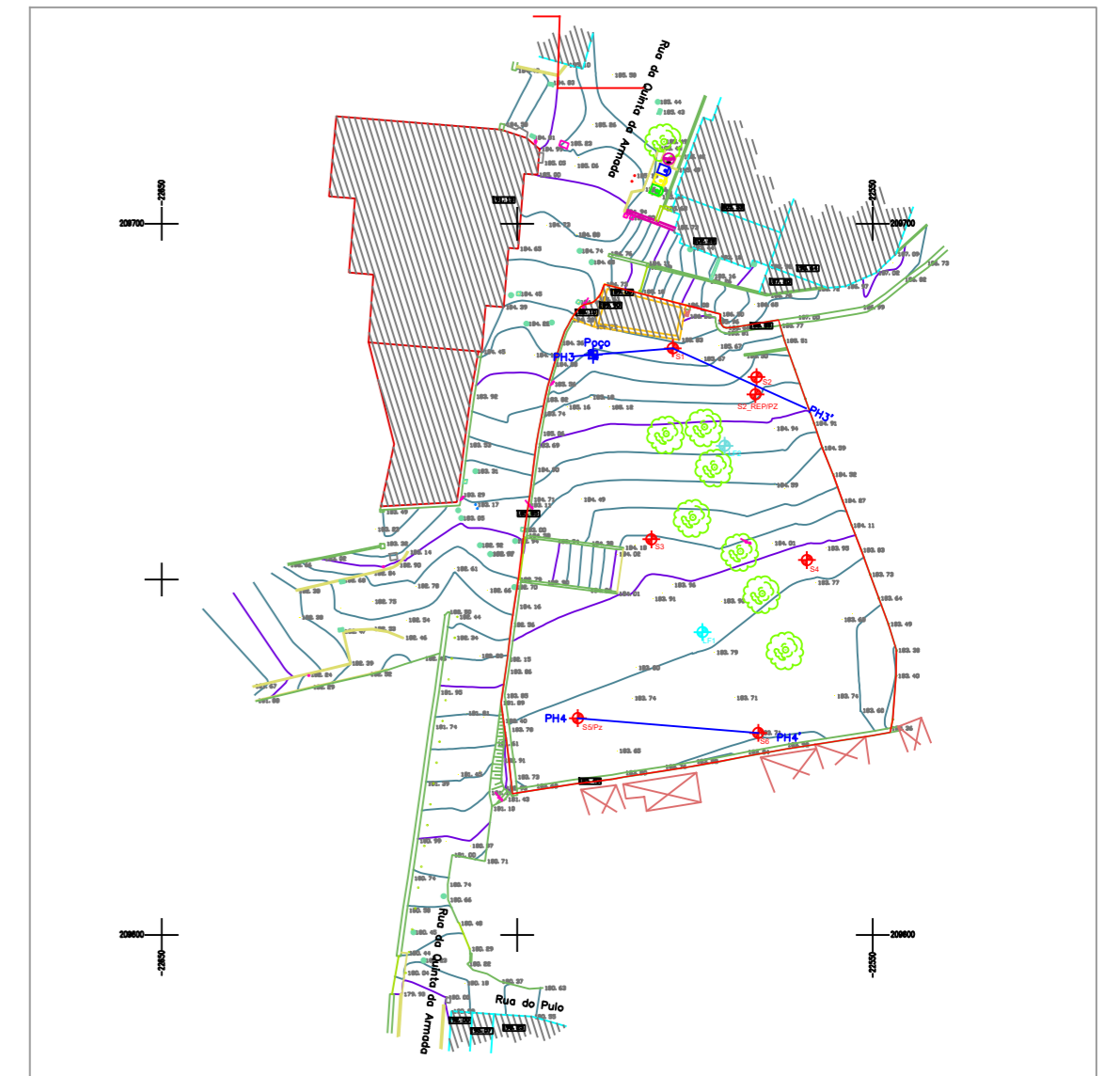
- Zona Geotécnica 4 (ZG4): Solo de cobertura e aterros, com contaminação orgânica.
- Zona Geotécnica 3 (ZG3): Solo residual de aparência areno-siltosa e migmatito decomposto (W5), medianamente compacto (15 < NSPT < 30).
- Zona Geotécnica 2 (ZG2): Migmatito decomposto (W5), compacto (30 < NSPT < 50)
- Zona Geotécnica 1 (ZG1): Migmatito decompostos (W5), muito compacto (NSPT > 50)

LEGENDA LITOLÓGICA

- Solo de cobertura / aterro, com contaminação orgânica de cor castanho escuro.
- Solo residual migmatítico de aparência areno-siltosa de cor laranja acastanhado.
- Migmatítico de cor castanho avermelhado a acastanhado, com concentrações visíveis de micas e óxidos, com os seguintes graus de alteração (Unidade Vila Nune).

LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS E DAS SONDAGENS

Esc.: 1|1000



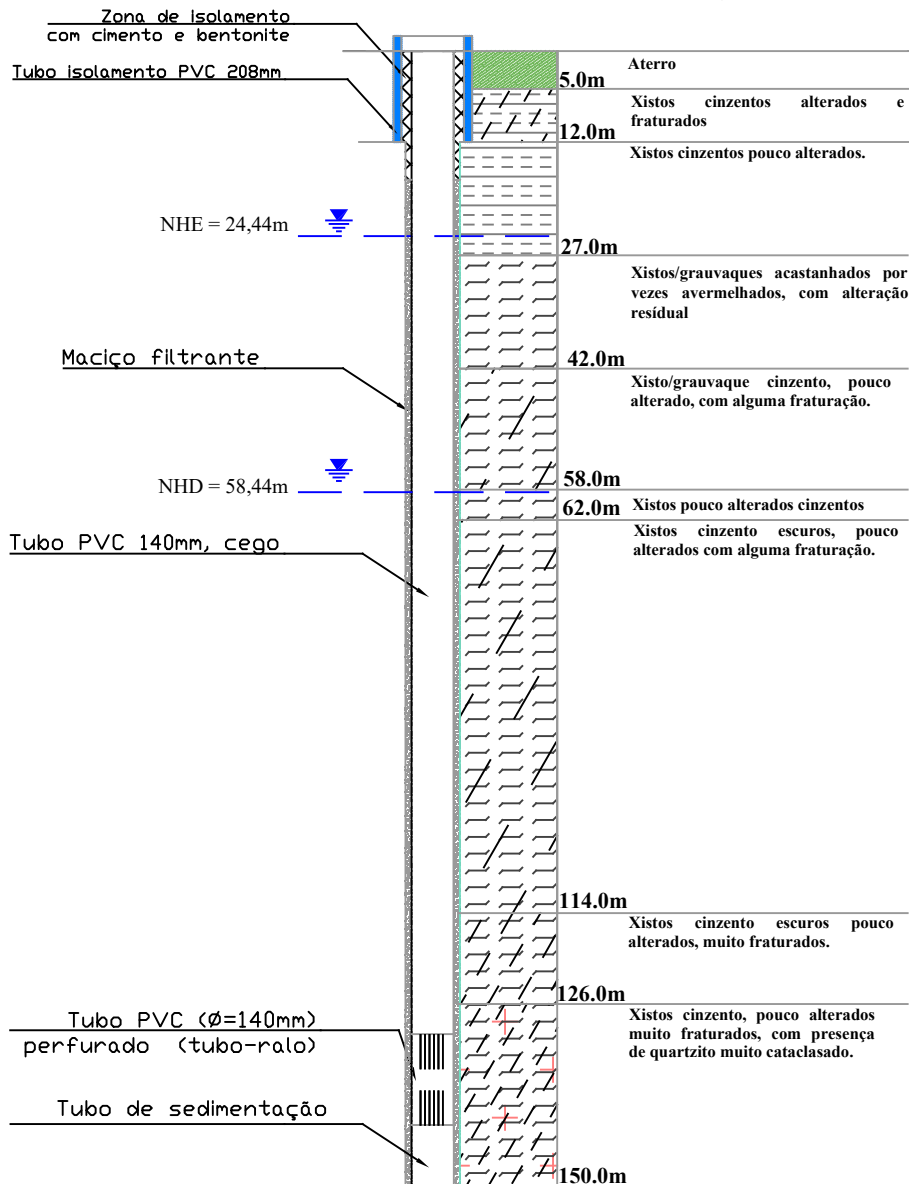
LEGENDA

- PHi-PHj - Perfil interpretativo hidrogeológico
- Si - Sondagem com realização de Ensaios SPT;
- Si/Pz - Sondagem com realização de Ensaios SPT e instalação de Piezometro;
- Valor do Ensaio SPT (Nº);
- Nível de água detectado no furo de sondagem, piezometro e poço.
- Limite geotécnico interpretado
- Possível continuação do vazio detetado
- Poço de captação de água
- LFI - Ensaio Lefranc

		José Machado & Costas, Lda Rua Da Alegria, 16 | 4595-149 Paços de Ferreira Tel.: 255 965 282 Fax: 255 864 409 E-mail: geral@triguas.com	
Cliente: Enescoord Coordenação e Gestão de Projetos e Obras, Lda	Des.: Jorge Peixoto Verif.: Jorge Peixoto	Especialidade: Prospecção Geológica-Geotécnica	Obra/Local: Residência Universitária Rua da Quinata da Armada S. Vitor - Braga
Data: fevereiro 2020	Designação: Planta de localização das sondagens e Perfil Interpretativo Hidrogeológico 3 e 4 (PH3/PH4)	Desenho nº: 03	Revisão nº: 01

DESENHO REPRESENTATIVO

Litologia



PERFURAÇÃO EFECTUADA:
 0.0m-9.0m: 260mm
 9.0m-150.0m: 180mm

TUBAGEM DE REVESTIMENTO:
 0.0m-12.0m: Tubo PVC 208mm/10Kg
 0.0m-150m: Tubo PVC 140mm roscado/16bar

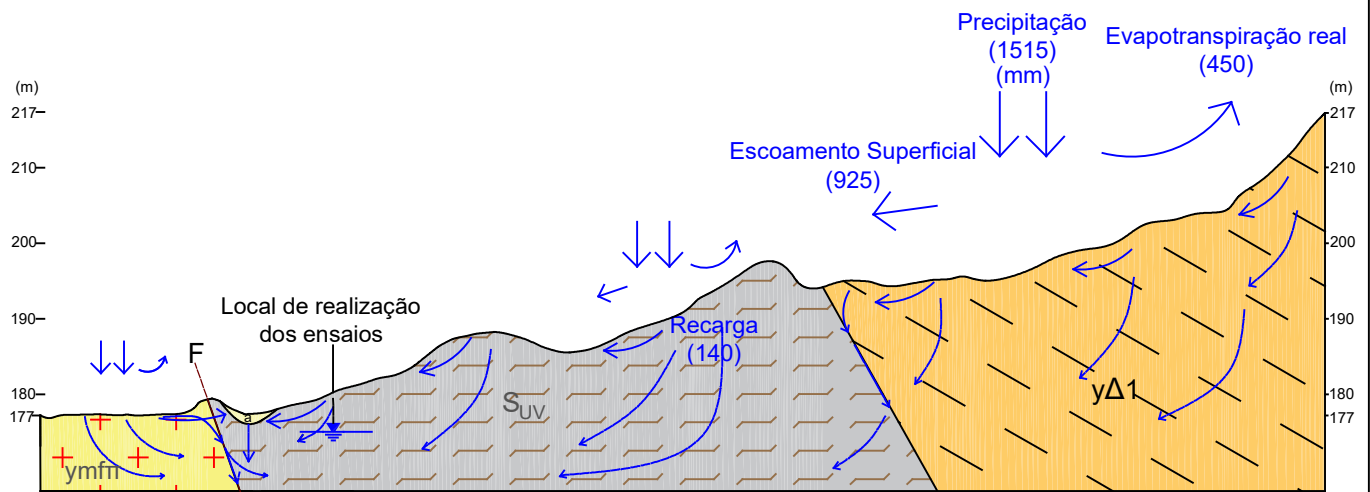
POSIÇÃO DOS TUBOS RALO:
 130.0m-136.0m
 136.0m-142.0m



José Machado & Costas, Lda
 Rua Da Alegria, 16 | 4595-149 Paços de Ferreira
 Tel.: 255 965 282 Fax.: 255 864 409
 E-mail: geral@triaguas.com

Cliente:		Des.: André Saldanha	
		Verif.: Bruno Vieira	
Especialidade: Prospecção Geológica-Geotécnica	Obr./Local:	Escalas: H: 1/25 V: 1/1000	Formato: A4 x A3 A2
Data:	Designação: Corte do furo de captação de água	Desenho nº: 01	Revisão nº: 00

Modelo Hidrogeológico Regional Interpretativo



LEGENDA

	Complexo Granítico de Braga Monzogranito biotítico, com rara moscovite, tendência porfiróide, de grão médio a fino
	Unidade de Vila Nune Micaxistos e migmatitos com níveis de turmalinitos
	Formação Sintectónica Granodiorito - monzogranito biotítico, porfiróide, de grão médio orientado, com grandes megacristais de feldspato potássico. (Granito do Sameiro)
	Depósitos fluviais atuais
	Superfície freática no local dos ensaios
	Falha provável

Escalas:	Formato:
V: 1/1000	A4 x
H: 1/10000	A3
	A2