



Metropolitano de Lisboa

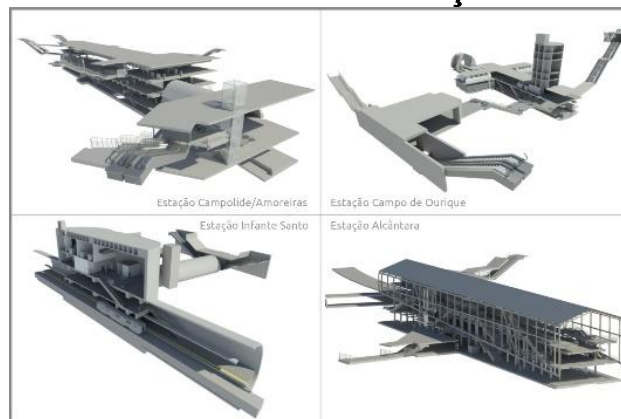


# METRO DE LISBOA

## PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

### EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO

#### PROJETO DE EXECUÇÃO



#### TOMO I – GERAL

#### VOLUME 7 – ESTUDO HIDROGEOLÓGICO

#### MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

<b>Documento SAP:</b>	LVSSA MSA PE GEO 000 000 MD 020003 0
-----------------------	--------------------------------------

	<b>Nome</b>	<b>Assinatura</b>	<b>Data</b>
Elaborado	Carin Mateus		2024-10-11
Revisto	Nuno Cruz		2024-10-11
Verificado	Sandra Ferreira		2024-10-11
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-11
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-11

	<b>Nome</b>	<b>Assinatura</b>	<b>Data</b>
Gestor Projeto	Raul Pistone		2024-10-11

## Índice

1	Introdução.....	3
2	Enquadramento Geral e AMbito.....	5
3	GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E TECTÓNICA.....	8
3.1	Geomorfologia e Tectónica.....	8
3.2	Litologia.....	9
4	HIDROGEOLOGIA.....	12
4.1	Enquadramento.....	12
4.2	Caracterização geral da zona em estudo.....	15
5	Descrição Geológico-Geotécnica.....	17
6	Sondagens realizadas.....	18
6.1	Equipamentos Utilizados.....	18
6.2	Amostragem.....	19
6.3	Resultados obtidos.....	19
7	Ensaio <i>in situ</i> .....	23
7.1	Ensaio de Permeabilidade do tipo Lugeon.....	23
7.1.1	Enquadramento.....	23
7.1.2	Resultados obtidos.....	26
7.2	Instalação de Piezómetros.....	28
1.	Zonamento Hidrogeológico Interpretativo.....	32
2.	Considerações técnicas.....	36



Todos os trabalhos mencionados foram realizados seguindo o cumprimento das Normas de Segurança, Higiene e Saúde no trabalho, para prevenção de riscos profissionais e da promoção da saúde dos trabalhadores. A equipa de prospeção esteve sempre equipada com material de proteção individual, usado de acordo com as regras de segurança. Os trabalhos foram executados por pessoal especializado, enquadrado pela seguinte Equipa Técnica (Quadro 1).

Quadro 1 - Equipa Técnica

Nome	Qualificação	Funções	Responsabilidades
Jorge Cruz	Msc Engenharia Geotécnica	Coordenação Geral	Supervisão Geral
Fernando Paiva	Msc Engenharia Geotécnica	Coordenação de produção	Comunicação com o cliente. Planeamento e supervisão dos trabalhos de campo.
Cárin Mateus	Msc Engenharia Geológica	Apoio Técnico	Coordenação técnica, interpretação de resultados, elaboração de zonamentos hidrogeológicos e estabelecimento de considerações
João Branco	Msc Engenharia Geológica	Apoio Técnico	Interpretação de resultados, elaboração de zonamentos hidrogeológicos e estabelecimento de considerações
Tiago Teixeira	Msc Engenharia Geológica	Direção de Obra	Comunicação com o cliente. Planeamento e supervisão dos trabalhos de campo. Elaboração de zonamentos geológicos
Francisco Ganhão	Sondador	Sondador	Execução das sondagens e dos ensaios
Helder Rodrigues	Sondador	Sondador	Execução das sondagens e dos ensaios
Ivo Monteiro	Sondador	Sondador	Execução das sondagens e dos ensaios
José Seixas	Sondador	Sondador	Execução das sondagens e dos ensaios

## 2 ENQUADRAMENTO GERAL E AMBITO

O corredor em estudo abrange as freguesias de Avenidas Novas, Campolide, Campo de Ourique, Estrela, Alcântara e Ajuda. No trecho final interceta a ribeira de Alcântara, afluente do rio Tejo, que se encontra canalizada – Caneiro de Alcântara – e com o leito aterrado.

A Ribeira de Alcântara, instalada nos calcários cenomanianos a jusante de Campolide, apresenta margens abruptas e talvegue muito encaixado. Apesar de o alinhamento do vale não coincidir com o da fraturação regional, corresponde neste local a zona intensamente fraturada, localizada na convergência das estruturas principais (anticlinal de Monsanto e anticlinal da Ajuda).

No âmbito do projeto é importante considerar a influência das barreiras hidrológicas que a obra incluirá ao longo do traçado. O Prolongamento da Linha Vermelha da rede metropolitana de Lisboa, entre São Sebastião e Alcântara terá uma extensão de cerca de 4100m e a construção de quatro estações – Amoreiras, Campo de Ourique, Infante Santo e Alcântara. Na sua parte final do traçado será incluído um viaduto sobre o vale de Alcântara, com perto de 300m de extensão, que no seu final se insere a estação terminal (Figura 2).

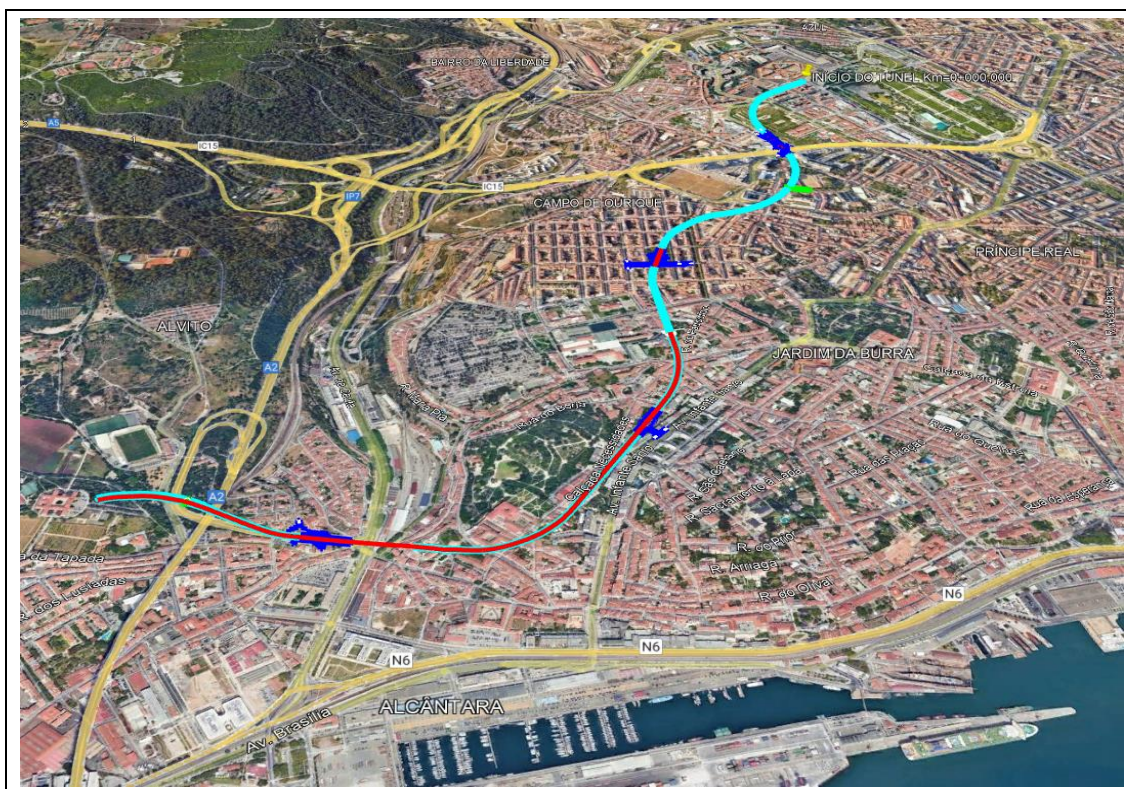


Figura 2 – Localização do traçado (extraído Google Earth)

Do ponto de vista da geomorfologia local, o traçado insere-se numa região de planalto, até cerca do km 2+200, com cotas à superfície baixando gradualmente de 116m, em Campolide, para 90m, em Campo de Ourique. Desce depois a encosta da Lapa e das Necessidades, o vale da Cova da Moura, atualmente a avenida Infante Santo, e termina depois de atravessar o vale de Alcântara (cota mínima do terreno 5m). O relevo apresenta, portanto, um desnível acentuado que condiciona o traçado em perfil.

O traçado subterrâneo começa por acompanhar, a cotas elevadas, o planalto de Campolide, até à estação Amoreiras, sendo o recobrimento do túnel da ordem de 15 a 25m. Na zona mais elevada, aproximadamente ao km 0+100, a linha apresenta cotas máximas próximas dos 86m. A rasante é descendente entre Amoreiras e Alcântara, com trainéis com inclinação próxima de 4%, e o túnel desenvolve-se a profundidades da ordem de 20 a 40m. As cotas da rasante atingem

valores mais baixos na aproximação do vale de Alcântara, cerca de 11m, com cota mínima de 9m no final do traçado.

Tendo em consideração orografia envolvente ao prolongamento da Linha Vermelha, bem como os principais cursos de água, foram identificadas 2 Zonas de maior probabilidade/risco de alteração das condições hidrológicas:

- Zona de Alcântara – Ribeira de Alcântara (Figura 3)
- Zona da estação de Infante Santos – orografia indicia a existência de linha de água enterrada – vale da cova da Moura (Figura 4).

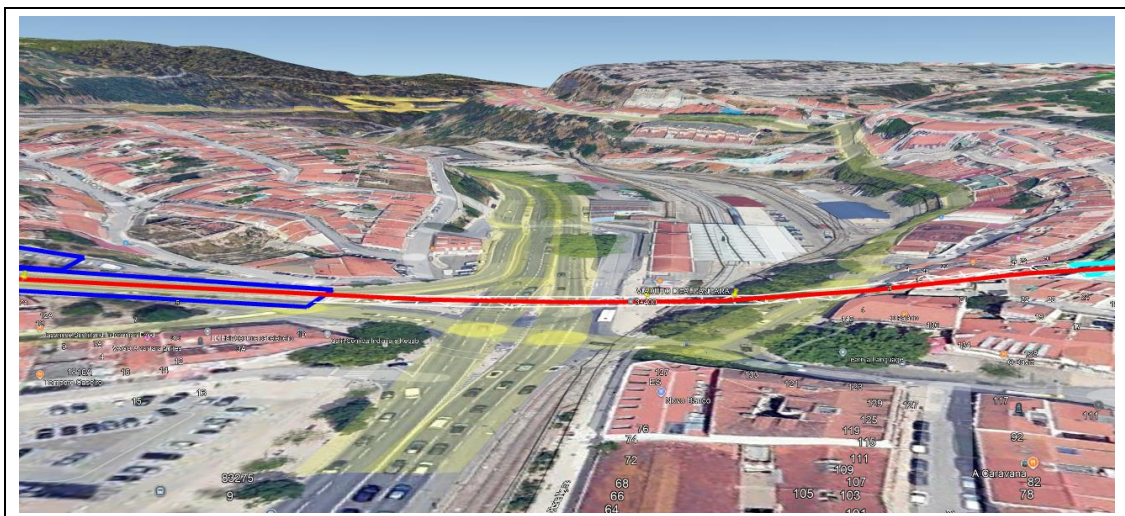


Figura 3 – Perspetiva orográfica da ribeira da Alcântara (extraído Google Earth)

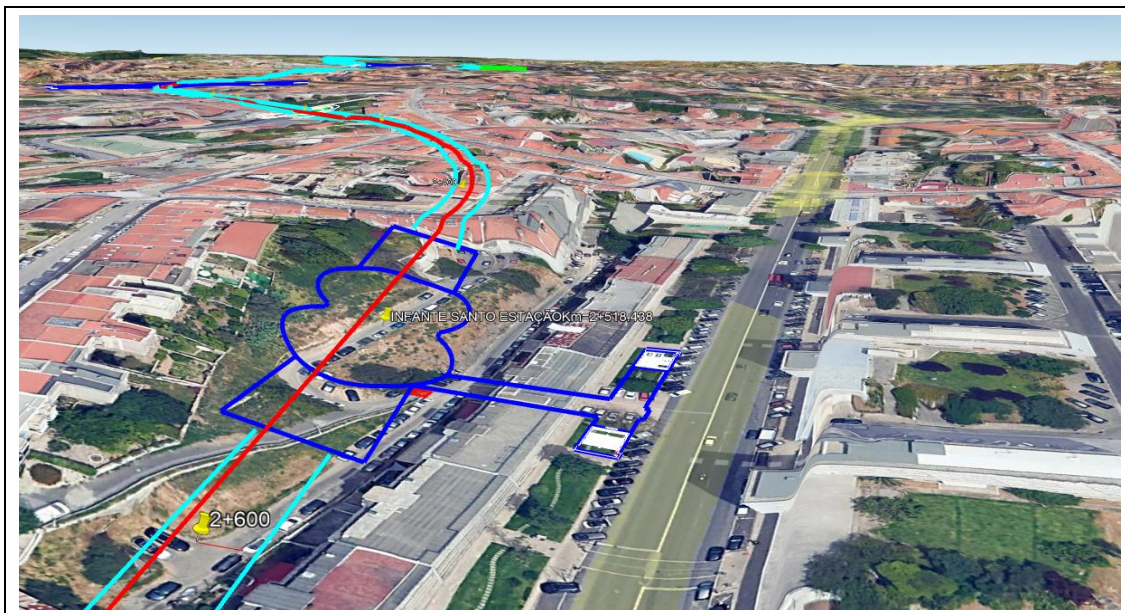


Figura 4 – Perspetiva orográfica do da Estação de Infante Santos (extraído Google Earth)

Estas duas zonas foram destacadas para a realização de estudos da especialidade, tendo sido a Zona de Alcântara atribuída ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, uma vez que esta é uma área amplamente estudada por esta entidade, e a zona da Estação de Infante Santo incluída e apresentada neste documento.

---

O estudo hidrogeológico será realizado somente na zona da Estação de Infante Santos com base na campanha de prospeção realizada até á data, nomeadamente:

- 1) **7 sondagens** mecânicas à rotação com amostrador duplo,
- 2) **81 ensaios** de permeabilidade **Lugeon**,
- 3) Instalação de **6 piezómetros**, com campanha de monitorização, (4 piezómetros simples e 2 piezómetros duplos realizados)

Quando da conclusão de todos os trabalhos de prospeção associados a esta zona de intervenção, o estudo será complementado e estendido ao trecho de túnel de via localizado entre a estação da Infante Santo e a antiga Casa de Goa.

Atualmente não foram realizados ensaios de bombagem pelo facto de os ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon executados até à presente data indicarem em várias profundidades vazão total e os níveis de água registados suscitarem algumas duvidas sobre a sua correspondência, nomeadamente, níveis de água de furação ou níveis freáticos.

### 3 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E TECTÓNICA

A área em estudo encontra-se caracterizada sob o ponto de vista da geologia, na folha 34-D LISBOA da Carta Geológica de Portugal (escala 1:50 000), editada pela Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira, do Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG, cujo extrato se apresenta na Figura 5.

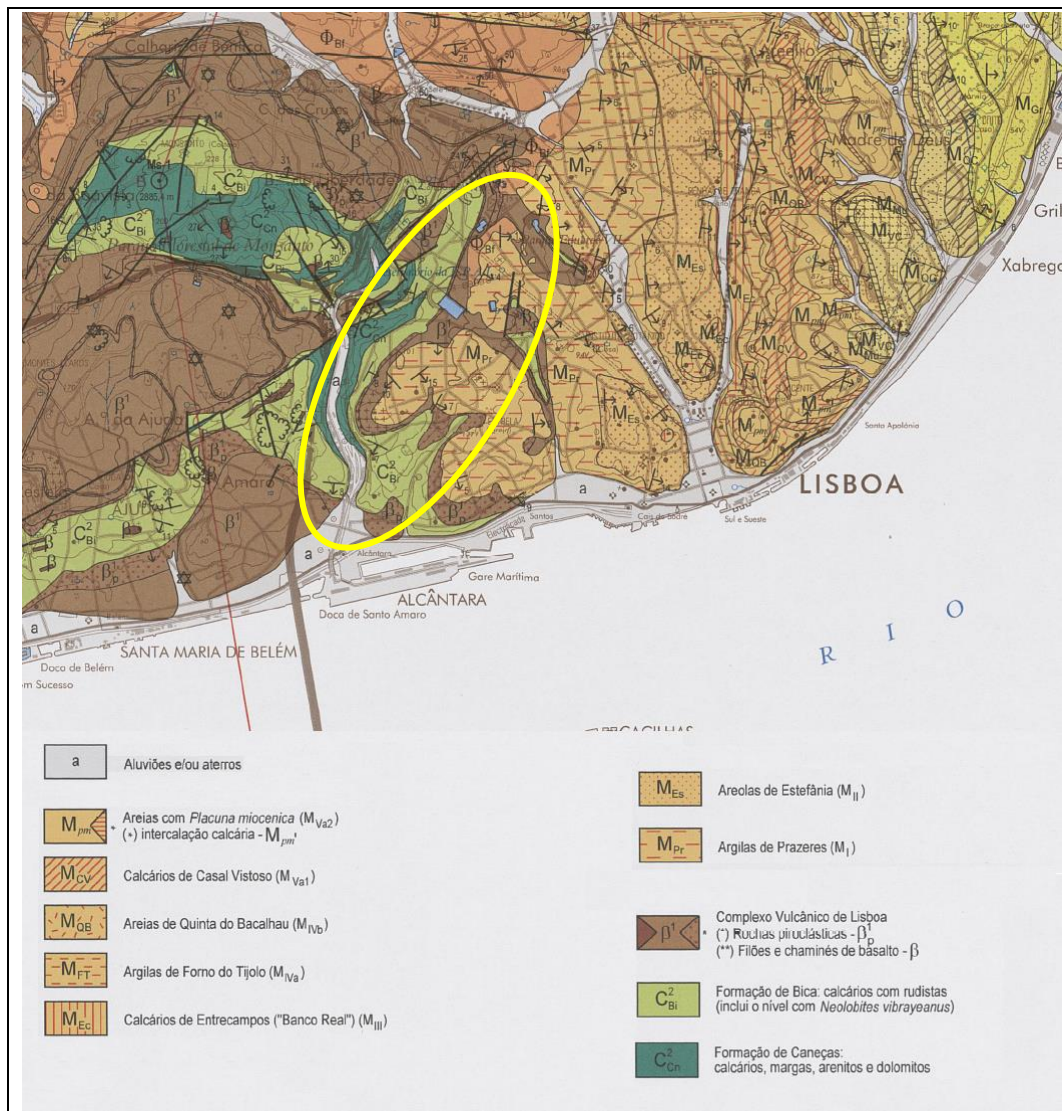


Figura 5 – Extrato da folha 34-D (LISBOA) à escala 1:50 000 da Carta Geológica de Portugal

#### 3.1 GEOMORFOLOGIA E TECTÓNICA

A geomorfologia de Lisboa, é marcada pela erosão diferencial de diferentes unidades litológicas, que se traduz num controlo litológico e estrutural do relevo, que no quotidiano se designa como a cidade das sete colinas (Castelo, Graça, Monte, Penha de França, Santa Catarina e Estrela e São Pedro de Alcântara). A rede de drenagem, condicionada pela fracturação, instala-se nos vales. No que diz respeito à estrutura e evolução geodinâmica, a região em estudo insere-se maioritariamente na Bacia do Baixo Tejo (Figura 6), testemunhada por afloramentos de sedimentos de idade cretácica, que se integram na Bacia Lusitânica. Intruindo os sedimentos mesozóicos da Bacia Lusitânica, e principalmente intercaladas entre estes sedimentos e os depósitos cenozóicos da Bacia do Baixo Tejo, ocorrem rochas ígneas do Complexo Vulcânico de



Lisboa - CVL, de idade fini-cretácica. A instalação do maciço intrusivo de Sintra e do Complexo Vulcânico de Lisboa ocorreu no final do Cretácico, logo após o desenvolvimento da Bacia Lusitânica em regime extensivo associado à abertura do Atlântico Norte durante o Mesozóico. Posteriormente à instalação do CVL, depositaram-se os sedimentos detríticos fluviais da Formação de Benfica, atribuídos ao Eocénico e Oligocénico que, consoante os locais, assentam em inconformidade sobre o substrato mesozoico ígneo ou sedimentar.

Sob o ponto de vista geológico-estrutural, importa referir que localmente existem dois domínios de grande escala:

- 1) um de natureza frágil que afeta os terrenos do Complexo Carbonatado Cenomaniano e do Complexo Vulcânico de Lisboa caracterizado por fracturação mais ou menos intensa e dobramentos acompanhados de diaclasamento;
- 2) outro de natureza dúctil com dobramentos suaves e poucas falhas, afetando os terrenos do Miocénico.

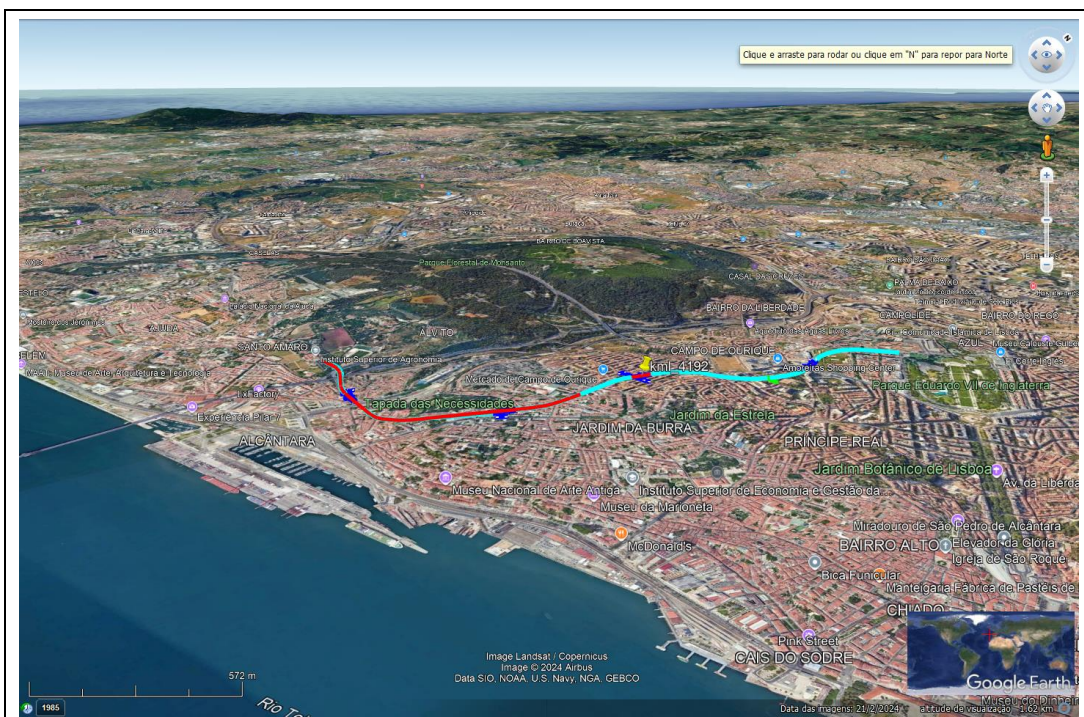


Figura 6 – Imagem ilustrativa da geomorfologia na envolvente da obra

### 3.2 LITOLOGIA

À escala regional, o modelo geológico que enquadra a zona em estudo assenta num dispositivo de natureza mista, constituído essencialmente pelas seguintes formações, descritas do topo para a base:

- a) Aluviões – a (Holocénico);
- b) Argilas de Prazeres – M<sub>Pr</sub> (Miocénico);
- c) Complexo Vulcânico de Lisboa –  $\beta^1$  (Final do Cretácico);
- d) Formação da Bica: calcários com rudistas – C<sup>2</sup><sub>Bi</sub> (Cretácico);
- e) Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos – C<sup>2</sup><sub>Cn</sub> (Cretácico).

As aluviões assentam discordantemente sobre as formações do Miocénico e/ou do Complexo Vulcânico de Lisboa e exibem espessuras. Estas aluviões são de natureza lodosa e/ou arenosa, com matéria orgânica significativa, verificando-se com frequência a presença de fragmentos de conchas, mais ou menos dispersas, exibindo com frequência alternância de fácies com importantes variações de composição, consistência e compacidade. A distinção desta formação com o substrato local (Miocénico ou do Complexo Vulcânico de Lisboa) nem sempre é fácil de descortinar por simples inspeção visual. Ocorrem ao longo das principais linhas de água (espessura de 10m) e vales da cidade de Lisboa. As aluviões cruzam-se com o túnel na área envolvente à ribeira de Alcântara.

As argilas de Prazeres são predominantemente constituídas por argilas e margas de lagunas litorais. Lateralmente, há níveis carbonosos com vegetais e gesso, que forneceram a fauna de mamíferos de Horta das Tripas. O conjunto é sobreposto por níveis arenosos finos a médios, micáceos, com mamíferos. No topo, ocorrem argilitos arenosos de cor avermelhada com canais preenchidos por ostras. Afloram desde Carnide a Santos passando por Benfica, Palma de Baixo, Campo Pequeno, Praça do Marquês do Pombal, Largo do Rato, Prazeres, Estrela e Lapa. Em relação ao traçado do túnel ocorrem entre a estação de Campolide e a estação de Campo de Ourique.

No Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL), distinguem-se lavas, piroclastos, filões e chaminés. As lavas correspondem essencialmente a escoadas basálticas, enquanto os piroclastos, que resultaram da atividade explosiva, são essencialmente cinzas e lapilli, não consolidados e de espessuras variáveis, sempre muito alterados. Os filões e chaminés basálticas tal como o nome indica, ocorrem em estreitos filões e pequenas massas, por vezes correspondentes a antigas chaminés. O túnel intercepta o CVL na estação Infante Santo e na estação de Alcântara.

Por sua vez, a Formação da Bica (Cretácico Superior) é constituída por calcários compactos de cor branca, rosada a avermelhada, que se apresentam mais margosos para o topo da unidade, onde alternam com margas amarelas, rosadas e esbranquiçadas. O calcário compacto é preponderante, chegando mesmo a apresentar-se cristalino com ocorrência de nódulos de sílex, alternando com calcários apinhoados (nodulosos) e com calcários com uma componente margosa. Esta formação é caracterizada, na sua parte superior, pela presença de rudistas frequentemente silicificados e também numerosos foraminíferos, ostracodos, tubos de serpulídeos, esponjas, algas, gastrópodes, bivalves e equinídeos, entre outros, entre os quais se salienta o amonóide *Neolobites vibrayeanus*. Esta formação cruza o túnel entre a estação do Infante Santo e o vale de Alcântara.

Por último, a Formação de Caneças constitui-se, na sua parte superior, por calcários margosos amarelados e apinhoados, pouco fossilíferos, com níveis areno-quartzosos e dolomíticos. Ocorrem ainda, num segundo nível, calcários margosos amarelados e as margas. Nesta formação observam-se fósseis de bivalves (ostreídeos, gastrópodes, crustáceos, vegetais, equinodermes, foraminíferos, e alguns rudistas e vertebrados). Relativamente à localização do túnel, esta formação observa-se em profundidade no vale da ribeira de Alcântara.

Na Figura 7 apresenta-se o corte Geológico da Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000, Folha 34-D, Lisboa, pode observar-se a sequência estratigráfica, assim como um perfil litológico de um furo de pesquisa petrolífera (1), realizado em Monsanto (Lopo Mendonça, 2016).

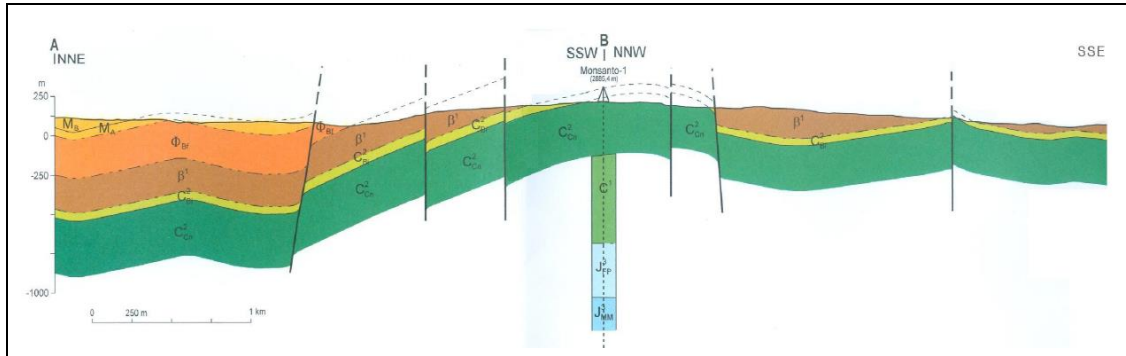


Figura 7 – Corte Geológico da Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000, Folha 34-D, Lisboa.

## 4 HIDROGEOLOGIA

### 4.1 ENQUADRAMENTO

O movimento da água no seio de cada unidade geológica depende das suas características granulométricas e/ou de fissuração (macro e micro-fabric, isto é, características texturais), das características hidráulicas e estruturais do maciço, e ainda dos gradientes hidráulicos instalados em cada situação particular.

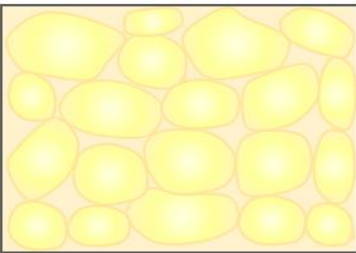
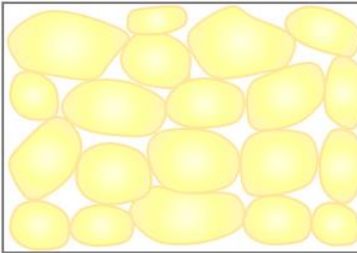
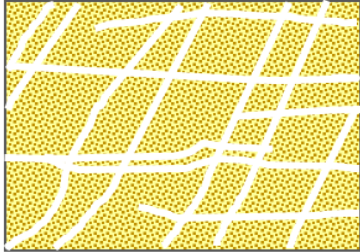
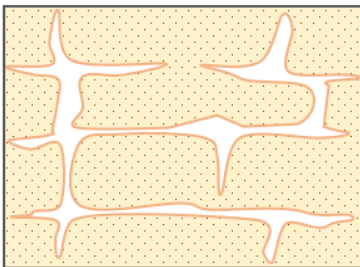
Sob o ponto de vista textural, podem definir-se 3 grandes grupos de materiais aquíferos (Quadro 2):

- 1) Aquíferos porosos – a água circula e é armazenada nos vazios interparticulares e por vezes nos vazios intraparticulares (grão poroso);
- 2) Aquíferos fissurados – a água circula e é armazenada nas fissuras;
- 3) Aquíferos cársicos – a água circula e é armazenada nas cavidades cársicas
- 4) Aquíferos mistos – resulta da combinação dos três tipos anteriores.

O desempenho dos aquíferos é igualmente influenciado pela disposição e inter-relação entre as diferentes formações geológicas presentes (características hidráulicas e estruturais), podendo classificar-se como aquíferos livres, confinados e semi-confinados, conforme evidenciado no Quadro 3.

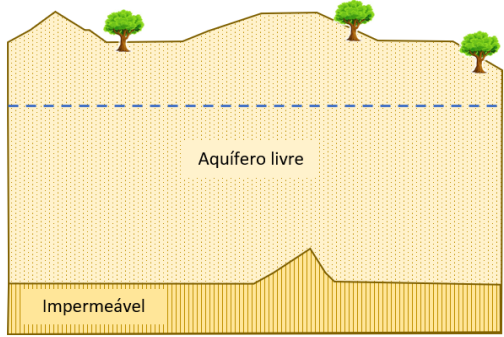
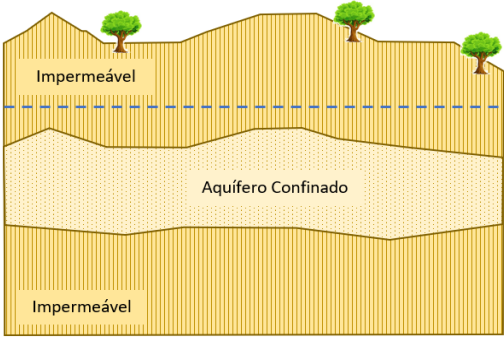
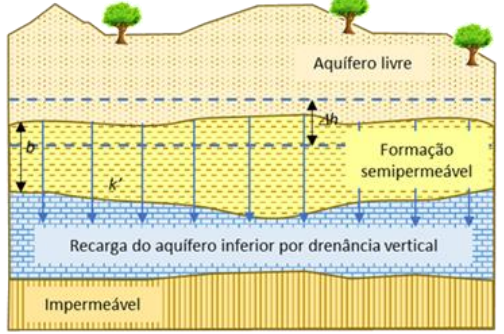
O desenvolvimento de modelos hidrogeológicos representativos que permitam a avaliação e simulação de movimentos da água associados a rebaixamentos do nível piezométrico, impactos da obra nos regimes de escoamento local e regional, potencial de riscos de inundação e de efeitos de marés, entre outros, depende largamente da quantificação da capacidade de um sistema aquífero para armazenar e transmitir a água, isto é, da sua parametrização.

Quadro 2 – Características dos aquíferos em função dos aspetos texturais

Aquíferos	Permeabilidade	Esquema	
Porosos	Permeabilidade por poro varia com o tipo de matriz (arenosa, siltosa ou argilosa) (a) e/ou com a existência de grão poroso (b)		
Fissurados	Permeabilidade por fissura de origem mecânica		
Cársicos	Permeabilidade resultante da dissolução		

Os principais parâmetros hidrogeológicos associados a estes modelos compreendem a porosidade eficaz ( $S_y$ ), o coeficiente de armazenamento ( $S$ ), o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) e a transmissividade ( $T$ ). A porosidade eficaz e o coeficiente de armazenamento estão diretamente relacionados com o volume de vazios disponível para o armazenamento de água, isto é, com a porosidade, enquanto a transmissividade está associada à capacidade de transmissão de água e é igual ao produto do coeficiente de permeabilidade pela espessura do aquífero. Para além destes parâmetros, as posições e variações do nível piezométrico constituem igualmente informação fundamental para a modelação de problemas associados à gestão da água subterrânea no solo e subsolo.

Quadro 3 – Características dos aquíferos em função do contexto hidráulico e estrutural

Aquíferos	Descrição	Esquema
Livre	Libertam água por evaporação/des-saturação	
Confinado	Instalados em formações permeáveis rodeadas por materiais impermeáveis; libertação elástica da água	
Semi-confinado	Sistema que integra um aquífero superior, uma unidade semi-permeável e um aquífero inferior semi-confinado	

A avaliação destes parâmetros é feita preferencialmente *in-situ* através de ensaios de bombagem, ensaios de injeção ou introdução de traçadores. Os ensaios de bombagem são o método mais completo e fiável para a determinação dos parâmetros hidrogeológicos de um maciço. Os ensaios de injeção (Lefranc, Lugeon, Matsuo, Slug tests, etc) dão resultados menos fiáveis e tem uma esfera de influência muito confinada à zona de ensaio, ou seja, a sua representatividade é apenas na envolverência do furo de ensaio, uma vez que a quantidade de água envolvida no ensaio é muito pequena e o tempo de duração muito curto, pelo que a influência não se estende com significado para fora da fronteira do furo ensaiado. Na prática, estes ensaios envolvem uma zona remexida pela furação, pelo que os resultados obtidos podem não traduzir com fidelidade as características globais do maciço. Os ensaios com traçadores incidem na aplicação de corantes e análise de propagação e tempos de chegada através de trajetos pré-definidos, sendo habitualmente mais destinados a avaliações de carácter ambiental. No Quadro 4 apresentam-se os diferentes parâmetros hidrogeológicos discutidos e evidencia-se o seu modo de determinação.

Quadro 4 – Parâmetros hidrogeológicos e sua determinação

Parâmetro	Definição	Ensaio
-----------	-----------	--------

Nível piezométrico	Cota (relativa a um referencial arbitrário) que a água alcança quando em situação de pressão atmosférica.	Piezómetro
Porosidade total	Corresponde à relação entre o volume de poros e o volume total.	Ensaio de laboratório; (Implica recolha de amostra indeformada; devido à descompressão que acompanha a amostragem, os resultados laboratoriais podem apresentar desvios significativos em relação à situação in-situ)
Porosidade eficaz	Corresponde à relação entre o volume de poros conectados e o volume total.	
Coeficiente de permeabilidade ou de condutividade hidráulica, k (em solos)	Define-se como o caudal capaz de atravessar uma secção unitária do aquífero, normal ao fluxo.	Ensaio de permeabilidade: - Lefranc, - Slug tests
Coeficiente de permeabilidade hidráulica, k (em maciços rochosos)	Representa a capacidade de se deixar atravessar pela água.	Ensaio de permeabilidade: - Lugeon
Transmissividade, T	Define-se como o caudal produzido pela secção de aquífero para um gradiente hidráulico unitário Representa a capacidade de transmitir água dos aquíferos.	Ensaio de permeabilidade ou Ensaio de bombagem
Coeficiente de armazenamento, S	Define-se como a relação entre o volume de água libertada por unidade de superfície de aquífero quando a superfície piezométrica varia uma unidade Representa a capacidade aquífera de armazenar água	Ensaio de bombagem

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ZONA EM ESTUDO

A zona de Lisboa onde ocorre esta obra encontra-se fortemente intervencionada pelo Homem, nomeadamente no que diz respeito à impermeabilização dos solos e à drenagem de algumas estruturas enterradas (caves, parques de estacionamento, etc.) o que promoveu uma grande alteração relativamente aos recursos hídricos subterrâneos, dadas as alterações significativas nos escoamentos originais. Na área em estudo, é possível identificar os seguintes tipos de formações hidrogeológicas:

- 1) Aquíferos nas formações terrosas superficiais de natureza granular
- 2) Aquitardos nas formações terrosas de natureza argilosa (alteração do maciço calcário-margoso) e em formações rochosas do Complexo Vulcânico de Lisboa.
- 3) Aquicludos/Aquifugos nas formações rochosas da base (Margas)

Por seu lado, sob o ponto de vista textural as formações geológicas existentes na zona de estudo configuram os seguintes cenários:

- 1) Permeabilidade tipo poro ocorrente nas formações terrosas de superfície, Complexo Vulcânico de Lisboa alterado/desagregado e no maciço miocénico (argilas e margas), cuja permeabilidade resulta da porosidade intergranular.

- 2) Permeabilidade do tipo fissural ocorrente nas formações do Complexo Vulcânico de Lisboa e do Cretácico, cuja permeabilidade resulta do movimento da água através de fissuras.
- 3) Maciço misto (poroso e fissural) no maciço calcarenítico, em que a permeabilidade resulta tanto dos vazios intergranulares como da fracturação e das cavidades cársicas existentes no maciço.
- 4) Permeabilidade fissural a cársica na Formação da Bica (Cretácico Superior).

No contexto hidráulico e estrutural ocorrente o grau de confinamento destas formações é variável, ocorrendo sistemas aquíferos livres e semi-confinados.

Finalmente, importa ainda referir pela sua relevância, que o Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação de Lisboa (RMUEL) identifica a zona em estudo com vulnerabilidade muito elevada às inundações e com suscetibilidade a efeito de maré direto, conforme evidenciado na Figura 8. A existência destes riscos associados no local da obra pressupõe uma caracterização detalhada dos sistemas hidrogeológicos ocorrentes a fim de estabelecer um modelo conceptual hidrogeológico que serve de base ao desenvolvimento de um modelo numérico representativo para simular e prever a resposta nas fases de obra e de exploração.

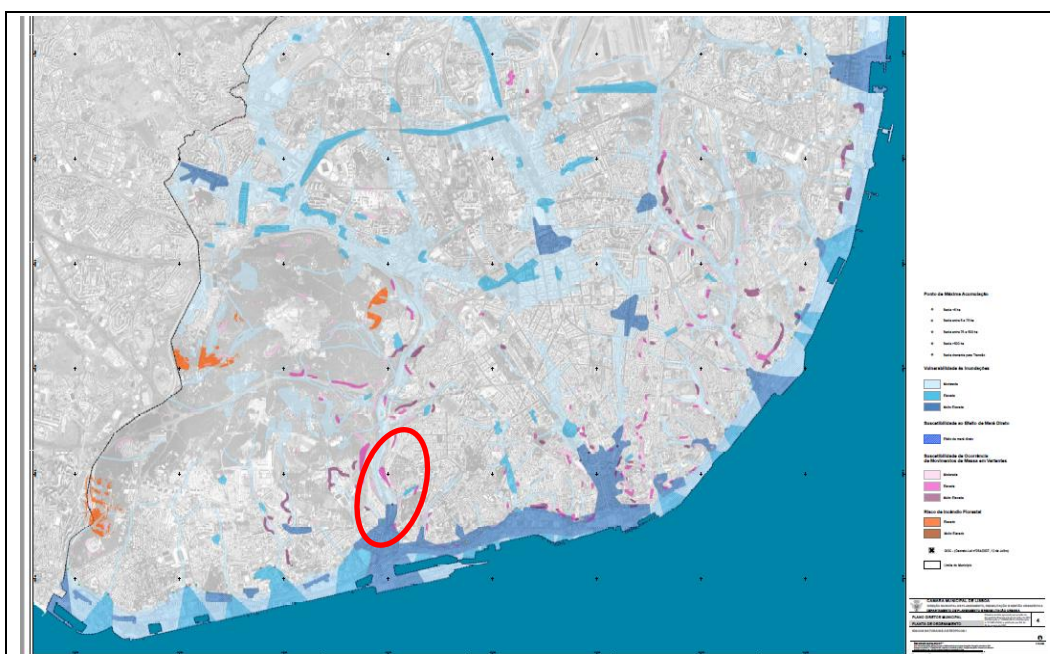


Figura 8 – Carta de riscos hidrogeológicos do Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação de Lisboa



---

## 5 DESCRIÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

Para efeitos de descrição geológico-geotécnica dos materiais atravessados na presente campanha de prospeção, no âmbito deste relatório são seguidas as principais referências internacionais, nomeadamente:

- 1) ISO 14688-1 (2017): Geotechnical investigation and testing — Identification, and classification of soil
- 2) ISO 14689 (2017): Geotechnical investigation and testing — Identification, description and classification of rock
- 3) Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM).

## 6 SONDAGENS REALIZADAS

As sondagens mecânicas e a profundidade de conclusão das mesmas foi de encontro ao definido pelo projetista.

No Quadro 5 são apresentadas as coordenadas topográficas (ERTS89) das sondagens mecânicas realizadas, bem como as profundidades atingidas em cada perfuração.

Quadro 5 – Coordenadas topográficas das sondagens mecânicas (ERTS89)

Sondagem	M (m)	P (m)	Z <sub>inicial</sub> (m)	Z <sub>final</sub> (m)	Profundidade (m)
SG35	-89822.636	-105795.042	67.213	-0.787	68.00
SG36	-89857.520	-105809.475	68.282	8.282	60.00
SG37	-89875.350	-105822.964	68.745	2.645	66.10
SG38	Ainda por realizar				
SG39	-89876.388	-105842.252	61.584	11.245	50.50
SG40	-89894.457	-105866.104	62.145	19.30	41.70
SG41	Eliminada pelo projetista				
SG42	-89817.142	-105841.585	68.412	15.412	53.00
SG43	-89855.198	-105884.772	58.357	38.857	19.50
SG43a	-89856.261	-105884.149	58.212	17.212	41.00

### 6.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Na execução das sondagens mecânicas foram utilizados os seguintes equipamentos hidráulicos de perfuração (Figura 9):

- 1) **MUSTANG 4-F1**, da **ATLAS COPCO**, equipado com um motor **Deutz BF4L 914** que desenvolve uma potência de 72,4kW às 2300rpm. A unidade de rotação, deste equipamento, possui um binário máximo de 490Nm e uma velocidade de rotação máxima de 570rpm.
- 2) **MULTIDRILL PL G**, da **FRASTE**, equipada com motor Caterpillar C2.2, que desenvolve uma potência de 55kw às 2800rpm. A unidade de rotação deste equipamento, R03D020, possui um binário máximo de 280 daNm e uma velocidade de rotação máxima de 800rpm.

A circulação de água, para limpeza e arrefecimento das ferramentas de corte, fez-se com o auxílio de um grupo moto-bomba *DITER-FMC L09*, em cada máquina, apoiado por outro grupo *HONDA GK 200*.



Figura 9 – Aspeto dos equipamentos de furação utilizados

## 6.2 AMOSTRAGEM

A amostragem realizada no decurso da prospeção pode dividir-se do seguinte modo:

- 1) *Amostragem continua* realizada com amostradores duplos tipo T2, de 86 e 101 mm de diâmetro, equipados com coroas de metal duro (widia) na furação em solos e coroas diamantadas de matriz variável na furação em rocha. As amostras resultantes foram convenientemente limpas, colocadas em caixas apropriadas com registos das profundidades associadas a cada manobra e fotografadas separadamente em cada uma das caixas
- 2) *Amostragem indeformada* nos casos em que se pretendeu amostra de melhor qualidade para a realização de ensaios laboratoriais (triaxiais, consolidação, corte direto), com amostrador de parede fina tipo Shelby devidamente referenciados com a designação do furo de sondagem e profundidade de recolha. Após a recolha, os amostradores foram enviados e armazenados no laboratório selecionado para a execução dos ensaios.

## 6.3 RESULTADOS OBTIDOS

Na sequência da campanha de prospeção na área envolvente à *Estação de Infante Santo* foram realizadas 7 sondagens mecânicas, cujos boletins individuais de sondagens são apresentados em anexo. A informação recolhida nesses elementos de prospeção revelou o seguinte dispositivo geológico, descrito do topo para a:

- 1) Depósitos de aterro heterogéneo, compostos por areias a argilas amareladas a avermelhadas (produto de alteração dos calcários – “Terra Rossa”), com cascalhos calcário branco a levemente amarelado.
- 2) Formação calcária do cenomaniano de cor branca, no topo muito fracturado com material de alteração nas fracturas de tom avermelhado. Em profundidade apresenta-se de cor branca, por vezes com aspeto cristalino com nódulos de sílex e apinhado. Apresenta-se compacto com zonas intercaladas de fracturação intensa sem presença de terra rossa. Na zona intermédia até à base da formação o maciço apresenta-se carsificado com formação de cavidades/cavernas.
- 3) Formação margosas do cenomaniano, apresenta passagem gradual e intercalada com os calcários subjacentes, dando uma tonalidade amarelo-acastanha a acinzentada aos calcários, passando a margas cinzentas-escuras a anegradadas.

Durante os trabalhos de furação, nomeadamente durante a execução da sondagem SG43 verificou-se a possibilidade de existência de cavidades cársticas de grande dimensão a partir dos 17m de profundidade, as quais atingiriam uma profundidade de cerca de 30m. Foi realizada uma nova sondagem a cerca de 3 m de distância – SG43a, onde o resultado foi o mesmo, com a ocorrência de uma cavidade entre os 17 e 30m de profundidade.

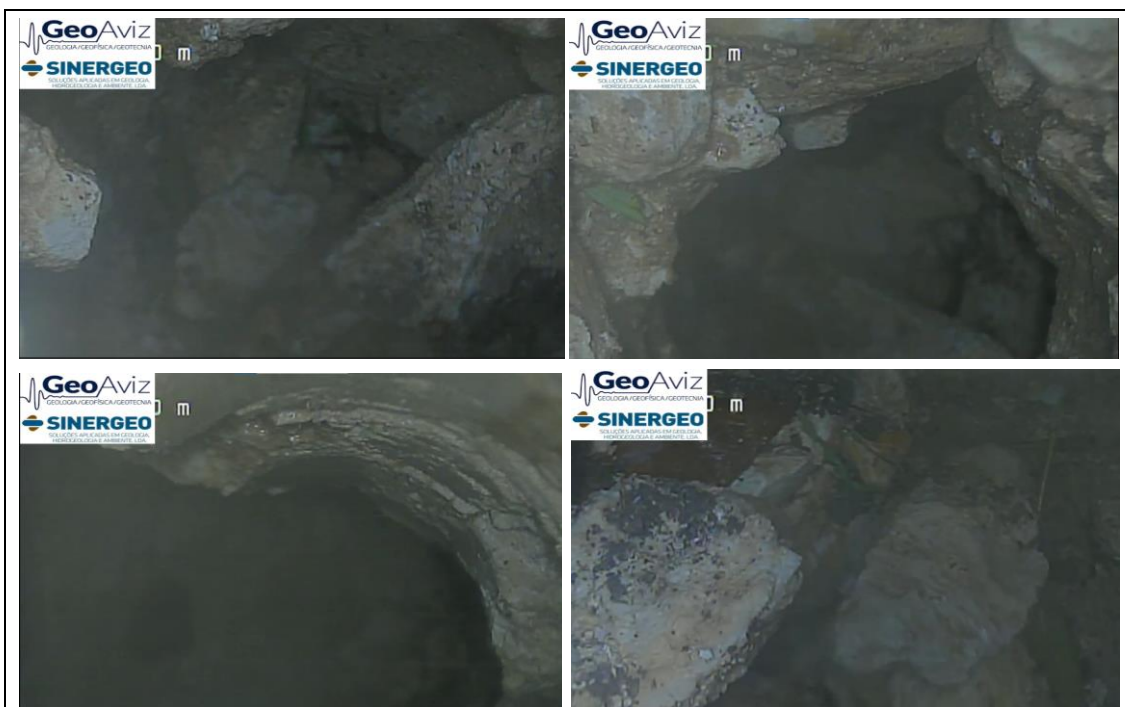
De forma a avaliar a tipologia da abertura identificada na sondagem, foi realizado um vídeo ao longo da profundidade do furo de sondagem. A realização deste vídeo não foi para além dos 19m de profundidade, uma vez que as cavidades são demasiadamente amplas impossibilitando o alinhamento do equipamento com o furo e por outro lado, é possível também que tenha ocorrido queda de blocos das respetivas cavidades cársticas, os quais impedem a continua progressão do equipamento.

No entanto é possível observar o alargamento do furo e cavidades/cavernas a partir dos 17m de profundidade. As cavidades/cavernas que se observam na vista em profundidade e na vista lateral são de diversas formas e extensões. Na Figura 10 e Figura 11 apresenta-se algumas imagens do aspeto do fundo do furo e respetivas paredes.





Figura 10 – Fotografias do vídeo na sondagem SG43a aos 17m de profundidade.



Vista em profundidade



Vista lateral - das paredes do furo

Figura 11 – Fotografias do vídeo na sondagem SG43a aos 18 a 19m de profundidade.

## 7 ENSAIOS *IN SITU*

Com o objetivo de determinar a condutividade hidráulica pontual ( $k$ ) das formações rochosas ocorrentes, foram efetuados 81 ensaios de permeabilidade Lugeon, nas diversas litologias encontradas durante a campanha de prospeção. Faz-se notar que os ensaios Lugeon têm validade muito circunscrita às imediações dos furos onde foram realizados os ensaios, pelo que poderão ocorrer desvios relativamente à situação real, tanto maiores quanto maior for o grau de heterogeneidade do maciço.

### 7.1 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE DO TIPO LUGEON

#### 7.1.1 Enquadramento

A permeabilidade constitui uma das propriedades que apresenta maior variação dentro de um maciço rochoso, uma vez que depende tanto das propriedades da matriz rochosa como das características da fracturação. O ensaio mais vulgarmente utilizado para determinar a permeabilidade deste tipo de maciços é o ensaio Lugeon, sendo realizado no interior de furos de sondagem e permitindo calcular a permeabilidade em qualquer tipo de litologia e estado de fracturação. Este ensaio foi inicialmente desenvolvido para avaliação de permeabilidades em barragens e para tratamentos de impermeabilização por injeção de caldas, tendo sido mais tarde globalmente estendido à avaliação da permeabilidade em maciços rochosos.

A realização do ensaio baseia-se na introdução de água a pressão constante, medindo-se a quantidade de água consumida num período de 10 minutos. Normalmente o ensaio é realizado em tramos de 5.0m isolados da restante sondagem por dois obturadores, ou apenas por um obturador quando se realiza no trecho final da sondagem (Figura 12). O maciço deve estar saturado até atingir a estabilização.

A pressão é aplicada em patamares sucessivos de carga e descarga de (p.ex. 500, 1000, 1500, 1000,500 kPa), mantendo-se a pressão constante durante 10 minutos em cada patamar. A unidade de medida é a unidade Lugeon (U.L.) que corresponde a uma absorção de água de 1 litro por metro de sondagem por minuto.

Os patamares de pressão de referência podem e devem ser alterados, de modo a garantir que a pressão máxima não ultrapassa o peso próprio do maciço no local de ensaio. Uma referência das pressões máximas a instalar em função da profundidade é apresentada no Quadro 6. Nestes casos, o cálculo da absorção em litros por minuto e por metro de furo deve ser extrapolado para a pressão correspondente a 1000 kPa para se obter o valor de unidades Lugeon (U.L.) correspondentes.

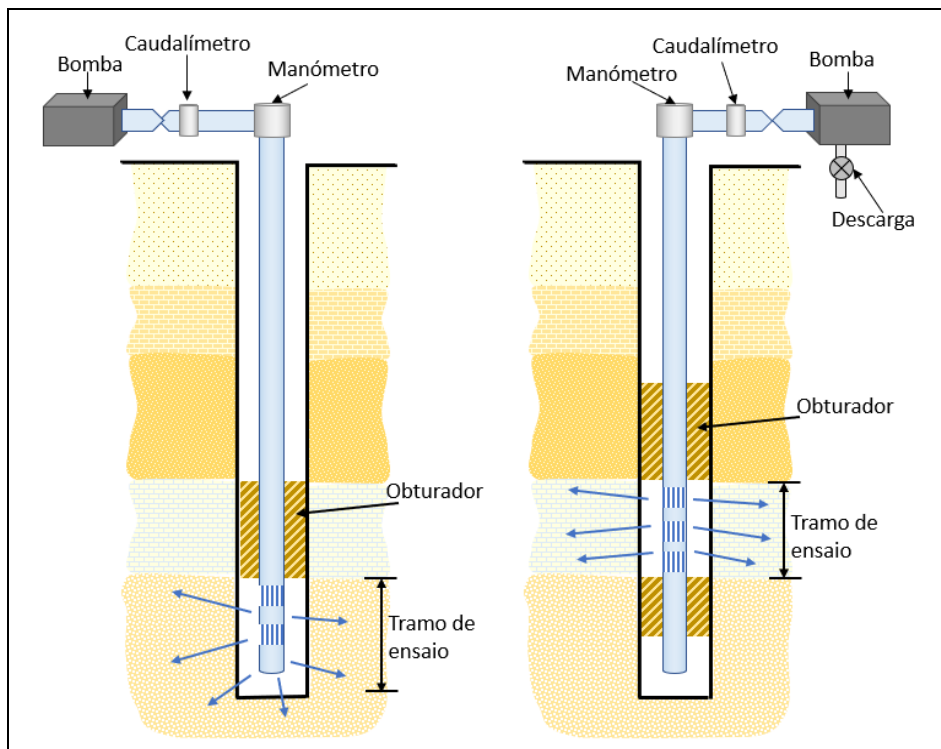


Figura 12 – Esquema representativo do ensaio Lugeon.

Quadro 6 – Pressões máximas em função da profundidade de ensaio.

Profundidade (m)	Pressão máxima (kPa)
Até 25	500
25 - 50	1000
50 - 75	1500
>75	2000

No Quadro 7 apresenta-se uma classificação dos maciços rochosos em função da permeabilidade Lugeon. A análise dos resultados obtida no conjunto dos patamares ensaiados permite ainda avaliar o comportamento do maciço mediante a pressão da água conforme indicado na Figura 13, o que tem particular interesse no estabelecimento de programas de injeção.

Quadro 7 – Classificação de maciços rochosos em função da permeabilidade



Tipo de maciço	Unidades Lugeon	Pressão (kPa)
Muito impermeável	0.0 - 1.0	1000
Praticamente impermeável	1.0 - 3.0	1000
Permeável	> 3.0	1000
	1.5 - 6.0	500
Muito permeável	> 3.0	1000
	> 6.0	500

Por outro lado, nos casos em que se verifica um escoamento laminar é possível calcular o coeficiente de permeabilidade (k) a partir deste ensaio, com base na expressão seguinte:

$$k \text{ (m/s)} = 1,67 \times 10^{-6} \times (1/c) \times (Q/Pe)$$

$$c = 2L / [\ln(2L/D)]$$

em que Q representa o caudal absorvido (l/min), Pe a pressão efetiva (MPa), c representa o coeficiente de forma, L a distância vertical entre os dois obturadores ou entre o obturador e o fundo do furo quando for utilizado apenas um (m), e D o diâmetro do furo na secção de ensaio (m).

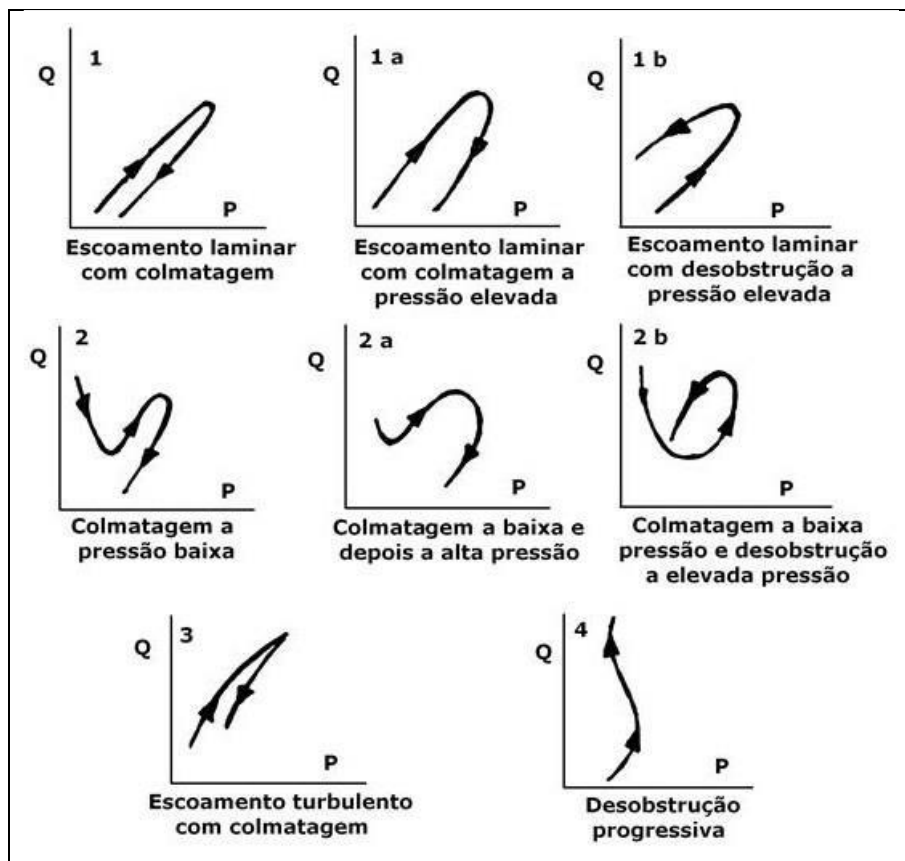


Figura 13 – Relações caudal-pressão no ensaio Lugeon

## 7.1.2 Resultados obtidos

No decurso da campanha de prospeção, foram realizados ensaios de absorção de água do tipo *Lugeon* nas formações rochosas do Cretácico, nomeadamente calcários a calcários margosos e margas a margas calcárias. Para o efeito, foi utilizado um grupo moto-bomba, de pistões, ligados a um cilindro amortecedor de forma a garantir caudais contínuos e a estabilização da pressão de injeção. Foi ainda usado um obturador pneumático simples, *BIMBAR 1-R-54*, com 1 metro de comprimento de obturação. O controlo da pressão de injeção da água foi feito por dois conjuntos de 2 manómetros, independentes, colocados à boca do furo de sondagem. A quantidade de água injetada foi medida com recurso a um contador/totalizador da *AQUAMETRO*, com uma precisão de 0,1 litros e uma capacidade até 10m<sup>3</sup>/h.

Os ensaios foram realizados em cinco patamares de pressão distintos, em trechos aproximadamente de 3 metros de comprimento, no interior da sondagem e em troços descendentes.

Durante a execução dos ensaios observou-se variabilidade de resultados, conferindo à mesma unidade geológica diferentes regimes de permeabilidade, sem que fosse possível uma ligação com o estado de fracturação e alteração do maciço. Nas situações em que o maciço apresentava ausência de entrada de água, com os patamares de pressão pré-estabelecidos, optou-se por realizar ensaios com escalões de pressão inferiores. Estes ensaios revelaram, em algumas situações, que o maciço permitia a entrada de água quando aplicadas menores escalões de pressão. Por outro lado, foram também observadas situações em que os maciços absorvem um caudal sobre pressão que depois por limpeza de fraturas e/ou aumento de abertura, o comportamento modifica para vazão total.

No Quadro 8 são apresentados os valores de permeabilidade e unidades *Lugeon* obtidos em cada troço ensaiado, os quais indicam uma predominância de permeabilidades médias a elevadas nos calcários, com valores de *k* superiores a 1.1E<sup>-06</sup> m/s e com registos de absorção total e/ou valores de UL superiores a 6. No entanto, nestes mesmos materiais é possível encontrar troços com permeabilidades baixas a muito baixas (por vezes sem qualquer absorção). Nas unidades margosas o maciço é globalmente caracterizado com baixa permeabilidade a impermeável.

Os boletins dos ensaios *Lugeon* realizados encontram-se em anexo.

Quadro 8 – Resultados do coeficiente de permeabilidade obtidos nos ensaios *Lugeon*

Sondagem	Troço ensaiado (m)	Pressões manómetros (kg/cm <sup>2</sup> )	Unidades <i>Lugeon</i> (U.L)	<i>k</i> (m/s)	Regime	Litologia
SG35	6.0 - 9.0	1; 2; 5; 2; 1	6.4	7.26E-07	Turbulento	Calcário
	9.0 - 12.0	1; 2; 5; 2; 1	3.4	3.79E-07	Wash-out	Calcário
	12.0 - 15.0	1; 2; 5; 2; 1	3.5	4.00E-07	Turbulento	Calcário
	15.0 - 18.0	1; 2; 5; 2; 1	13.6	1.54E-06	Turbulento	Calcário
	18.0 - 21.0	1; 2; 5; 2; 1	10.0	1.13E-06	Dilatação	Calcário
	21.0 - 24.0	5; 10; 15; 10; 5	7.7	8.68E-07	Turbulento	Calcário
	24.0 - 27.00	5; 10; 15; 10; 5	5.5	6.18E-07	Dilatação	Calcário
	27.0 - 30.0	5; 10; 15; 10; 5	Vazão total		Dilatação	Calcário
	30.0 - 33.0	5; 10; 15; 10; 5	2.2	2.70E-07	Laminar	Calcário
	33.0 - 36.0	5; 10; 15; 10; 5	1.3	1.63E-07	Laminar	Calcário
	36.0 - 39.0	5; 10; 15; 10; 5	0.0		Estanque	Marga
	42.0 - 45.0	5; 10; 15; 10; 5	0.0		Estanque	Marga
47.0 - 50.0	5; 10; 15; 10; 5	0.0		Estanque	Marga	
SG36	11,0-14,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Calcário

Sondagem	Troço ensaiado (m)	Pressões manómetros (kg/cm <sup>2</sup> )	Unidades Lugeon (U.L)	k (m/s)	Regime	Litologia
	14,0-17,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Calcário
	17,0-20,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Calcário
	20,0-23,0	5; 10; 15; 10; 5	Vazão total		Vazão total	Calcário
	23,0-26,0	5; 10; 15; 10; 5	Vazão total		Vazão total	Calcário
	26,0-29,0	5; 10; 15; 10; 5	Vazão total		Vazão total	Calcário
	29,0-32,0	5; 10; 15; 10; 5	6,8	7,18E-06	Dilatação	Calcário
	32,0-35,0	5; 10; 15; 10; 5	0,6	7,19E-08	Estanque	Calcário
	35,0-38,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
	38,0-41,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
	41,0-48,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
	48,0-52,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
SG37	9,0 - 12,0	1; 2; 5; 2; 1	10,0	1.13E-06	Wash-out	Calcário
	12,0 - 15,0	1; 2; 5; 2; 1	6,2	6.94E-07	Wash-out	Calcário
	15,0 - 18,0	1; 2; 5; 2; 1	34,5	3.89E-06	Dilatação	Calcário
	18,0 - 21,0	1; 2; 5; 2; 1	0,0		Estanque	Calcário
	21,0 - 24,0	1; 2; 5; 2; 1	0,0		Estanque	Calcário
	24,0 - 27,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Calcário
	27,0 - 30,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Calcário
	30,0 - 33,0	5; 10; 15; 10; 5	24,5	2.77E-06	Wash-out	Calcário
	33,0 - 36,0	5; 10; 15; 10; 5	1,8	3.17E-07	Dilatação	Calcário
	36,0 - 39,0	5; 10; 15; 10; 5	0,9	1.05E-07	Dilatação	Calcário
	39,0 - 42,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
	42,0 - 45,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
	45,0 - 48,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
50,0 - 54,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga	
SG39	17,0 - 20,0	0,5	Vazão total		Vazão total	Calcário
	20,0 - 23,0	0,5	Vazão total		Vazão total	Calcário
	23,0 - 26,0	0,5	Vazão total		Vazão total	Calcário
	26,0 - 29,0	5; 10; 15; 10; 5	2,4	2.70E-07	Dilatação/ vazão	Calcário
	29,0 - 32,0	5; 10; 15; 10; 5	Vazão total		Vazão total	Calcário
	32,0 - 35,0	5; 10; 15; 10; 5	Vazão total		Vazão total	Calcário
	35,0 - 38,0	5; 10; 15; 10; 5	Vazão total		Vazão total	Marga
	38,0 - 41,0	5; 10; 15; 10; 5	18,3	2.06E-06	Wash-out/Vazão	Marga
	41,0 - 44,0	5; 10; 15; 10; 5	9,8	1.11E-06	Wash-out/Vazão	Marga
SG40	8,0-11,0	1; 2; 5; 2; 1	7,2	8,79E-07	Wash-out /laminar	Calcário
	11,0-14,0	1; 2; 5; 2; 1	0,9	1,70E-07	Dilatação	Calcário
	14,0-17,0	1; 2; 5; 2; 1	0,6	7,03E-08	Dilatação	Calcário
	17,0-20,0	1; 2; 5; 2; 1	0,0		Estanque	Calcário
	20,0-23,0	1; 2; 5; 2; 1	0,0		Estanque	Calcário
	23,0-26,0	5; 10	vazão total		Wash-out	Calcário
	26,0-29,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Calcário
	29,0-32,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
	32,0-35,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
	35,0-38,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga

Sondagem	Troço ensaiado (m)	Pressões manómetros (kg/cm <sup>2</sup> )	Unidades Lugeon (U.L)	k (m/s)	Regime	Litologia
	38,0-41,7	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
SG42	8,0-9,0	1	vazão total		Vazão total	Marga
	11,0-12,0	1; 2; 5; 2; 1	0,0		Estanque	Calcário
	14,0-15,0	1; 2	39,6	3,31E-06	Void filling/vazão	Calcário
	17,0-18,0	1; 2; 5; 2; 1	vazão total		vazão total	Calcário
	20,0-21,0	1; 2; 5; 2; 1	20,4	1,70E-06	Turbulento	Calcário
	23,0-24,0	1; 2; 5; 2; 1	0,0		Void filling	Calcário
	26,0-27,0	5	Vazão total		Vazão total	Calcário
	29,0-30,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Calcário
SG43	6,0 - 9,0	1; 2; 5; 2; 1	4,4	4,90E-07	Turbulento	Calcário
	9,0 - 12,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Calcário
	12,0 - 15,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Calcário
	15,0 - 18,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Calcário
SG43a	6,0 - 9,0	1; 2; 5; 2; 1	1,6	1,78E-07	Turbulento	Calcário
	9,0 - 12,0	1; 2; 5; 2; 1	7,4	8,36E-07	Turbulento	Calcário
	12,0 - 15,0	1; 2; 5; 2; 1	0,7	8,00E-08	Turbulento	Calcário
	15,0 - 18,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Calcário
	18,0 - 21,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Calcário
	21,0 - 24,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Calcário
	24,0 - 27,0	1; 2; 5; 2; 1	Vazão total		Vazão total	Marga
	28,5 - 30,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque/dilatação	Marga
	30,0 - 33,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga
	33,0 - 36,0	5; 10; 15; 10; 5	0,0		Estanque	Marga

## 7.2 INSTALAÇÃO DE PIEZÓMETROS

Para controlo dos níveis piezométricos foram instalados no interior de alguns furos de sondagem, piezómetros em PVC rígido de 1" de diâmetro, montados em séries telescópicas de comprimento variável. Para além destes foram ainda instalados piezómetros com ponteira do tipo LNEC e piezómetros elétricos. As câmaras de tomada de pressão dos piezómetros foram definidas com vista a garantir o conhecimento dos níveis de água no seio de cada uma das unidades geológicas interessadas pela campanha. Os furos onde foram instalados os piezómetros foram perfurados apenas com água clara sem adição de adjuvantes para arrefecimento das ferramentas de corte e devidamente limpos no final.

No caso dos piezómetros simples, introduziu-se o tubo piezométrico previamente crepinado à profundidade definida, depois o espaço anelar foi preenchido por um pré filtro drenante constituído por areão calibrado até ao topo da câmara de captação, seguido de uma selagem em bentonite de forma a evitar contaminação de águas de níveis superiores. O restante espaço anelar foi preenchido por material de furação ou areão, e no final o furo foi selado com calda de cimento e uma tampa de piezómetro (Figura 14).

Os piezómetros duplos, foram, tal como os simples, previamente crepinados às profundidades definidas, depois, foi introduzido o primeiro tubo (com maior comprimento) no furo de sondagem, foi preenchido o espaço anelar com recurso a um pré-filtro drenante, até ao topo da 1ª câmara piezométrica, e depois foi selado com bentonite. O espaço anelar entre o topo da primeira câmara

e a base da segunda, foi preenchido com bentonite. Posteriormente, foi adicionado o segundo tubo até à profundidade desejada, realizado o preenchimento do espaço anelar com areão calibrado até ao topo da câmara piezométrica, e selado com bentonite. Por último foi preenchido o restante espaço com material de furação e/ou areão, e no final o piezómetro foi selado com calda de cimento e uma tampa de piezómetro.

Nos boletins de sondagem pode consultar-se o posicionamento dos tubos piezométricos e os respetivos níveis hidrostáticos, e no Quadro 13 podem consultar-se os tipos de piezómetros instalados bem como as litologias correspondentes à secção de tubo crepinado.

Quadro 9 – Resumo da tipologia de piezómetro por formação

Referência do piezómetro	Tipo de piezómetro	Câmara de pressão		Tipo de tubo de revestimento e tubo filtro	Estratigrafia	Litologia
		Topo (m)	Base (m)			
SG35	Simple	25.00	39.00	PVC diam 1"	Cretácico	Calcário
SG36	Duplo	0.00	15.00	PVC diam 1"	Recente/ Cretácico	Argila/Calcario
		45.00	60.00	PVC diam 1"	Cretácico	Marga
SG37	Simple	15.00	35.00	PVC diam 1"	Cretácico	Calcário
SG39	Simple	35.00	50.50	PVC diam 1"	Cretácico	Marga
SG40	Simple	18.00	28.00	PVC diam 1"	Cretácico	Calcário
SG42	Duplo	0.00	8.00	PVC diam 1"	Recente/ Cretácico	Argila/calcário
		42.00	52.00	PVC diam 1"	Cretácico	Marga

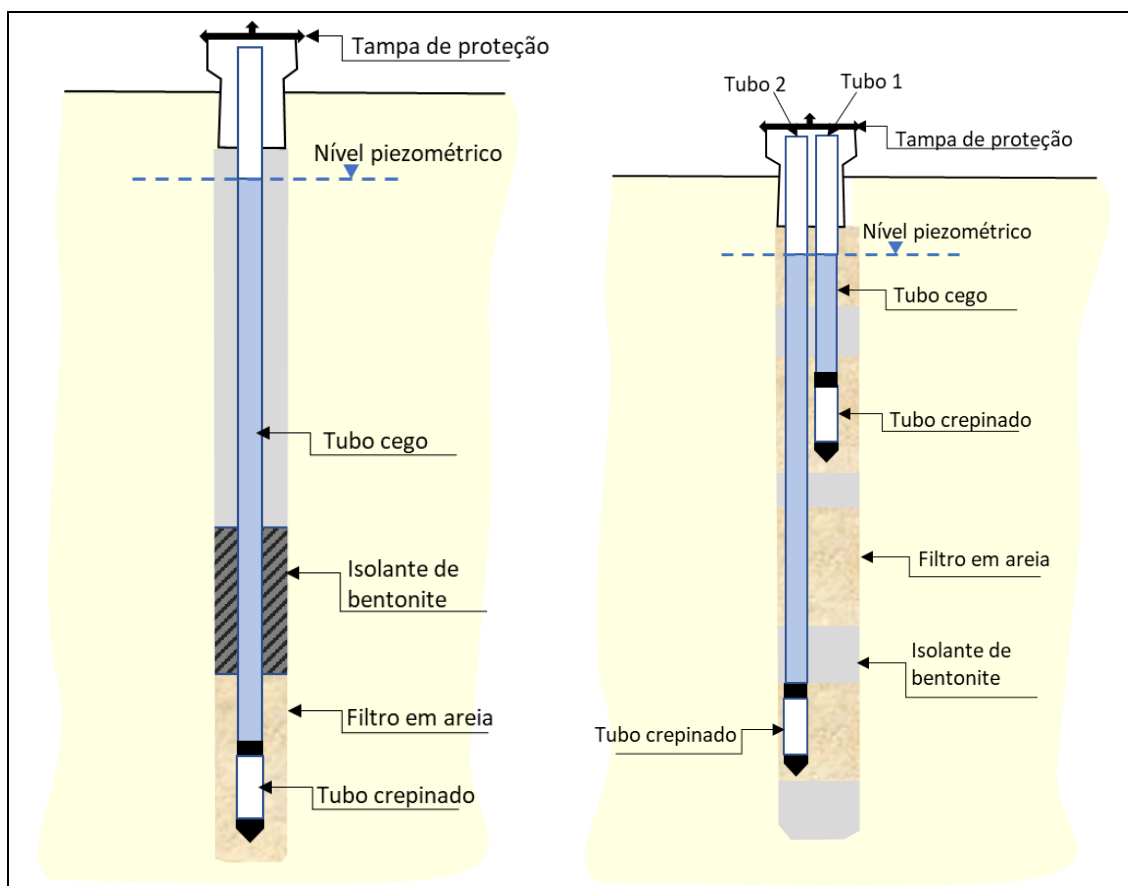


Figura 14- Esquema de piezómetro

O nível da água no interior dos piezómetros é medido com o auxílio de uma sonda piezométrica SERTCO, no decurso e após a conclusão de todos os trabalhos de campo. No Quadro 10 é indicada a profundidade e a cota do nível freático medido nos piezómetros.

Face aos valores obtidos nas leituras piezométricas executadas verifica-se que o maciço calcário evidencia níveis com cotas entre +35 e +38m e na unidade de margas, que se situa a maior profundidade, as cotas de níveis de água apresentam-se entre +17 e +23 m.

Conjugando os níveis piezométricos com os ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon, é possível deduzir que o maciço calcário se apresenta geralmente como permeável a muito permeável e as margas como de baixa permeabilidade no topo da camada que depois passa a impermeável a cotas inferiores.

Quadro 10 – Profundidades dos níveis de água no interior dos piezómetros (m).

Piezómetro / Data	SG35		SG36				SG37	
	prof	cota	Superficial		Profundo		prof	cota
			prof	cota	prof	cota		
02/08/2024								
09/09/2024								
10/09/2024								
11/09/2024								
18/09/2024	35.92	31.29					31.55	37.19
18/09/2024* purga								
18/09/2024* 4h pós purga								
09/10/2024			seco	seco	45.45	22.83	30.65	38.09

Piezómetro / Data	SG39		SG40		SG42			
	prof	cota	prof	cota	Superficial		Profundo	
					prof	cota	prof	cota
28/02/2022								
24/03/2022								
28/03/2022								
02/08/2024								
09/09/2024								
10/09/2024								
11/09/2024	41.24	20.34						
18/09/2024	42.30	19.28			seco	seco	40.70	17.45
18/09/2024* purga	45.05	16.53						
18/09/2024	44.26	17.32						
09/10/2024	41.50	20.08	26.00	36.15	seco	Seco	40.92	17.23



## 1. ZONAMENTO HIDROGEOLÓGICO INTERPRETATIVO

Face às especificidades do presente trabalho no contexto do movimento da água nos terrenos, procedeu-se ao estabelecimento de um modelo hidrogeológico conceptual, traduzido pelo respetivo zonamento. Os resultados obtidos à data permitiram individualizar **6 horizontes hidrogeológicos ( $H_x$ )**, com base nos seguintes critérios:

- 1) Individualização de primeira ordem – definida de acordo com as unidades geológicas presentes.
- 2) Individualização de segunda ordem – definida de acordo com as unidades lugeon e/ou os coeficientes de permeabilidade obtidos nos ensaios.

Para cada horizonte hidrogeológico são estabelecidos os limites de variação das **unidades de permeabilidade** (Quadro 11).

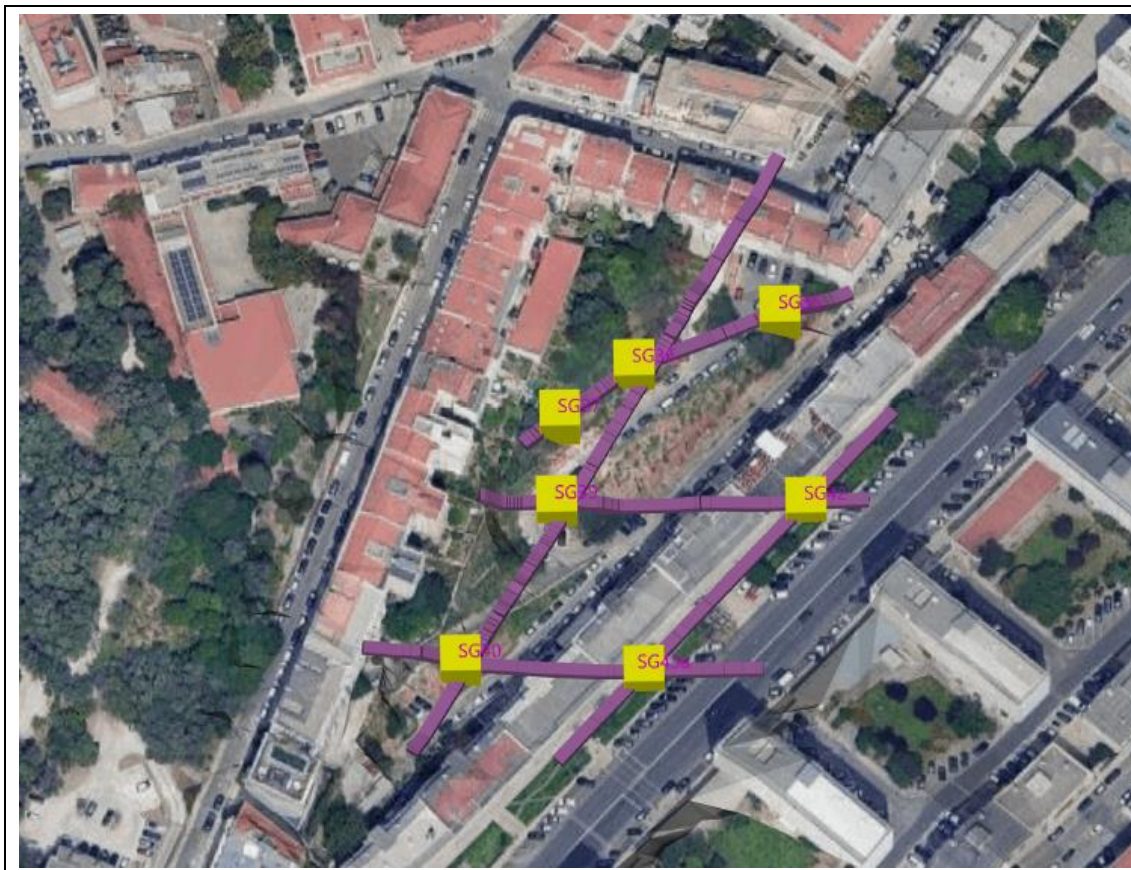
Quadro 11 – Zonas Hidrogeológicas e respetiva parametrização

Zonas HidroG.	Formações	Unidade de permeabilidade k (m/s)	
		Unidade Lugeon	Coefficiente de permeabilidade k (m/s)
H <sub>M1</sub>	Margas a margas calcárias	0	--
H <sub>M2</sub>	Margas a margas calcárias	9-20	2.1E <sup>-06</sup> a 1.1E <sup>-06</sup>
H <sub>M3</sub>	Margas a margas calcárias	Vazão	--
H <sub>C1</sub>	Calcários a calcários margosos	0-1	8.0E <sup>-08</sup> a 7.0E <sup>-08</sup>
H <sub>C2</sub>	Calcários a calcários margosos	1-6	6.2E <sup>-07</sup> a 1.6E <sup>-07</sup>
H <sub>C3</sub>	Calcários a calcários margosos	6-Vazão	7.2E <sup>-07</sup> a vazão

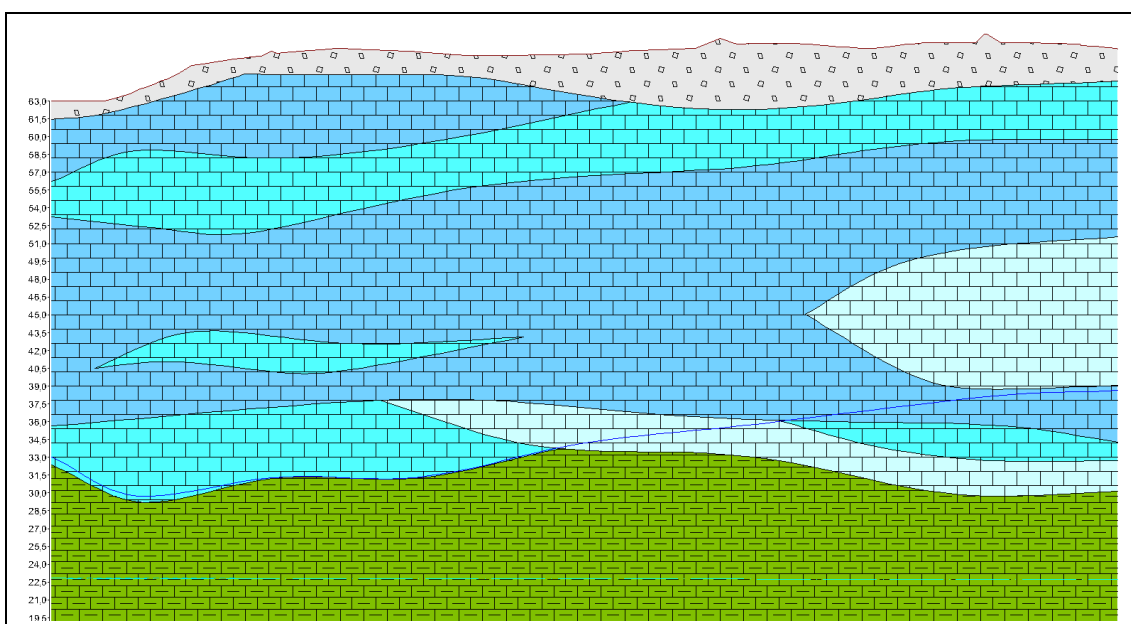
Zonas HidroG. – Zonas hidrogeológicas

O zonamento hidrogeológico foi realizado segundo 3 perfis entre sondagens e transversais ao alinhamento do túnel, um perfil longitudinal sobre o acesso à estação e um perfil segundo o alinhamento do traçado onde as sondagens nas imediações foram projetadas para este alinhamento. Na Figura 15 apresenta-se a planta de localização dos perfis realizados.

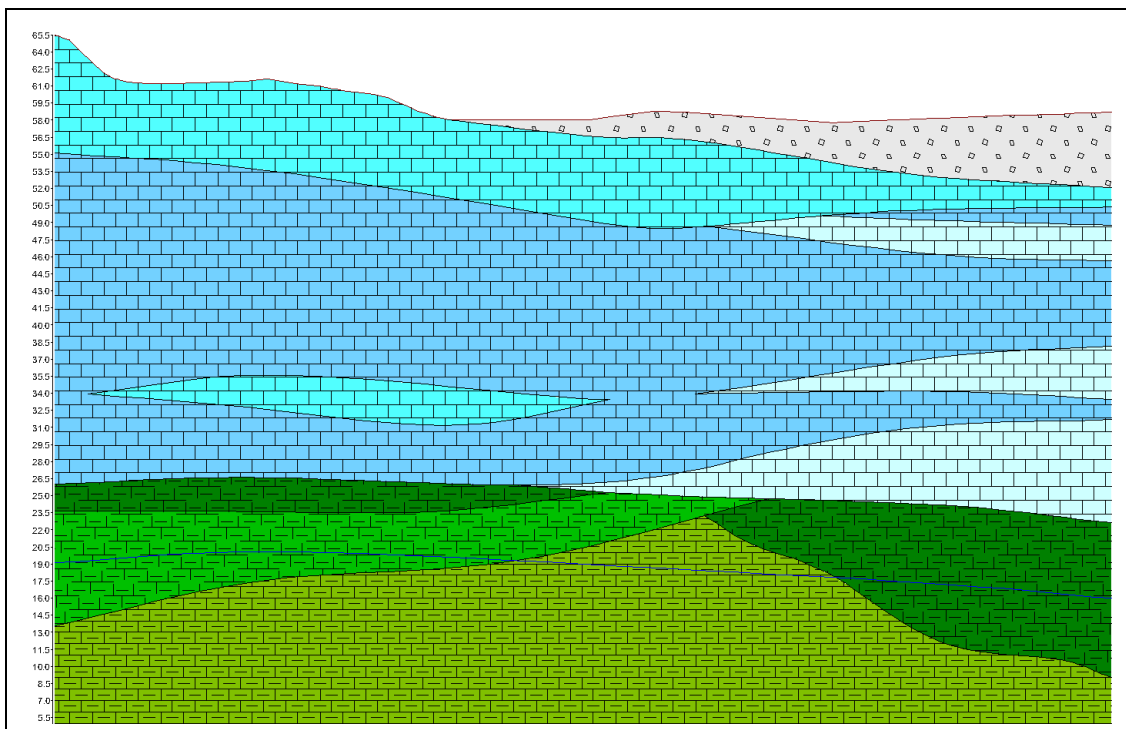




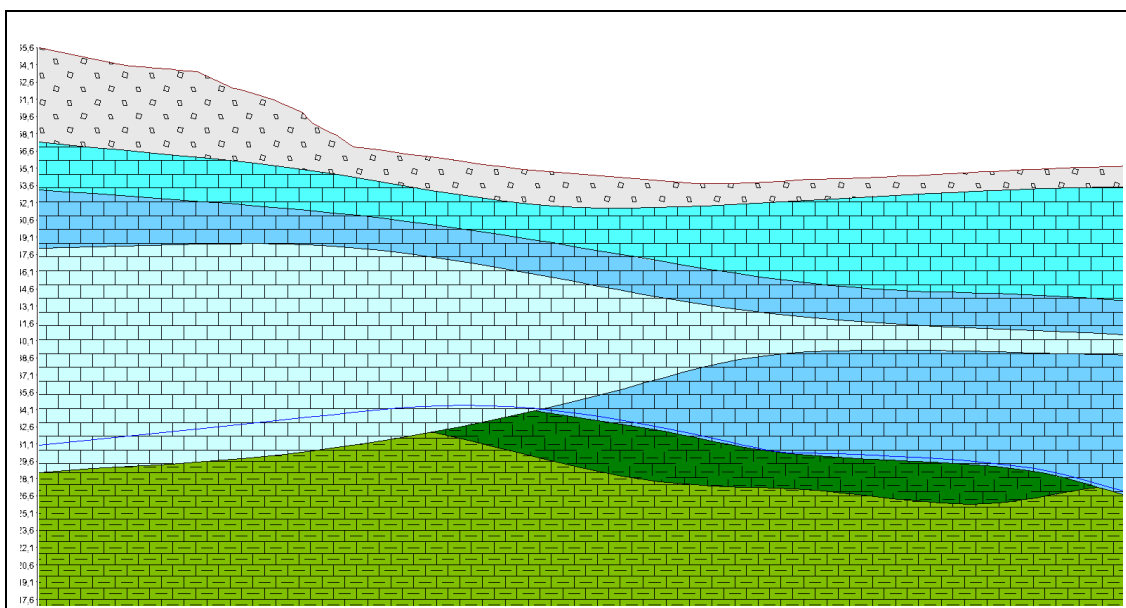
**Figura 15** – Planta de localização dos perfis



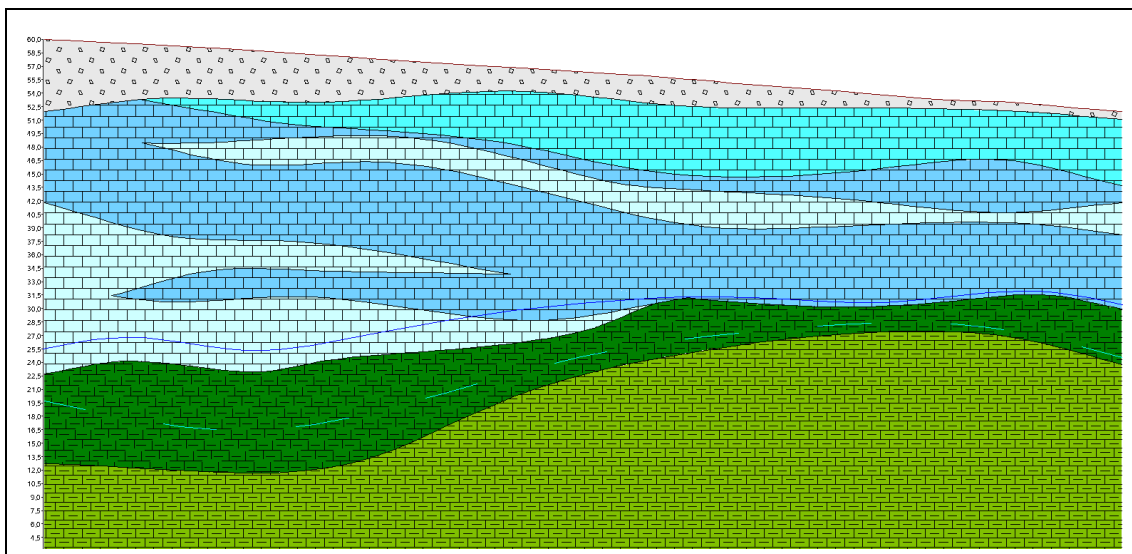
**Figura 16** – Perfil interpretativo hidrogeológico SG37-SG36-SG35



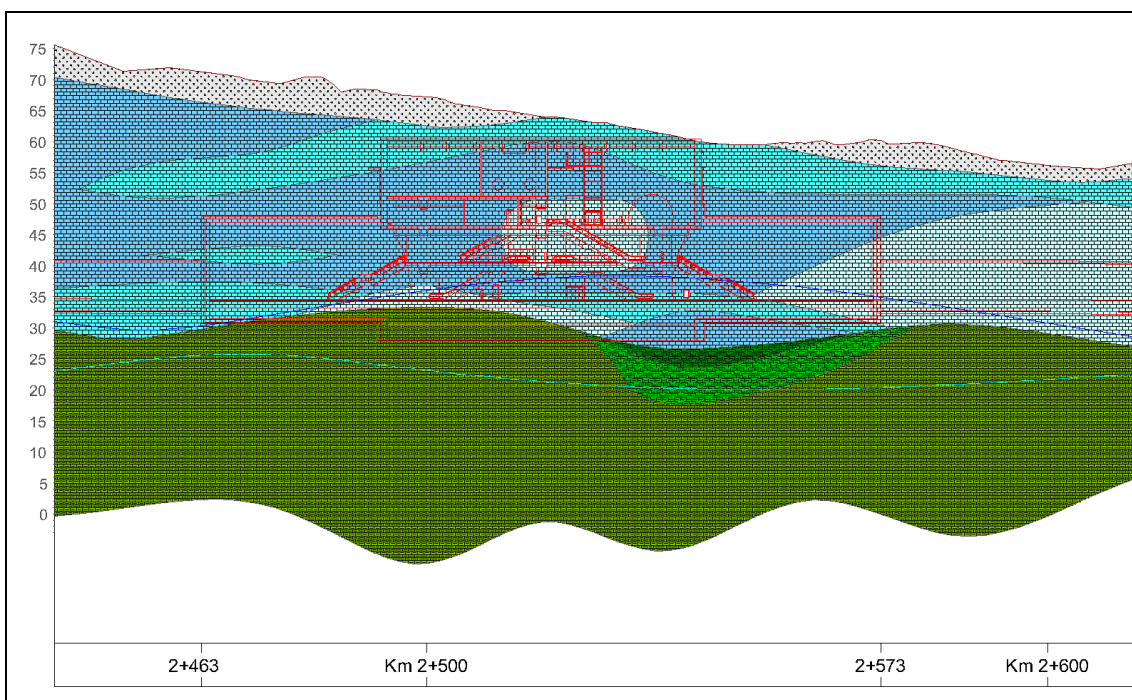
**Figura 17** – Perfil interpretativo hidrogeológico SG39-SG42



**Figura 18** – Perfil interpretativo hidrogeológico SG40-SG43a



**Figura 19** – Perfil interpretativo hidrogeológico SG3a-SG42



**Figura 20** – Perfil interpretativo hidrogeológico alinhamento do traçado.

O zonamento interpretativo hidrogeológico indica que a base da estação assentará na interface da unidade calcária com a unidade margosa, geralmente de baixa permeabilidade. A unidade calcária apresenta-se com permeabilidades muito variáveis o que evidencia a grande heterogeneidade da compartimentação do maciço, mas geralmente com características de média a alta permeabilidade.

## 2. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS

A realização do prolongamento da linha Vermelha do metropolitano de Lisboa, entre São Sebastião e Alcântara pode eventualmente introduzir uma barreira física com impactes ao regime hidrogeológico atual. A conjugação da orografia, tipologia do traçado e geologia indicou duas zonas de maior probabilidade de risco hidrogeológico, nomeadamente a Zona de Alcântara e Estação de Infante Santo. A zona de Alcântara foi atribuída a análise e o estudo ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e a Estação de Infante Santo ficou englobada no presente projeto, sendo objeto principal deste documento.

Atualmente, ainda está a decorrer a campanha de prospeção definida pelo projetista, contudo apresenta-se, neste documento, a informação já disponível. Com esta informação foi realizada uma avaliação preliminar, que posteriormente deverá ser complementada com a restante informação e atualizado o respetivo modelo hidrogeológico conceptual.

A zona em análise é caracterizada por forte impermeabilização do lado Este, pela Avenida Infante Santo e toda a urbanização envolvente. Do lado Oeste existe o parque da Calçada das Necessidade, uma grande área de possível recarga de aquíferos.

Orograficamente a Avenida de Infante Santo poderá eventualmente configurar uma linha de água enterrada, contudo este pressuposto não foi possível de comprovar, uma vez que as sondagens realizadas se localizam todas na margem direita, desta possível linha de água, e só intersetaram formações do Cretácico.

A campanha de prospeção identifica na sua globalidade um maciço calcário aflorante, sendo os primeiros metros caracterizados por uma argila vermelha que por vezes envolve cascalho calcário, até cerca de 1.0 a 6.0m de profundidade. O calcário desenvolve-se em profundidade, inicialmente com tons rosa e com argila vermelha nas fraturas, passando a calcário branco a amarelado, sem preenchimento nas fraturas de argila vermelha, mas por vezes intensamente fraturado. Verifica-se ainda a ocorrência de nódulos com sílex e intercalações de passagens margosas. Algumas sondagens evidenciaram a existência de cavidades e cavernas características neste tipo de maciço rochoso, o que justifica a perda de água durante os trabalhos de furação, bem como vazão total nos ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon.

As unidades margosas apresentam-se a partir das profundidades 30 a 40m, geralmente como materiais de baixa permeabilidade no topo da unidade e a maiores profundidades como impermeáveis.

A colocação de piezómetros nas diferentes unidades geológicas permitiu observar a existência de dois níveis de água. Nos calcários o nível de água apresenta-se pela profundidade de 26 a 35m (cota +31 a +37m) correspondendo à base da camada. As margas apresentam um nível de água a 40 a 45m de profundidades (cota +17 a +22), perto do topo da camada.

A monitorização atual evidenciou, nestes primeiros períodos de precipitação, muito ligeiras subidas dos níveis piezométricos. Contudo existe a possibilidade, principalmente na unidade calcária, de os níveis de água aumentarem, uma vez que as cavidades permitem uma rápida e volumosa circulação de água durante a época das chuvas. Este pressuposto só será verificado com a evolução dos resultados da monitorização durante e após a época das chuvas.

A construção do túnel de prolongamento da linha vermelha e da Estação Infante Santo pode eventualmente introduzir uma barreira impermeável. Contudo, o alinhamento do traçado é na sua generalidade coincidente com o mais provável sentido de circulação de água, ou seja, em direção à principal linha de água (o Rio Tejo), exibindo assim um potencial de interferência menor. Na zona do túnel, a prospeção identifica material geralmente permeável acima e a baixo deste. No

caso da estação, esta constitui uma barreira impermeável a toda a altura, que indica que para ocorrer risco de inundação o nível de água teria de subir cerca de 25 a 30m, o que é pouco provável. Por outro lado, em todas as sondagens foram óbitos resultados nos ensaios de permeabilidade do tipo lugeon, na unidade calcária, com classificação de vazão total, ou seja, existe um forte indício de cavidades, galerias, túneis por onde circula livremente água, o que torna mais difícil a subida de níveis de água com uma ordem de grandeza desta magnitude. O aquífero ocorrente nas margas geralmente apresenta uma permeabilidade inexistente a baixa, caracterizando um aquífero/aquífero, cujo nível piezométrico se apresenta abaixo da cota de base da estação e do túnel.

Ainda não existem resultados que permitam afirmar que a zona de recarga do parque da Calçada das Necessidades é ou não um grande alimentador dos aquíferos detetados na prospeção da Estação de Infante Santo. Mas dada a localização do parque e a estação assume-se, mais uma vez, que o sentido do fluxo de água será sempre preferencial no sentido do Rio Tejo, o que promove uma circulação para Sul e não no sentido Nordeste a Este (sentido para a estação / túnel).

Por outro lado, obra de arte da estação inclui um acesso com desenvolvimento transversal ao alinhamento do túnel. Esta configuração promove a construção de uma estrutura em U que poderá, em altura de subida de níveis de água (época das chuvas) funcionar como uma barragem (uma vez que vai criar paredes impermeáveis em três direções) e promover a inundação dos terrenos aí contidos. Caso se chegue a essa conclusão serão previstas medidas mitigadoras.

As indicações aqui apresentadas terão de ser confirmadas com a conclusão da campanha de prospeção e com modelo numérico.

