



**FLORIS MARVILA**

**ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO:**

**MARVILA EXECUTION UNIT**

**MARVILA, LISBOA**

**16 DE JANEIRO DE 2023**



A REDACÇÃO DESTE DOCUMENTO SEGUE A ORTOGRAFIA ANTERIOR AO «NOVO ACORDO ORTOGRÁFICO»

## Conteúdo

1	Introdução .....	4
2	Enquadramento Geológico .....	5
2.1	Litoestratigrafia.....	5
2.1.1	Geologia local.....	6
2.2	Tectónica.....	7
2.3	Geomorfologia e Hidrogeologia.....	8
2.4	Sismicidade .....	11
3	Trabalhos Realizados .....	13
3.1	Sondagens Mecânicas.....	13
3.2	Ensaio Laboratoriais .....	17
3.2.1	Ensaio de Caracterização Geológica-Geotécnica .....	17
3.2.2	Ensaio Químicos .....	19
3.3	Instalação de Piezómetros.....	20
3.4	Ensaio de Permeabilidade .....	22
3.4.1	Ensaio de Permeabilidade do tipo Lefranc.....	22
3.4.2	Ensaio de Permeabilidade do tipo <i>Slug Test</i> .....	24
3.5	Cartografia Geológica de Taludes .....	26
3.6	Perfis de Resistividade Eléctrica .....	27
3.6.1	Metodologia de aquisição de dados.....	28
3.6.2	Processamento de dados.....	31
3.6.3	Emparelhamento 3D.....	32
4	Condições Geológicas e Geotécnicas.....	34
4.1	Modelo Geotécnico .....	34
4.2	Análise Estatística .....	40
4.3	Condições de fundação.....	40
4.4	Escavabilidade e Contenção .....	43
	Referências Bibliográficas.....	45
	Anexos .....	46
	ANEXO I – Boletins de Sondagens .....	47
	ANEXO II – Perfis Interpretativos e Planta de Localização dos Trabalhos .....	48
	ANEXO III – Boletins de Ensaio de Caracterização Geológica-Geotécnica .....	49
	ANEXO IV – Boletins de Ensaio Químicos em Águas .....	50
	ANEXO V – Boletins de Ensaio Químicos em Solos .....	51
	ANEXO VI – Boletins de Ensaio de Permeabilidade do tipo Lefranc .....	52
	ANEXO VII – Boletins de Ensaio de Permeabilidade do tipo <i>Slug Test</i> .....	53
	ANEXO VIII – Boletins de Cartografia Geológica de Taludes .....	54
	ANEXO IX – Boletins de Resistividade Eléctrica .....	55

## 1 Introdução

O presente estudo foi realizado por solicitação da Floris Marvila, e visa a avaliação das características geológicas e geotécnicas de um terreno, no qual se pretende construir o empreendimento denominado por Marvila Execution Unit. Trata-se de um empreendimento ainda em fase preliminar, pelo que o estudo agora realizado, numa área de intervenção de cerca de 29ha, deverá ser complementado com campanhas dirigidas para zonas específicas e de acordo com o projecto pretendido.

A localização do referido terreno encontra-se aproximadamente assinalado pelo polígono vermelho na Figura I.



Figura I – Localização da área em estudo em imagem aérea (Google Earth™).

Neste documento apresentam-se e interpretam-se os resultados dos trabalhos de prospecção e investigação efectuados, bem como a informação obtida da consulta de elementos bibliográficos da especialidade existentes sobre o local. Descrevem-se os dados geológicos e geotécnicos relevantes, definem-se as zonas geotécnicas e tecem-se considerações acerca das condições de fundação, contenção e escavabilidade das formações ocorrentes.

## 2 Enquadramento Geológico

### 2.1 Litoestratigrafia

De acordo com a Folha 34-D (Lisboa) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, na área em estudo afloram as unidades designadas por “Areias de Vale de Chelas –  $M_{VC} (M_{Vb})$ ”, “Calcários das Quintas das Conchas –  $M_{QC} (M_{Vc})$ ”, “Argilas de Xabregas –  $M_{Xa} (M_{Via})$ ” e “Grés dos Grilos –  $M_{Gr} (M_{Vib})$ ” datadas do Miocénico.

De acordo com a notícia explicativa da Folha acima mencionada, as unidades cartografadas pertencem a 3 sequências deposicionais distintas:

- Sequência deposicional L1 – “Areias de Vale de Chelas –  $M_{VC} (M_{Vb})$ ”;
- Sequência deposicional S1 – “Calcários das Quintas das Conchas –  $M_{QC} (M_{Vc})$ ” e “Argilas de Xabregas –  $M_{Xa} (M_{Via})$ ”;
- Sequência deposicional S2 – “Grés dos Grilos –  $M_{Gr} (M_{Vib})$ ”.

As “Areias de Vale de Chelas –  $M_{VC} (M_{Vb})$ ” são compostas por areias feldspáticas, fluviais, incoerentes ou fracamente cimentadas, às vezes grosseiras e compactas, com estratificação cruzada – areias inferiores da Quinta da Silvéria, que correspondem a episódio de máximo regressivo. Em posição superior ocorrem areias dunares. As mesmas correspondem à fase regressiva e às camadas de nível estático baixo da sequência deposicional L1.

Os “Calcários das Quintas das Conchas –  $M_{QC} (M_{Vc})$ ” representam o início de novo ciclo eustático. Assentam em descontinuidade sobre as “Areias de Vale de Chelas”, sendo representadas por biocalcarenitos grosseiros com concentrações de valvas de ostras, seguidos de biocalcarenitos alternando com argilas siltosas.

No que às “Argilas de Xabregas –  $M_{Xa} (M_{Via})$ ” diz respeito, trata-se de um conjunto silto-argiloso, às vezes com areias finas, de cor cinzento-azulado. Em regra, são muito ricos em moluscos, de foraminíferos e de ostracodos. Representam os sedimentos de ambientes mais profundos do Neogénico da Bacia do Baixo Tejo. Correspondem aos depósitos transgressivos e de nível alto da sequência deposicional S1, e representam a maior transgressão de todo o Miocénico.

Relativamente aos “Grés dos Grilos –  $M_{Gr}$  ( $M_{Vib}$ )” são constituídos por biocalcarenitos amareladas com fragmentos rolados de moluscos, a que sucedem arenitos grosseiros, de cor amarelo-torrado, com moluscos (principalmente *Ostrea crassissima*) e equinodermes. Esta unidade tem uma espessura total de cerca de 14 m, dos quais cerca de 5 basais são incluídos na sequência deposicional S1.

A Figura II mostra a localização aproximada da área em estudo assinalada por uma elipse vermelha, em extracto da Folha 34-D (Lisboa) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 e extracto da respectiva legenda.



Figura II – Localização aproximada da área em estudo assinalada por uma circunferência vermelha, em extracto da Carta Geológica de Portugal, Folha 34-D (Lisboa), à escala 1:50 000 e extracto da respectiva legenda (sem escala).

### 2.1.1 Geologia local

De acordo com os trabalhos de prospecção efectuados na área em estudo ocorre a seguinte sequência litoestratigráfica do topo para a base:

- Aterros de granulometria arenosa a argilosa de cor castanha clara a escura, por vezes, cinzenta, com presença de fragmentos líticos e restos de betão da granulometria do seixo miúdo ao bloco, alvenaria, plástico, aço e raízes (lixo);
- Areia fina de cor castanha clara resultante da alteração dos calcarenitos e biocalcarenitos;
- Calcarenito e biocalcarenito de cor castanha clara medianamente alterado ( $W_3$ ), por vezes muito alterado a decomposto ( $W_{4-5}$ );
- Argila siltosa de cor castanha clara com presença de fósseis;

- Argila de cor cinzenta clara com presença de fósseis;
- Biocalcarenito de cor castanha clara com intercalações silto-argilosas (W<sub>5</sub>);
- Areia siltosa fina a média de cor castanha clara com presença de fósseis.

## 2.2 Tectónica

A notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 (região de Lisboa), Folha 34-D, refere que a área por ela abrangida se enquadra maioritariamente na bacia do Baixo Tejo, vista como parte integrante da bacia do Tejo-Sado, exceptuando uma pequena área em Lisboa, onde afloram 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 as rochas ígneas do Complexo Vulcânico de Lisboa.

A Bacia Lusitânica corresponde a uma estrutura subsidente complexa, alongada na direcção N-S, gerada por extensão litosférica associada à abertura do Atlântico Norte durante o Mesozóico. Desenvolveu-se em três episódios principais de rifting e encontra-se segmentada pela zona de falha da Nazaré que separa o sector N e S. A passagem do Cretácico inferior ao superior é marcada por uma transgressão de origem eustática a que se sobrepõe subsidência regional que se manifesta, entre outras, pela sedimentação dos calcários da Formação da Bica.

Quanto à Bacia do Baixo Tejo, a sua evolução geodinâmica verificada ao longo de diferentes períodos geológicos foi responsável pelo seu desenvolvimento geológico regional.

Segundo a mesma notícia, a individualização da bacia do Tejo-Sado resultou de um fenómeno compressivo de direcção N-S originado pela convergência entre a Ibérica e a Eurásia.

A subsidência da bacia do Baixo Tejo resultou de um abatimento entre falhas provocado por uma tracção secundária desenvolvida na dependência de uma compressão orientada N-S, que se terá manifestado durante o Eocénico Superior e Oligocénico.

O regime de subsidência da bacia do Baixo Tejo acentuou-se durante o Miocénico, criando um contexto transgressivo. A bacia evoluiu como uma depressão tectónica de contorno

aproximadamente rectangular e alongada ao longo da direcção NE-SW, sendo a subsidência controlada por falhas com particular incidência durante o Miocénico.

As unidades Cenozóicas localizadas no seu interior encontram-se geralmente sub-horizontais a ligeiramente inclinadas podendo estar perturbadas por acidentes tectónicos.

Os principais acidentes tectónicos que se podem encontrar na proximidade da área em estudo podem ser divididos pelo tipo de deformação; dúctil ou frágil. Na região de Lisboa podem ser encontradas duas direcções principais de deformação dúctil; dobramentos de eixo aproximadamente E-W que afectam as formações de idade ante-Pliocénica e um monoclinial de direcção aproximada N-S na área E de Lisboa.

Nesta região também ocorrem diversas falhas com diferentes direcções como resultado de comportamento plástico, de onde se destacam a:

- Falha do “Gargalo do Tejo”;
- Zona de falha Pinhal Novo-Alcochete;
- Prolongamento meridional da zona de falha de Vila Franca de Xira.

Localmente, na área em estudo e, de acordo com a cartografia geológica, as unidades litoestratigráficas intersectadas apresentam uma direcção preferencial de inclinação variando entre o sentido ENE e ESSE. As inclinações representadas são modestas, estando em torno dos 7°.

### 2.3 Geomorfologia e Hidrogeologia

Com base na cartografia topográfica disponível, a zona onde se insere a área em estudo encontra-se numa que, dada a sua extensão apresenta variações de cota significativas, mas declives relativamente suaves, com cotas que deverão estar em todo dos 20-50m, o que corrobora o levantamento topográfico fornecido pelo cliente.

A localização do local de estudo encontra-se representada na Figura III sob a forma de uma elipse vermelha inserida num excerto da carta topográfica nº 431, Lisboa, à escala 1:25 000 do IGeoE.



Figura III - Localização aproximada da área de estudo em extracto da carta topográfica nº 431, Lisboa, à escala 1:25 000, do IGeoE (sem escala).

As condições hidrogeológicas de uma dada região resultam de uma complexa interacção entre a litologia, estrutura geológica e tectónica, que permite ou impede a circulação de água. Contudo este equilíbrio sensível do meio hidrogeológico poderá ser afectado por intervenções antrópicas que levem a uma modificação das características hidrogeológicas e estruturais dos meios envolventes.

Na área em estudo, superficialmente ocorrem aterros de granulometria arenosa a argilosa de cor castanha clara a escura, por vezes, cinzenta com fragmentos líticos e restos de betão da granulometria do seixo miúdo ao bloco, alvenaria, plástico, aço e raízes (lixo), incorporados. Dado que os materiais intersectados apresentam um leque elevado de granulometrias é expectável que zonas com predominância de material argiloso funcionem como uma barreira impermeável à infiltração e circulação de água. Por outro lado, em zonas com presença de materiais mais arenosos, materiais descomprimidos ou com presença de granulometrias mais grosseiras a permeabilidade pode ser considerada como moderada. A existência de zonas de materiais de aterro simplesmente despejados poderá ter dado origem a estruturas e/ou vazios que funcionem actualmente com elementos de retenção/acumulação de água e que podem naturalmente influenciar os fluxos de água.

Subjacente àqueles ocorre um horizonte de natureza rochosa, a formação de Grés de Grilos -  $M_{Gr}$  ( $M_{Vib}$ ), onde a gama de permeabilidades nestes materiais poderá ser bastante ampla. A circulação de água deverá ocorrer principalmente de duas formas:

- Através da porosidade intrínseca, que dado o carácter arenoso deverá ser a predominante (permeabilidade primária) e;
- Através de redes de descontinuidades - cavidades, fracturas, estratificação (permeabilidade secundária).

No que concerne às Argilas de Xabregas –  $M_{Xa}$  ( $M_{Via}$ ), devido a ser constituída predominantemente por argilas leva à formação de um aquíclodo que funciona como uma barreira à circulação da água.

Relativamente à unidade Calcários das Quintas das Conchas –  $M_{Qc}$  ( $M_{Vc}$ ), terá também uma gama de permeabilidades ampla. No que diz respeito às intercalações argilosas é expectável que funcionem como uma barreira impermeável a infiltração e circulação de água. Por outro lado, nos horizontes de natureza rochosa, a circulação poderá ocorrer através da permeabilidade primária e/ou secundária, de igual forma ao descrito na formação de Grés dos Grilos –  $M_{Gr}$  ( $M_{Vib}$ ).

No que às Areias de Vale de Chelas –  $M_{Vc}$  ( $M_{Vb}$ ) diz respeito, a permeabilidade deverá ser considerada elevada a média. Embora a condutividade hidráulica das formações arenosas seja tendencialmente elevada e habitualmente favoreça a ocorrência de aquíferos livres, a existência de fracções de materiais de granulometria inferior (siltes e argilas) influenciará a interação entre a água e as diferentes formações, podendo levar à alteração dos regimes de escorrência/armazenamento da água.

Durante os trabalhos de campo foram instalados 8 piezómetros conforme se verá adiante no ponto 3.3. Foram também realizados 14 ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc (ponto 3.4.1) e 7 ensaios de permeabilidade do tipo Slug test (ponto 3.4.2).

A Figura IV mostra uma tabela de valores típicos de permeabilidade para diferentes tipos de materiais.



**Quadro I – Aceleração máxima de referência –  $a_{gR}$ , nas várias regiões sísmicas.**

Ação sísmica Tipo 1		Ação sísmica Tipo 2	
Zona Sísmica	$a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona Sísmica	$a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
1.1	2,5	2.1	2,5
1.2	2,0	2.2	2,0
1.3	1,5	2.3	1,7
1.4	1,0	2.4	1,1
1.5	0,6	2.5	0,8
1.6	0,35	–	–

**Quadro II – Descrição dos vários tipos de solo de acordo com o EC8.**

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	NSPT (pancadas/30 cm)	$C_u$ (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	>800	-	-
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360 – 800	>50	>250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	<180	<15	<70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de $v_s$ do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s			
S1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ( $IP > 40$ ) e um elevado teor em água	<100 (indicativo)	-	10 - 20
S2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A – E ou S1			

A área em estudo localiza-se nas Zonas Sísmicas 1.3 e 2.3 respectivamente para as acções sísmicas do Tipo 1 e Tipo 2.

Quanto ao tipo de solo, segundo a classificação do EC8, os terrenos em estudo deverão ser considerados como sendo dos tipos A e B.

### 3 Trabalhos Realizados

#### 3.1 Sondagens Mecânicas

Foram realizadas no local 18 sondagens verticais acompanhadas de ensaios de penetração dinâmica normalizada (SPT - Standard Penetration Test) espaçados de 1,5 m. Os procedimentos e metodologias seguiram as recomendações da EN ISO 22476-3 – *“Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part3: Standard Penetration test”* e da norma ASTM D1586 – *“Standard Method For Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soils”*.

Na execução das sondagens foi utilizada uma sonda da marca Fraste, modelo multidrill SL, accionada por motor a diesel e com mobilização autónoma sobre chassis de lagartas (Figura VI). A perfuração das sondagens foi efectuada à rotação e rotary recorrendo-se, respectivamente, a uma coroa diamantada/tungsténio acoplada a um amostrador do tipo T2 com 86 mm de diâmetro e a trialeta de 86 mm.



Figura VI – Sonda utilizada (Fraste multidrill SL).

No Quadro III é apresentado um resumo dos principais atributos das sondagens realizadas. A sua localização aproximada em planta é apresentada no Anexo II.

**Quadro III – Resumo das Sondagens.**

Sondagem	Comprimento (m)	Ensaios SPT	Piezómetro
S1	21	14	-
S2_Pz	15	10	Sim
S3_Pz	13,5	6	Sim
S4	Não executada		
S5	16,5	11	-
S6_Pz	24	16	Sim
S7_Pz	18	13	Sim
S8	19,5	12	-
S9	18	12	-
S10_Pz	21	14	Sim
S11	18	12	-
S12_Pz	10,5	7	Sim
S13	18	8	-
S14_Pz	Não executada		
S15	10,5	5	-
S16	10,5	3	-
S17	21	14	-
S18_Pz	31,5	21	Sim
S19	Não executada		
S20	36	24	-
S21_Pz	15	4	Sim
S22	Não executada		

Os registos individuais das sondagens, com a descrição visual dos terrenos atravessados, as profundidades atingidas, a simbologia, a estratigrafia e os resultados dos ensaios SPT são apresentados no Anexo I.

As amostras recuperadas foram dispostas por ordem, em caixas devidamente compartimentadas e referenciadas. Todas as informações relevantes estão registadas nos boletins de sondagem incluídos no Anexo I.

No decurso das sondagens, na ocorrência de maciço terroso, foram realizados ensaios SPT de 1,5 m em 1,5 m. Estes ensaios forneceram valores de resistência dos materiais intersectados. O ensaio consiste na cravação de um amostrador normalizado (amostrador de Terzaghi), sob o impacto de um pilão com uma massa de 63,5 kg e uma altura de queda de 76 cm. Os valores de resistência foram obtidos pelo número de pancadas necessárias à cravação do amostrador em 45 cm. Cada ensaio realizou-se em três fases, cada uma delas correspondendo a uma penetração de 15 cm, e registou-se o número de pancadas referentes a cada uma das fases de ensaio. O valor dos primeiros 15 cm é meramente informativo, pois poderá estar alterado pela furação realizada. O número de pancadas ( $N_{SPT}$ ) dos últimos 30 cm é somado e utilizado como referência da resistência do material. Nos casos em que não ocorreu a cravação total do amostrador de Terzaghi, o ensaio foi dado por terminado ao fim de 60 pancadas, anotando-se o valor da respectiva penetração.

As amostras de solo obtidas através da sondagem foram caracterizadas quanto à sua natureza, textura, cor e consistência/compacidade<sup>1</sup> baseadas nos valores obtidos dos ensaios SPT (Quadro IV e Quadro V).

**Quadro IV – Classificação das areias quanto à compacidade de acordo com os resultados obtidos em ensaio SPT.**

$N_{SPT}$	Compacidade
<4	Muito solta
4 -10	Solta
10 - 30	Medianamente compacta
30 -50	Compacta
>50	Muito compacta

<sup>1</sup> K. Terzaghi & R. Peck (1948)

**Quadro V – Classificação das argilas quanto à consistência de acordo com os resultados obtidos em ensaios SPT.**

<b>N<sub>SPT</sub></b>	<b>Consistência</b>
<2	Muito Mole
2 - 4	Mole
4 - 8	Consistência média
8 - 15	Dura
15 - 30	Muito Dura
>30	Rija

A amostragem obtida de um maciço rochoso pelo processo de furação à rotação permite determinar parâmetros de qualidade, como a Percentagem de Recuperação e o índice RQD (*Rock Quality Designation*).

A Percentagem de Recuperação é definida como sendo a relação entre a soma do comprimento de todos os tarolos obtidos numa manobra e o comprimento do trecho furado nessa manobra. O valor de percentagem obtido dá uma ideia do estado de alteração das diferentes litologias.

O índice RQD é uma percentagem de recuperação aplicável a sondagens à rotação e com duplo amostrador de diâmetro maior ou igual a 76 mm (NX) e corresponde à relação entre a soma dos tarolos obtidos com comprimento igual ou superior a 10 cm e o total da furada. Este índice dá indicações no que respeita à qualidade do maciço rochoso. No Quadro VI, apresenta-se a caracterização dos maciços rochosos segundo D. Deere.

A classificação do estado de alteração e do estado de fracturação dos maciços rochosos é efectuada com base nos critérios adoptados pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas - S.I.M.R., que se apresentam no Quadro VII e Quadro VIII.

**Quadro VI – Descrição da qualidade dos maciços rochosos com base no índice RQD.**

<b>RQD</b>	<b>Qualidade</b>
RQD > 90%	Excelente qualidade
75% < RQD < 90%	Boa qualidade
50% < RQD < 75%	Qualidade razoável
25% < RQD < 50%	Qualidade fraca
RQD < 25%	Qualidade muito fraca

**Quadro VII – Estados de alteração.**

Símbolos	Designações	Descrição
W <sub>1</sub>	São	Sem quaisquer sinais de alteração
W <sub>2</sub>	Pouco Alterado	Sinais de alteração apenas nas imediações das descontinuidades
W <sub>3</sub>	Medianamente Alterado	Alteração visível em todo o maciço rochoso, mas a rocha não é friável
W <sub>4</sub>	Muito Alterado	Alteração visível em todo o maciço rochoso e a rocha é parcialmente friável
W <sub>5</sub>	Decomposto	O maciço apresenta-se completamente friável, praticamente com comportamento de solo

**Quadro VIII – Estados de fracturação.**

Símbolos	Intervalos (cm)	Descrição
F <sub>1</sub>	> 200	Muito afastadas
F <sub>2</sub>	60 a 200	Afastadas
F <sub>3</sub>	20 a 60	Medianamente afastadas
F <sub>4</sub>	6 a 20	Próximas
F <sub>5</sub>	< 6	Muito próximas

Os parâmetros relativos ao maciço rochoso (percentagem de recuperação “REC”, RQD, grau de alteração e fracturação do maciço) são também apresentados nos boletins do Anexo I.

No Anexo II podem ser observados os perfil-geológicos-geotécnicos interpretativos realizados com base nos resultados obtidos nas sondagens.

## 3.2 Ensaios Laboratoriais

### 3.2.1 Ensaios de Caracterização Geológica-Geotécnica

Após a classificação visual das amostras colhidas nos furos de sondagem foram seleccionadas vinte e duas amostras consideradas representativas dos terrenos ocorrentes, para se proceder à realização dos seguintes ensaios de laboratório:

- Teor em água (NP84);
- Análise granulométrica por peneiração húmida (LNEC E-239);
- Determinação dos limites de consistência (LL+LP) (NP 143);

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de identificação, os solos foram classificados segundo as classificações Unificada (ASTM) e AASHTO (Classificação para fins rodoviários). No Quadro IX apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos, bem como a classificação geotécnica dos solos amostrados e respectiva unidade litoestratigráfica. Os boletins individuais dos ensaios figuram no Anexo III.

**Quadro IX – Resumo dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais (Unificada e AASHTO) e respectiva unidade litoestratigráfica**

Sond N.º	Prof. (m)	Ref.ª amostra	W (%)	LL (%)	IP (%)	< #4 %	< #10 %	< #200 %	Classif. UNIFICADA	Classif. AASHTO	Unidade Litoestratigráfica
S1	16,50 – 16,95	SL_093.22	19,4	34	15	100,0	99,9	78,4	CL – Argila magra com areia	A-6 (10)	Areias de Vale de Chelas – M <sub>VC</sub> (M <sub>Vb</sub> )
S2_Pz	7,50 – 7,95	SL_088.22	18,6	31	13	87,0	86,2	83,5	CL – Argila magra com cascalho	A-6 (9)	Antrópico
S3_Pz	9,00 – 9,45	SL_082.22	16,0	29	10	99,1	98,6	78,5	CL – Argila magra com areia	A-4 (8)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S3_Pz	12,00 – 12,45	SL_084.22	18,0	31	11	98,1	95,3	85,4	CL – Argila magra com areia	A-6 (8)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S5	12,00 – 12,45	SL_094.22	20,4	35	15	100,0	99,5	83,9	CL – Argila magra com areia	A-6 (10)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S6_Pz	19,50 – 19,95	SL_089.22	20,4	31	12	100,0	99,9	94,2	CL – Argila magra	A-6 (9)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S6_Pz	24,00 – 24,43	SL_090.22	11,4	NR	NP	82,5	70,4	30,1	SM – Areia siltosa com cascalho	A-2-4 (10)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S7_Pz	9,00 – 9,45	SL_085.22	25,0	48	25	100,0	100,0	98,9	CL – Argila magra	A-7-6 (16)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S8	16,50 – 16,95	SL_086.22	22,9	41	20	100,0	100,0	98,3	CL – Argila magra	A-7-6 (12)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S9	7,50 – 7,95	SL_095.22	22,5	36	16	99,8	99,5	97,1	CL – Argila magra	A-6 (10)	Antrópico
S10_Pz	13,50 – 13,95	SL_091.22	20,3	31	8	99,5	99,2	97,4	CL – Argila magra	A-4 (8)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S10_Pz	21,00 – 21,16	SL_092.22	19,1	29	10	99,9	99,3	92,0	CL – Argila magra	A-4 (8)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S11	15,00 – 15,16	SL_096.22	21,7	35	15	99,6	99,0	95,2	CL – Argila magra	A-6 (10)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S12_Pz	3,00 – 3,45	SL_083.22	17,4	30	11	99,2	96,9	82,9	CL – Argila magra com areia	A-6 (8)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S13	9,00 – 9,45	SL_080.22	23,5	37	22	99,9	99,8	85,1	CL – Argila magra com areia	A-6 (13)	Grés dos Grilos – M <sub>Gr</sub> (M <sub>Vib</sub> )
S15	4,50 – 4,75	SL_077.22	13,8	NR	NP	96,9	95,4	18,4	SM – Areia siltosa	A-2-4 (0)	Grés dos Grilos – M <sub>Gr</sub> (M <sub>Vib</sub> )

Sond N.º	Prof. (m)	Ref.ª amostra	W (%)	LL (%)	IP (%)	<#4 %	<#10 %	<#200 %	Classif. UNIFICADA	Classif. AASHTO	Unidade Litoestratigráfica
S16	10,50 – 10,95	SL_076.22	17,8	NR	NP	88,4	76,2	26,3	SM – Areia siltosa	A-2-4 (0)	Grés dos Grilos – M <sub>Gr</sub> (M <sub>Vib</sub> )
S17	4,50 – 4,95	SL_081.22	19,6	36	14	96,3	94,4	65,3	CL – Argila magra arenosa	A-6 (8)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S18_Pz	19,50 – 19,95	SL_078.22	21,7	39	19	100,0	100,0	99,6	CL – Argila magra	A-6 (12)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S18_Pz	24,00 – 24,45	SL_087.22	21,9	43	22	100,0	99,9	98,9	CL – Argila magra	A-7-6 (13)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S20	15,00 – 15,45	SL_075.22	20,1	33	16	99,2	99,2	67,5	CL – Argila magra arenosa	A-6 (9)	Argilas de Xabregas – M <sub>Xa</sub> (M <sub>Via</sub> )
S21_Pz	6,00 – 6,21	SL_079.22	13,5	NR	NP	89,8	83,6	14,2	SM – Areia siltosa	A-1-b (0)	Grés dos Grilos – M <sub>Gr</sub> (M <sub>Vib</sub> )

**W** – Teor em água; **LL** - Limite de Liquidez; **IP** - Índice de Plasticidade; **NR** – Não realizável; **NP** – Não Plástico; **%< #4** - percentagem de solo que passa no peneiro 4; **%< #10** - percentagem de solo que passa no peneiro 10; **%< #200** - percentagem de solo que passa no peneiro 200;

### 3.2.2 Ensaios Químicos

#### 3.2.2.1 Água

No decurso da campanha de prospecção realizada foram instalados 8 piezómetros que, após a estabilização dos respectivos furo, procedeu-se à colheita de 8 amostras de água (uma amostra por piezómetro) para realização do ensaio de agressividade ao betão; as análises foram efectuadas pelo laboratório LAIST acreditado segundo o IPAC. Os parâmetros analisados foram os seguintes:

- a) Sulfato;
- b) Azoto amoniacal;
- c) Magnésio;
- d) CO<sub>2</sub> – agressivo na água;
- e) pH;
- f) pH de saturação;
- g) Alcalinidade total;
- h) Alcalinidade total de saturação.

Os boletins de ensaio encontram-se no Anexo IV.

### 3.2.2.2 Solos

Adicionalmente foram colhidas 11 amostras de solo para realização de ensaios químicos, as análises foram executadas pelo laboratório SGS Environmental Analytics B.V., laboratório analítico devidamente acreditado para os métodos analíticos utilizados. Os pontos de colheita seleccionados são apresentados no Quadro X. Os parâmetros analisados foram os seguintes:

- a) pH do solo;
- b) Sulfato;

Os boletins de ensaio encontram-se no Anexo V.

**Quadro X – Localização da colheita de amostras para ensaios químicos.**

Sond N.º	Prof. (m)	Nº relatório / Ref.ª amostra
S1	6,00 – 6,45	13795092 / 001
S3_Pz	1,50 – 1,95	13776904 / 004
S6_Pz	21,00 – 21,40	13795092 / 002
S7_Pz	16,50 – 16,95	13795092 / 003
S8	10,50 – 10,95	13795092 / 004
S9	6,00 – 6,45	13795092 / 005
S12_Pz	4,50 – 4,95	13776904 / 005
S13	10,50 – 10,95	13776904 / 006
S15	10,50 – 10,94	13776904 / 001
S18_Pz	30,00 – 30,41	13776904 / 003
S20	13,50 – 13,95	13776904 / 002

### 3.3 Instalação de Piezómetros

Durante a execução dos trabalhos de campo foram instalados 8 piezómetros nas sondagens S2\_Pz, S3\_Pz, S6\_Pz, S7\_Pz, S10\_Pz, S12\_Pz, S18\_Pz e S21\_Pz até à profundidade final de cada uma. Os piezómetros foram construídos utilizando tubos PVC de 2" de diâmetro, devidamente ligados, lisos e crepinados com profundidade de crepinação que se indica no Quadro XI.

As medições de nível de água efectuadas são apresentadas no Quadro XII.

**Quadro XI – Profundidades de crepinação.**

Sondagem	Prof. Crepinação [m]
S2_Pz	6,00 – 15,00
S3_Pz	4,50 – 13,50
S6_Pz	6,00 – 24,00
S7_Pz	6,00 – 19,50
S10_Pz	9,00 – 21,00
S12_Pz	4,50 – 10,50
S18_Pz	6,00 – 31,30
S21_Pz	6,00 – 14,60

**Quadro XII – Leituras de nível de água.**

Dia	S2_Pz	S3_Pz	S6_Pz	S7_Pz	S10_Pz	S12_Pz	S18_Pz	S21_Pz
28/Out/22	-	-	-	-	-	-	5,70	-
14/Nov/22	-	-	-	-	-	-	5,60	14,58*
28/Nov/22	-	3,67	-	8,18	-	5,22	-	-
5/Dez/22	-	-	-	8,24	-	5,03	5,46	14,54*
15/Dez/22	6,83	-	9,18	-	4,56	-	-	-
21/Dez/22	7,60	-	9,12	-	4,92	-	-	-
30/Dez/22	8,90	3,17	9,01	5,60	5,13	4,40	5,11	14,64*

Os valores apresentados estão em metros (m); \* - os valores poderão não ser indicativos de NA (ver parágrafo abaixo)

Realça-se os valores medidos na sondagem S21\_Pz que, se encontram muito próximo da profundidade final da sondagem, bem como próximos da profundidade de crepinação executada; os valores medidos poderão assim não corresponder efectivamente a um nível de água instalado no terreno, mas sim a um nível resultante da furação, estando o tubo piezométrico a funcionar como um reservatório.

### 3.4 Ensaios de Permeabilidade

#### 3.4.1 Ensaios de Permeabilidade do tipo Lefranc

Durante os trabalhos de campo foram executados catorze ensaios expeditos de permeabilidade em regime variável. O chamado ensaio Lefranc permite obter dados acerca da permeabilidade de determinado horizonte de terreno, designadamente, um coeficiente de permeabilidade. O princípio do ensaio consiste na injeção de água para o interior de um furo de sondagem revestido, apenas existindo contacto com o terreno no troço que se pretende ensaiar e, a partir da resposta dada pelo terreno em termos de absorção da água, inferir acerca da sua permeabilidade.

Na execução deste ensaio devem ter-se em conta as limitações que lhe são inerentes, tais como a precisão nas medidas dos elementos geométricos ou a deformação no terreno devido à furação, pelo que, no seu tratamento teórico, a incerteza é introduzida pela especificidade das fórmulas deduzidas para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, que variam para cada tipo de enquadramento, ponderando sempre uma série de factores como a forma da cavidade (lanterna), a posição do nível freático, o confinamento ou não confinamento do horizonte, etc...

O cálculo do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ), é assim efectuado considerando-se as duas fórmulas abaixo transcritas, contemplando, no caso da fórmula (1) a situação de abertura de uma lanterna para ensaio abaixo do nível freático, e no caso da fórmula (2) a abertura de uma lanterna para ensaio acima do nível freático:

$$k = \frac{d_0^2}{4 \times h_m \times \left( \frac{2l}{\ln \frac{2R}{d}} + d \right)} \times \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (m/s) \quad (1)$$

Em que:

$k$  – Coeficiente de permeabilidade (m/s);

$d_0$  – Diâmetro interno do revestimento do furo (m);

$d$  – Diâmetro de furação/Diâmetro da lanterna (m);

$h_m$  – Comprimento entre o nível freático e o topo do furo com o nível de água actual (m);

$l$  – Comprimento da lanterna (m);

$R$  – Distância entre o furo e a zona onde o nível freático não foi afectado com o ensaio (m);

$\Delta h$  – Descida do nível de água entre uma medição e a próxima (m);

$\Delta t$  – Tempo entre uma medição e a próxima (s);

$$k = \frac{d_0^2}{8 \times h_0 \times \sqrt{dl}} \times \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (m/s) \quad (2)$$

Em que:

$k$  – Coeficiente de permeabilidade (m/s);

$d_0$  – Diâmetro interno do revestimento do furo (m);

$d$  – Diâmetro de furação/Diâmetro da lanterna (m);

$h_0$  – Comprimento desde o valor da primeira leitura e até meio da lanterna aberta (m);

$l$  – Comprimento da lanterna (m);

$\Delta h$  – Descida do nível de água entre uma medição e a próxima (m);

$\Delta t$  – Tempo entre uma medição e a próxima (s);

Os valores de permeabilidade obtidos são expostos no Quadro XIII.

**Quadro XIII – Resumo de ensaios de permeabilidade LeFranc.**

Sondagem	Profundidade [m]	Litologia	Fórmula utilizada	k [m/s]
S1	16,50 – 18,00	Areia siltosa fina a média de cor castanha clara com presença de fósseis.	(1)	$1,81 \times 10^{-5}$
S2_Pz	10,50 – 12,00	Argila siltosa de cor castanha clara com presença de fósseis.	(1)	$1,77 \times 10^{-7}$
S3_Pz	3,00 – 4,50	Aterro argilo-siltoso de cor castanha escura com presença de fragmentos líticos da granulometria do seixo miúdo ao grosseiro e alvenaria. / Argila siltosa de cor castanha clara.	(2)	$2,51 \times 10^{-5}$
S3_Pz	12,00 – 13,50	Argila de cor cinzenta clara com presença de fósseis.	(1)	$1,30 \times 10^{-6}$
S5	12,00 – 13,50	Argila de cor cinzenta clara com presença de fósseis.	(1)	$5,34 \times 10^{-7}$
S6_Pz	12,00 – 13,50	Aterro argilo-siltoso de cor castanha clara com presença de fragmentos de alvenaria.	(1)	$2,50 \times 10^{-7}$
S7_Pz	6,00 – 7,50	Argila siltosa de cor castanha clara.	(2)	$9,15 \times 10^{-6}$
S7_Pz	15,00 – 16,50	Argila de cor cinzenta clara com presença de fósseis.	(1)	$1,35 \times 10^{-5}$

Sondagem	Profundidade [m]	Litologia	Fórmula utilizada	k [m/s]
S8	6,00 – 7,50	Argila de cor cinzenta clara com presença de fósseis.	(1)	$7,28 \times 10^{-6}$
S9	10,50 – 12,00	Argila de cor cinzenta clara com presença de fósseis.	(1)	$3,37 \times 10^{-6}$
S10_Pz	6,00 – 7,50	Aterro argilo-siltoso de cor castanha clara com presença de fragmentos líticos da granulometria do seixo miúdo ao grosseiro. / Argila siltosa de cor castanha clara com presença de fósseis.	(1)	$1,05 \times 10^{-6}$
S11	7,50 – 9,00	Argila siltosa de cor castanha clara com presença de fósseis.	(1)	$1,37 \times 10^{-7}$
S12_Pz	4,50 – 6,00	Argila siltosa de cor castanha clara com presença de fósseis.	(2)	$2,83 \times 10^{-6}$
S21_Pz	3,00 – 4,50	Biocalcarenito de cor castanha clara.	(2)	$7,00 \times 10^{-6}$

Da análise do Quadro XIII, observa-se que os materiais ocorrentes apresentam permeabilidades moderadas a baixas ( $10^{-5}$  a  $10^{-7}$ ).

No Anexo VI podem ser encontrados os boletins de ensaios de permeabilidade realizados.

### 3.4.2 Ensaios de Permeabilidade do tipo *Slug Test*

Durante os trabalhos de campo foram executados sete ensaios de permeabilidade do tipo *Slug Test*. O princípio deste ensaio consiste na variação instantânea do nível de água instalado no terreno através da introdução súbita de um volume de água ou sólido, na qual o retorno do nível de água à posição estática é monitorizado.

Para a determinação do coeficiente de permeabilidade do terreno foi utilizado o método de Hvorslev (1951), o qual admite, entre outros, que o aquífero é confinado, homogéneo e isotrópico, podendo ser aplicado para aquíferos livres se o nível dinâmico de água estiver muito acima do filtro.

O cálculo do coeficiente de permeabilidade,  $k$ , é assim cálculo mediante a aplicação da fórmula (3):

$$k = \frac{r_c^2 * \ln\left(\frac{L}{r_w}\right)}{2 * L * T_0} \quad (m/s) \quad (3)$$

Em que:

$k$  – Coeficiente de permeabilidade (m/s);

$r_c$  – Raio do tubo piezométrico (m);

$L$  – Comprimento da zona filtrante (m);

$r_w$  – Raio efectivo do piezómetro, incluindo o maciço filtrante (m);

$T_0$  – Tempo correspondente a  $H/H_0=0,37$  (s) sendo,  $H$  = nível medido para um tempo  $T$  e  $H_0$  = deslocamento máximo inicial.

Os valores de permeabilidade obtidos são expostos no Quadro XIII.

**Quadro XIV – Resumo de ensaios de permeabilidade tipo Slug.**

Sondagem	$k$ [m/s]	Sondagem	$k$ [m/s]
S2_Pz	$3,75 \times 10^{-8}$	S10_Pz	$6,16 \times 10^{-8}$
S3_Pz	$5,67 \times 10^{-7}$	S12_Pz	$1,73 \times 10^{-8}$
S6_Pz	$5,67 \times 10^{-4}$	S18_Pz	$1,50 \times 10^{-7}$
S7_Pz	$1,21 \times 10^{-8}$	S21_Pz	Não executado*

\* - não executado por nível de água estar muito próximo do final da sondagem. Considerado como seco. Ver medições referentes ao Quadro XII.

Da análise do Quadro XIII, observa-se que os materiais ocorrentes apresentam na sua maioria permeabilidades baixas ( $10^{-7}$  a  $10^{-8}$ ).

No Anexo VII podem ser encontrados os boletins de ensaios de permeabilidade realizados.

### 3.5 Cartografia Geológica de Taludes

Tendo em consideração a existência de alguns taludes rochosos na área de estudo, foi efectuada uma cartografia geológica da frente de 3 taludes sobre alçados fotográficos. A sua localização e nomenclatura adoptada pode ser consultada na planta de localização de trabalhos que se apresenta no Anexo II, sendo que se encontra igualmente assinalada, de forma aproximada, na imagem aérea da Figura I, por 3 elipses vermelhas.

No que concerne ao talude 1 e talude 2, apenas foi possível cartografar o talude a Oeste e a Este da linha de comboio, respectivamente. Os complementares encontram-se revestidos por elementos de betão projectado não permitindo a observação visual da face.



Figura VII – Localização dos 3 taludes cartografados em imagem aérea da área de estudo (Google Earth™).

Foi ainda aplicada, com o objectivo apresentar aspectos relevantes de forma sucinta, uma descrição desenvolvida pela Synege®. Trata-se de uma avaliação meramente qualitativa, que tem a vantagem de conjugar diferentes factores concorrentes para o risco envolvido no comportamento do talude e que se encontra no conjuntamente com a cartografia de frente no Anexo VIII.

Assim, a metodologia descritiva definida pela Synege®, tem em conta os seguintes aspectos:

- Geometria: Altura, inclinação, índice geométrico e disposição;
- Litologia: Solo, rocha ou mista;
- Protecção contra erosão;
- Drenagem: Órgão de drenagem e confluências;
- Estado Aparente: Evolução, ravinamento, desprendimentos e escorregamentos;
- Factores externos: Fontes de vibração, vias-férreas e rodoviárias, fundações, infra-estruturas e linhas de água;
- Histórico: Eventos e origem.

### 3.6 Perfis de Resistividade Eléctrica

Foram realizados 37 perfis de resistividade eléctrica no terreno de estudo, perfazendo um total de 5127,5 m de comprimento, a sua localização em planta pode ser consultada no Anexo II referente à planta de localização dos ensaios. Com a execução destes perfis pretendeu-se o reconhecimento abrangente das características daquele subsolo na intenção de obter informação inter-relacionável com a prospeção mecânica e assim complementar os modelos geológico-geotécnicos elaborados.

O Quadro XV, mostra um resumo dos elementos concretizados.

**Quadro XV – Resumo características de perfis de resistividade eléctrica.**

Ref <sup>a</sup>	Comprimento (m)	Coordenadas ETRS89			
		Extremo A		Extremo B	
		M	P	M	P
PR1	207	-85209	-102981	-85038	-102867
PR2	186	-85178	-103018	-85027	-102910
PR3	165	-85179	-103075	-85039	-102988
PR4	171	-85178	-103142	-85039	-103043
PR5	183	-85156	-103176	-85000	-103081
PR6	97.5	-85002	-103128	-84967	-103219
PR7	140	-85002	-102863	-84883	-102790
PR8	105	-84940	-102886	-84855	-102827
PR9	82.5	-84886	-102913	-84835	-102850
PR10	198	-84804	-102951	-84703	-102781
PR11	-	-	-	-	-
PR12	355	-84805	-103191	-84676	-102863
PR13	295	-84779	-103202	-84677	-102926
PR14	87.5	-84721	-103256	-84691	-103174
PR15	95	-84630	-103100	-84595	-103012

Refª	Comprimento (m)	Coordenadas ETRS89			
		Extremo A		Extremo B	
		M	P	M	P
PR16	252	-85113	-103206	-85191	-102966
PR17	276	-85068	-103173	-85160	-102913
PR18	252	-85020	-103125	-85121	-102895
PR19	-	-	-	-	-
PR20	-	-	-	-	-
PR21	90	-84822	-103166	-84736	-103191
PR22	77.5	-84786	-103111	-84713	-103137
PR23	77.5	-84774	-103072	-84700	-103096
PR24	65	-84754	-103025	-84694	-103050
PR25	65	-84734	-102979	-84672	-102999
PR26	52.5	-84721	-102928	-84673	-102948
PR27	60	-84698	-102876	-84642	-102898
PR28	62.5	-84670	-103086	-84608	-103094
PR29	87.5	-84657	-103035	-84574	-103062
PR30	107.5	-84645	-102992	-84542	-103022
PR31	67.5	-84619	-102938	-84560	-102969
PR32	85	-84590	-102911	-84509	-102933
PR33	232	-84960	-102824	-84770	-102957
PR34	196	-84924	-102798	-84761	-102907
PR35	115	-84826	-102940	-84775	-102837
PR36	55	-84687	-102858	-84640	-102887
PR37	162	-84715	-103137	-84669	-102982
PR38	90	-84715	-103232	-84647	-103289
PR39	122.5	-84650	-103007	-84611	-102892
PR40	110	-84584	-103087	-84549	-102983

### 3.6.1 Metodologia de aquisição de dados

O método da resistividade eléctrica tem assim por base a produção de um campo eléctrico através da injeção de corrente eléctrica no terreno, por meio de dois eléctrodos metálicos (A-B) e medição da diferença de potencial eléctrico entre dois outros eléctrodos (M-N).

As variações mais significativas do campo eléctrico podem corresponder a heterogeneidades litológicas ou a anomalias de resistividade dos materiais. O grau de variação da distribuição de potenciais depende do contraste entre estruturas anómalas e o meio envolvente, dependendo ainda a detecção das anomalias da sua posição relativa face ao dispositivo utilizado.

Na aquisição de dados recorreu-se à metodologia multi-eletródica distribuindo-se, equidistantemente, uma série de elérodos ao longo dos alinhamentos rectilíneos executados. Os comprimentos maiores de perfil obrigaram a recorrer a espaçamentos entre elérodos de 5m por forma a garantir a extensão desejada. Sempre que possível recorreu-se a espaçamentos menores, nomeadamente 2,5m, 3m e 4m, conforme indicado no Quadro XVI.

**Quadro XVI – Características geométricas dos perfis de resistividade eléctrica executados.**

Refª	Comp. (m)	Espaç. entre elérodos (m)	Nº total de elérodos	Refª	Comp. (m)	Espaç. entre elérodos (m)	Nº total de elérodos
PR1	207	3	70	PR23	77,5	2,5	32
PR2	186	3	63	PR24	65	2,5	27
PR3	165	3	56	PR25	65	2,5	27
PR4	171	3	58	PR26	52,5	2,5	22
PR5	183	3	62	PR27	60	2,5	25
PR6	97,5	2,5	40	PR28	62,5	2,5	26
PR7	140	2,5	57	PR29	87,5	2,5	36
PR8	105	2,5	43	PR30	107,5	2,5	44
PR9	82,5	2,5	34	PR31	67,5	2,5	28
PR10	198	3	67	PR32	85	2,5	35
PR12	355	5	72	PR33	232	4	59
PR13	295	5	60	PR34	196	4	50
PR14	87,5	2,5	36	PR35	115	2,5	47
PR15	95	2,5	39	PR36	55	2,5	23
PR16	252	4	64	PR37	162	3	55
PR17	276	4	70	PR38	90	2,5	37
PR18	252	4	64	PR39	122,5	2,5	50
PR21	90	2,5	37	PR40	110	2,5	45
PR22	77,5	2,5	32	-	-	-	-

Os elérodos utilizados são parte integrante do sistema ActEle e por intermédio de um cabo multi-condutor ligam ao resistímetro LGM 4point light hp. Na configuração escolhida o resistímetro é controlado por uma plataforma informática da especialidade, instalada em computador portátil e que controla o dispositivo geoelectrico pretendido e toda a logística envolvida na execução da tomografia eléctrica, conforme Figura VIII.

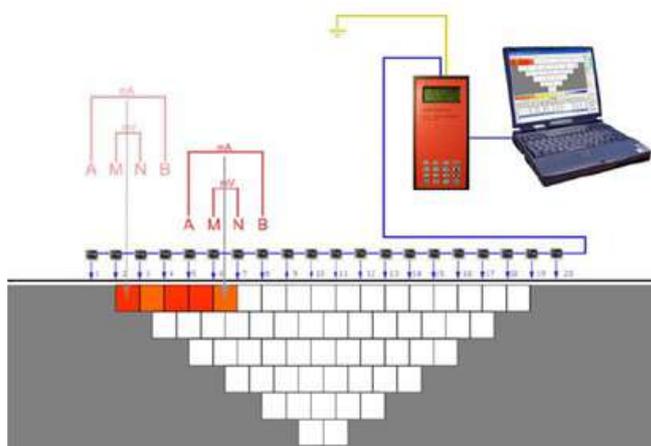


Figura VIII – Ilustração do dispositivo eletrônico de aquisição.

Para a injeção de corrente eléctrica no subsolo utilizou-se uma bateria de 12V que permitiu o recurso a intensidades eléctricas úteis de 100mA.

De modo a assegurar o melhor contacto possível na interface eléctrodo/solo, estas ligações foram individualmente ensaiadas previamente à aquisição de dados de modo a obter um diagnóstico de resistências de contacto em cada eléctrodo.

Nas situações onde se verificava uma acoplagem a terrenos demasiados resistivos, humedeceu-se o solo no pé dos eléctrodos recorrendo a solução aquosa de água e sal.

O dispositivo tetraelectródico considerado para os levantamentos geoeletricos do presente estudo e que define a sequência entre eléctrodos de corrente (A e B) e de leitura (M e N) respeita a configuração *Schlumberger*.

Esta configuração define a distribuição tetra-electródica A/M/N/B simetricamente relativamente a um ponto central de leitura, fazendo-se variar progressivamente o afastamento dos eléctrodos de injeção A-B – Figura IX.

A principal justificação para a sua selecção em detrimento de outras configurações prende-se com o favorecimento da resolução vertical que permite estabelecer maior precisão na definição de interfaces subhorizontais associadas aos estratos geológicos locais. Acrescenta-se ainda a boa relação sinal/ruído, reduzindo-se assim a probabilidade de existência de artefactos geoeletricos resultantes de leituras erróneas, e um superior número de pontos de leitura que contribui para a boa definição dos modelos geoeletricos.

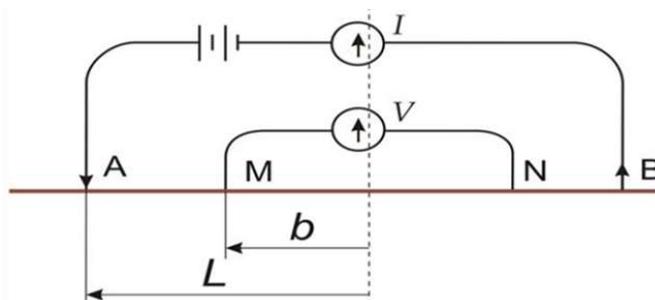


Figura IX – Esquematização do dispositivo Schlumberger.

### 3.6.2 Processamento de dados

A obtenção de um modelo de resistividades eléctricas pressupõe a inversão algorítmica das pseudo-seções obtidas com as leituras de campo recorrendo-se para o efeito ao software Res2DInv de M.H. Loke.

O modelo final resultou do ajuste entre um modelo de resistividades aparentes e um modelo de resistividades calculadas, sendo apresentado sobre a forma de uma secção bidimensional de resistividade eléctrica do terreno, que surge após diferença mínima de erro RMS no cálculo iterativo.

A distribuição da resistividade eléctrica nestes modelos é exibida seguindo uma escala cromática universal para todos os perfis, estabelecendo-se uma resistividade mínima de 10 Ohm.m e máxima de 2000 Ohm.m, como apresentado na Figura X. Esta amplitude de resistividades admite-se adequada ao enquadramento da área em estudo, considerando-se que permite uma delineação útil ao projeto da variação das resistividades do subsolo em análise.



Figura X – Escala cromática dos modelos de resistividade.

No sentido de obter um modelo ajustado às condições reais do local em estudo, o cálculo iterativo do modelo de resistividades considerou ainda a morfologia da superfície do terreno impondo uma correção baseada no levantamento topográfico disponibilizado pelo projecto e nas próprias anotações de campo.

A Figura XI exemplifica o critério escolhido para a correcção topográfica, que impõe uma distorção que em profundidade é atenuada de acordo com um factor previamente estabelecido. Pretendeu-se com esta opção apresentar modelos mais realistas, em que a influência da variação topográfica é atenuada em profundidade.

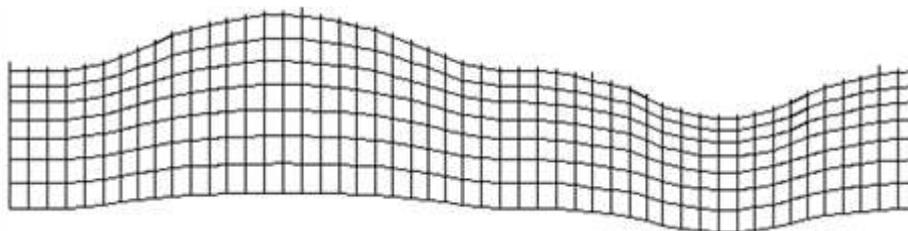


Figura XI – Modelo de correcção topográfica aplicada às tomografias eléctricas.

### 3.6.3 Emparelhamento 3D

No seguimento da obtenção das tomografias eléctricas incluídas nos boletins de ensaio procedeu-se ao emparelhamento tridimensional das respectivas secções com a intenção de se avaliar a relação geoeléctrica entre os alinhamentos e assim analisar, a uma maior escala, a distribuição da resistividade eléctrica no subsolo.

Para o efeito recorreu-se ao programa ROCKWORKS 17 que permite inserir secções rasterizadas bidimensionais num universo tridimensional através do seu utilitário ROCKPLOT3D.

Neste processo é necessário dar o *input* das coordenadas de cada extremo e a cota altimétrica inferior e superior dos respectivos limites, utilizando-se neste contexto as coordenadas em sistema Datum 73 (e incluídas nos respectivos boletins de ensaio). A georreferenciação do emparelhamento 3D permitiu ainda a sobreposição de elementos topográficos disponibilizados pelo projeto, facilitando desta forma a identificação dos locais em análise.

Esta ferramenta acaba por ser interativa no seu manuseamento permitindo o movimento livre do bloco 3D. Assim, é possível extrair diversas vistas geo-orientadas que, na prática, acabam por ser a única maneira de materializar o modelo 3D obtido por esta plataforma.

Na Figura XII e Figura XIII apresenta-se a título exemplificativo duas perspectivas em modelo 3D. Os boletins individuais de ensaio, registo fotográfico e restante representação tridimensional é apresentada no Anexo IX.

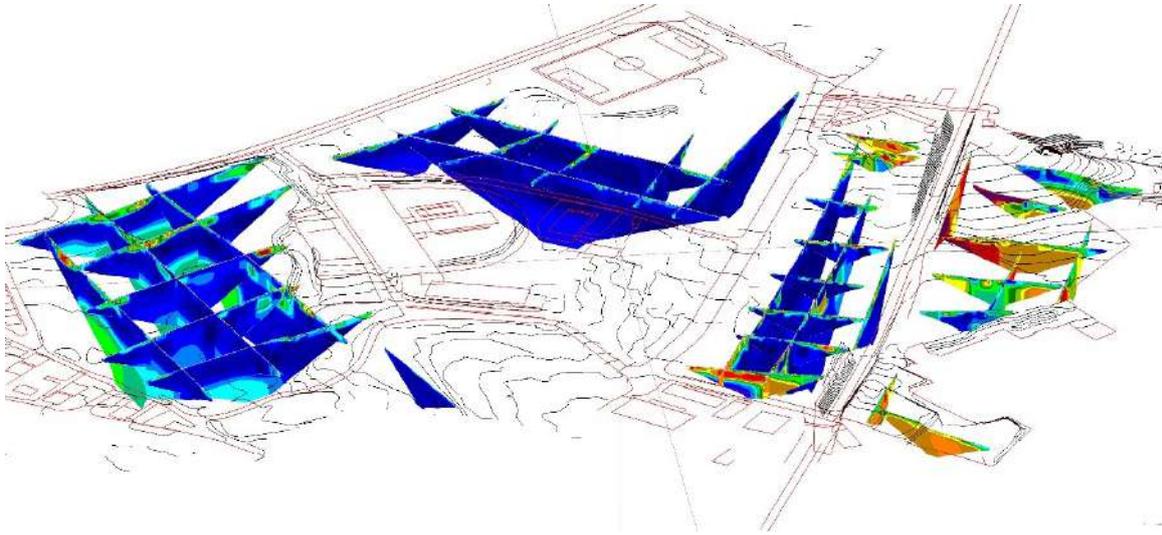


Figura XII – Vista Geral NNE com topografia e infraestruturas representadas.

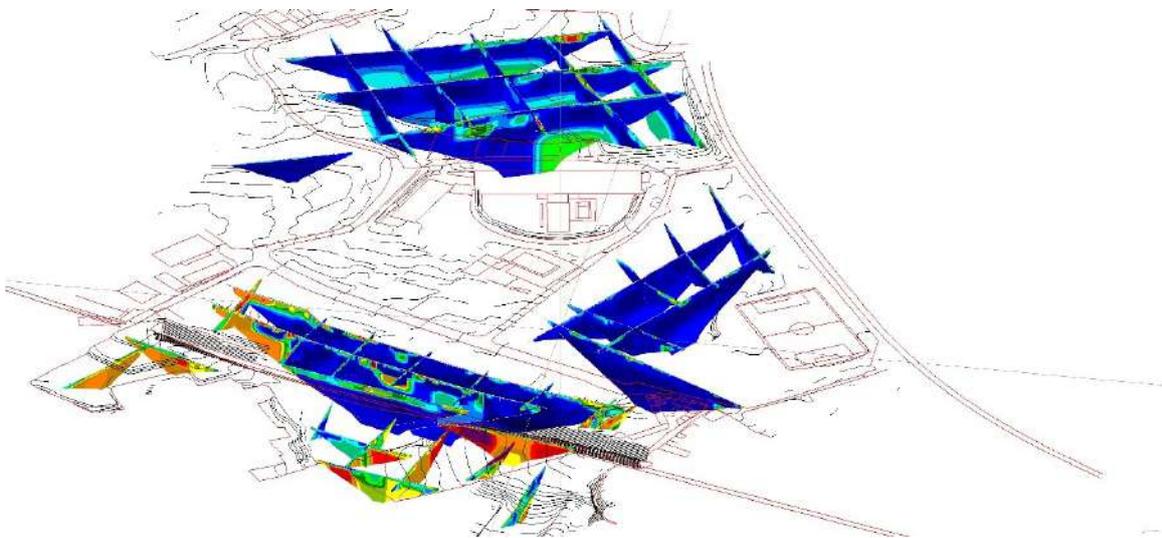


Figura XIII – Vista Geral WSW com topografia e infraestruturas representadas.

## 4 Condições Geológicas e Geotécnicas

### 4.1 Modelo Geotécnico

**ZG1 – Aterro arenoso a argiloso, materiais antrópicos e Miocénico severamente descomprimido: Argila siltosa de cor castanha clara.**

$0 \leq N_{SPT} \leq 14$  (15, 16, 18, 20, 21, 22, 60)

$\phi: 20^\circ$ ;  $E: 5 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_{adm} < 100 \text{ kPa}$

Zona constituída por materiais antrópicos, nomeadamente aterros de granulometria arenosa a argilosa de cor castanha clara a escura, por vezes cinzenta, com presença de fragmentos líticos e restos de betão da granulometria do seixo miúdo ao bloco, alvenarias, plásticos, aços e raízes, tendo sido identificada zona com vazios. Incluem-se ainda aqui materiais de idade miocénica severamente descomprimidos, nomeadamente argila siltosa de cor castanha clara.

Estes materiais estão associados a valores  $N_{SPT}$  compreendidos entre 0 e 14 golpes, ocorrendo valores superiores de 15, 16, 18, 20, 21, 22 e 60 golpes, relacionados por um lado, pela obtenção de valores dispersos justificados com a presença de elementos de granulometria grosseira que impedem ou dificultam a penetração do amostrador de SPT não podendo ser considerados como representativos dos materiais atravessados e, por outro, pela diversa heterogeneidade dos materiais constituintes dos aterros.

As tensões admissíveis para esta ZG são inferiores a 100 kPa para as condições de cálculo consideradas na avaliação genérica efectuada. No entanto, as baixas resistência e deformabilidade, associadas a uma forte heterogeneidade composicional e mecânica, recomendam que se evite a sua utilização como terreno de fundação, a não ser para estruturas muito leves.

As amostras de solo colhidas nesta ZG, com referência SL\_088\_22 e SL\_095.22 correspondem a solo do tipo CL – Argila magra com cascalho e CL – Argila magra, segundo a classificação Unificada, e A-6 (9) e A-6 (10), segundo a classificação AASHTO. A percentagem de finos varia entre elas de 83,5% – 97,1% % e o teor de água (W) 18,6% – 22,5%. O Índice de Plasticidade (IP) foi de 13% e 16%, respectivamente.

Estes materiais foram identificados em todas as sondagens realizadas ocorrendo com uma espessura máxima identificada de aproximadamente 15,75 m na sondagem S6\_Pz, tendo como referência a cota de execução das sondagens. A espessura mínima identificada foi de aproximadamente 0,8 m na zona de influência da sondagem S15, S16 e S21\_Pz. No entanto, dado o carácter heterogéneo da distribuição típica destes materiais e o espaçamento entre sondagens, é significativa a probabilidade de que possam ocorrer com outras espessuras.

**ZG2A – Miocénico severamente descomprimido: Argila siltosa de cor castanha clara e Argila cinzenta clara.**

**$9 \leq N_{SPT} \leq 20$  (22, 27, 31, 49, 60)**

**$\phi$ : -°; E: 18 kPa;  $C_u$ : 90 kPa (referente a argilas para condições não drenadas);  $\sigma_{adm}$ : 300 kPa**

Zona constituída por materiais de idade miocénica, severamente descomprimidos, nomeadamente argila siltosa de cor castanha clara e argila cinzenta clara por vezes com presença de fósseis incorporados.

Estes materiais estão associados a valores  $N_{SPT}$  compreendidos entre 9 e 20 golpes, tendo-se ainda englobado zonas com valores superiores, isolados, de 22, 27, 31, 49 e 60 golpes; estes valores isolados, contrastantes com a zona em que estão enquadrados, correspondem a zonas localizadas de aumento de resistência, que, quando analisadas num todo revelam reduzida extensão lateral e espessura. Esta é uma característica corrente nas formações miocénicas que exibem intercalações lenticulares de material concrecionado no interior de séries silto-argilosas, cuja contribuição para o comportamento mecânico global da unidade não corresponde aos respectivos valores obtidos no ensaio SPT.

Dada a profundidade a que ocorrem, estes materiais podem ser solicitados, caso se prevejam escavações, através de métodos directos na forma de sapatas, pegões ou ensoleiramento geral. Caso não se preveja escavações, os métodos indirectos estão naturalmente bastante limitados pela modesta resistência mecânica que exibem.

As amostras de solo colhidas nesta ZG, com referências SL\_075\_22, SL\_080\_22, SL\_081\_22, SL\_082\_22 e SL\_085\_22 correspondem a solo do tipo CL – Argila magra, por vezes com areia e outras arenosa, segundo a classificação Unificada, pertencendo ao grupo A-6, A-7-6 e A-4,

segundo a classificação AASHTO. A percentagem de finos varia entre elas de 65,3% – 98,9% e o teor de água (W) 16,0 % – 25,0 %. O Índice de Plasticidade (IP) varia entre elas entre 10% a 25%.

Esta ZG foi identificada nas sondagens S1, S2\_Pz, S3\_Pz, S5, S7\_Pz, S10\_Pz, S11, S13, S17, S18\_Pz e S20. Ocorre a uma profundidade máxima identificada de aproximadamente 9,80 m na zona de influência da sondagem S20, e a uma profundidade mínima identificada de 3,80m, aproximadamente, na zona de influência das sondagens S3\_Pz, S5, S11 e S17, tendo como referência a cota de execução das sondagens.

### **ZG2B – Miocénico descomprimido: Argila siltosa de cor castanha clara e Argila cinzenta clara.**

(21, 23, 25)  $28 \leq N_{SPT} \leq 45$  (46, 47, 48, 49, 57, 60)

$\phi$ : -°; E: 40 kPa;  $C_u$ : 200 kPa (referente a argilas para condições não drenadas);  $\sigma_{adm}$ : 700 kPa

Zona constituída por materiais de idade miocénica, descomprimidos, nomeadamente argila siltosa de cor castanha clara e argila cinzenta clara por vezes com presença de fósseis incorporados.

Estes materiais estão associados a valores  $N_{SPT}$  compreendidos entre 28 e 45 golpes, tendo sido englobadas nela zonas com valores inferiores e superiores, isolados, de 21, 23 e 25 golpes e de 46, 47, 48, 49, 57 e 60 golpes, respectivamente; estes valores superiores e inferiores à semelhança da ZG anterior são contrastantes àqueles em que estão enquadrados justificando-se pela presença de zonas de resistências inferiores/superiores localizadas que quando analisadas num todo deverão ter uma reduzida extensão lateral.

Estes materiais podem ser utilizados tanto por métodos directos na forma de sapatas ou pegões, como por métodos indirectos na forma de estacas ou micro-estacas, este último no caso de não se prever escavações e tendo em conta a limitação imposta pela resistência mecânica exibida.

As amostras de solo colhidas nesta ZG, com referências SL\_078\_22, SL\_083\_22, SL\_087\_22, SL\_089\_22, SL\_091\_22, SL\_093\_22 e SL\_094\_22 correspondem a solo do tipo CL – Argila magra, por vezes com areia, segundo a classificação Unificada, pertencendo ao grupo A-6, A-7-6 e A-4, segundo a classificação AASHTO. A percentagem de finos varia entre elas de 82,9% – 99,6% e o teor de água (W) 17,4 % – 21,9 %. O Índice de Plasticidade (IP) varia entre elas entre 8% a 22%.

Esta ZG foi intersectada em todas as sondagens realizadas, com excepção das sondagens S2\_Pz, S3\_Pz, S15, S16 e S21\_Pz. Ocorre a uma profundidade máxima identificável de cerca de 19,5 m na zona de influência da sondagem S6\_Pz e, a uma profundidade mínima identificada de aproximadamente 3 m na zona de influência da sondagem S12\_. Tem a maior expressão na zona das sondagens S17, S18\_Pz e S20, tomando uma espessura máxima identificável de aproximadamente 15,5 m na zona de influência da sondagem S18\_Pz.

**ZG3A – Miocénico ligeiramente descomprimido: Argila siltosa de cor castanha clara , Argila cinzenta clara, Areia siltosa castanha clara, Areia fina castanha clara, Biocalcarenito e Calcarenito W<sub>4-5</sub> e W<sub>5</sub> com intercalações silto-argilosas.**

**(49)  $51 \leq N_{SPT} \leq 60$**

**$\phi$ : 30°; E: 45 MPa; C<sub>u</sub>: 300 kPa (referente a argilas para condições não drenadas);  $\sigma_{adm}$ : 1000 kPa**

Zona constituída por materiais de idade miocénica, ligeiramente descomprimidos, nomeadamente argila siltosa de cor castanha clara por vezes com presença de fósseis, argila cinzenta clara por vezes com presença de fósseis, areia fina de cor castanha clara, biocalcarenito e calcarenito W<sub>4-5</sub> e W<sub>5</sub> por vezes com intercalações silto-argilosas.

Esta ZG é caracterizada por valores de N<sub>SPT</sub> compreendidos entre 51 e 60 pancadas, ocorrendo um valor isolado de 49 pancadas que, dado o seu enquadramento e tratamento estatístico foi considerado como pertencente a esta ZG. Pode ser utilizada tanto por métodos directos na forma de sapatas ou pegões, como por métodos indirectos na forma de estacas ou micro-estacas, este último no caso de não se prever escavações.

No entanto, alerta-se que, a ocorrência desta ZG com outra subjacente de resistência inferior (ZG2B), deve ser tida em consideração aquando da definição do tipo de fundação e respectivo bolbo de tensões gerado. Esta situação foi identificada nas sondagens S6\_Pz e S8.

As amostras de solo colhidas nesta ZG, com referências SL\_077\_22, SL\_079\_22, SL\_084\_22, SL\_086\_22, SL\_090\_22, SL\_092\_22 e SL\_096\_22 correspondem a solo do tipo CL – Argila magra, por vezes com areia e SM – Areia siltosa por vezes com cascalho, segundo a classificação Unificada, pertencendo ao grupo A-6, A-2-4, A-7-6, A-4 e A-1-b segundo a classificação AASHTO. A percentagem de finos varia entre elas de 14,2% – 98,3% e o teor de água (W) 11,4 % – 22,9 %. O Índice de Plasticidade (IP) varia entre as classificadas como CL – Argila magra de 10% a 20%. As restantes foram classificadas como Não Plásticas.

Esta ZG foi intersectada em todas as sondagens realizadas. Ocorrendo a uma profundidade máxima identificável de cerca de 30 m na zona de influência da sondagem S20 e, mínima identificada de aproximadamente 0,8 m na zona de influência da sondagem S13, S15 e S16.

### **ZG3B – Miocénico ligeiramente descomprimido: Biocalcarenito e Calcarenito W<sub>3</sub>.**

- ≤ N<sub>SPT</sub> ≤ -

**φ: 35°; E: 80 MPa; C: 10 kPa (referente a condições drenadas); σ<sub>adm</sub>: 1000 kPa**

Zona constituída por materiais de idade miocénica, ligeiramente descomprimidos, nomeadamente biocalcarenito e calcarenito de cor castanha clara medianamente alterado (W<sub>3</sub>).

Esta ZG é caracterizada por pertencer ao domínio rochoso podendo ser utilizada tanto por métodos directos na forma de sapatas ou pegões, como por métodos indirectos na forma de estacas ou micro-estacas, este último no caso de não se prever escavações.

No entanto, alerta-se que, a ocorrência desta ZG com outra subjacente de resistência inferior (ZG2A e ZG2B), deve ser tida em consideração aquando da definição do tipo de fundação e respectivo bolbo de tensões gerado. Esta situação foi identificada nas sondagens S13.

Esta ZG foi intersectada nas sondagens S13, S15, S16 e S21\_Pz, ocorrendo a uma profundidade máxima identificada de cerca de 6 m na zona de influência da sondagem S16 e mínima de cerca de 0,8m na zona da influência da sondagem S21\_Pz.

O Quadro XVII apresenta os parâmetros geotécnicos para cada uma das ZG's definidas.

Quadro XVII – Parâmetros Geotécnicos para cada uma das ZGs

Zona Geotécnica	N <sub>SPT</sub>	Peso Volúmico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Ângulo de atrito interno $\phi$ (°)	Coesão C (kPa)	Módulo de deformabilidade E (MPa)	Tensões Admissíveis $\sigma$ (kPa)	Descrição
ZG1	0 – 14 (15, 16, 18, 20, 21, 22, 60)	16	20	-	5	< 100	Aterro arenoso a argiloso, materiais antrópicos e Miocénico severamente descomprimido: Argila siltosa de cor castanha clara.
ZG2A	9 – 20 (22, 27, 31, 49, 60)	17	-	90*	18	300	Miocénico severamente descomprimido: Argila siltosa de cor castanha clara e Argila cinzenta clara.
ZG2B	(21, 23, 25) 28 – 45 (46, 47, 48, 49, 57, 60)	18	-	200*	40	700	Miocénico descomprimido: Argila siltosa de cor castanha clara e Argila cinzenta clara.
ZG3A	(49) 51 – 60	20	30	300*	45	1000	Miocénico ligeiramente descomprimido: Argila siltosa de cor castanha clara, Argila cinzenta clara, Areia siltosa castanha clara, Areia fina castanha clara, Biocalcarenito e Calcarenito W <sub>4-5</sub> e W <sub>5</sub> com intercalações silto-argilosas.
ZG3B	–	21	35	10**	80	1000	Miocénico ligeiramente descomprimido: Biocalcarenito e Calcarenito W <sub>3</sub> .

\* - Valor referente a argilas para condições não drenadas; \*\* - Valor referente a condições drenadas.

## 4.2 Análise Estatística

A partir dos valores de  $N_{SPT}$  obtidos nos trabalhos de prospecção, com o objectivo de melhor compreender singularidades no comportamento geológico e geotécnico das diferentes zonas geotécnicas realizou-se a análise estatística do presente capítulo.

O Quadro XVIII apresenta os parâmetros estatísticos referentes aos valores de  $N_{SPT}$ .

**Quadro XVIII – Parâmetros estatísticos,  $N_{SPT}$ , para cada uma das ZGs**

	<b><math>N_{SPT}</math> medido</b>				
	<b>ZG1</b>	<b>ZG2A</b>	<b>ZG2B</b>	<b>ZG3A</b>	<b>ZG3B</b>
<b>Amostra, N [Un.]</b>	54	32	53	64	-
<b>Média, <math>X_m</math></b>	12	20	45	59	-
<b>Coefficiente de variação, <math>C_v</math></b>	0,94	0,53	0,26	0,04	-
<b><math>X_{ci} = X_m (1 - 0,5C_v)</math></b>	6	14	39	58	-
<b><math>X_{cs} = X_m (1 + 0,5C_v)</math></b>	17	25	51	60	-

$N$  – nº de dados obtidos/utilizados;  $X_m$  – Média de  $N_{SPT}$ ;  $C_v$  – Coeficiente de variação (DesvioPadrão/ $X_m$ );  $X_{ci}$  – Valor característico inferior de  $N_{SPT}$ ;  $X_{cs}$  – Valor característico superior de  $N_{SPT}$ .

Da análise do quadro acima observa-se um coeficiente de variação próximo dos 95% para a zona geotécnica 1; esta variação é explicada, conforme já mencionado, por um lado, pela obtenção de valores dispersos relacionados com a presença de elementos de granulometria grosseira que impedem ou dificultam a penetração do amostrador de SPT e, por outro, pela diversa heterogeneidade dos materiais constituintes dos aterros, que incluem escombros e vazios.

Da análise dos parâmetros estatísticos, nomeadamente do coeficiente de variação associado à ZG2A e ZG2B, observam-se valores de 53% e 26% respectivamente; estes valores elevados são explicados pela ocorrência de valores de  $N_{SPT}$  contrastantes àqueles em que estão enquadrados justificando de igual forma a presença de zonas de resistências superiores ou inferiores localizadas que quando analisadas num todo não deverão ter extensão lateral e espessura significativas.

## 4.3 Condições de fundação

A avaliação da capacidade de carga foi realizada, considerando:

- Fundações directas: sapatas quadradas com 2,0 x 2,0 m até aos 3,0 m de profundidade e pegões quadrados com 1,5 m x 1,5 m a partir dessa profundidade;

- Cargas verticais e centradas.

O valor da tensão de segurança à rotura obtido pelo cálculo foi aplicado na avaliação do assentamento imediato decorrente da solitação do terreno.

O cálculo da tensão de segurança à rotura,  $q_{ult}$ , foi realizado com base na formulação de Meyerhof (1963), exposta por Bowles (1988).

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma$$

em que:

$c$  – valor de cálculo da coesão;

$q$  – valor de cálculo da tensão efectiva imediatamente acima da cota de fundação;

$B$  – largura da fundação;

$\gamma$  – peso volúmico efectivo do solo;

$N_c, N_q, N_\gamma$  – factores de capacidade de carga, função do valor do ângulo de atrito,  $\phi$ ;

$s_c, s_q, s_\gamma$  – factores empíricos, adimensionais, dependentes da geometria do órgão de fundação;

$d_c, d_q, d_\gamma$  - factores empíricos, adimensionais, dependentes da relação profundidade/dimensão do órgão de fundação.

O valor assim obtido é testado em relação à deformabilidade. Para tal foi usada a fórmula proposta por Timoshenko&Goodier (1951), a partir da Teoria da Elasticidade, para assentamento imediato:

$$\Delta H = q \cdot B \cdot (1 - \mu^2) / E_s \cdot I_s \cdot I_F$$

em que,

$\Delta H$  – assentamento;

$q$  – tensão aplicada;

$B$  – largura da fundação;

$\mu$  – coeficiente de Poisson;

$E_s$  – módulo de deformabilidade;

$I_s, I_F$  – factores que dependem da geometria da sapata, espessura do estrato compressível, coeficiente de Poisson e profundidade de fundação.

Para a ZG1, dada a natureza e estado descomprimidos dos materiais nela presentes, os mesmos apresentam-se como pouco adequadas para utilização como terrenos de fundação. No entanto, a avaliação dos assentamentos conduz a valores na ordem dos 13-14 mm, para a profundidade de cálculo de 1,5 m e para uma tensão admissível de 100 kPa.

Para a ZG2A, a tensão admissível calculada é da ordem dos 300 kPa. Para as tensões determinadas e a uma profundidade de cálculo de 4,5 m, a avaliação dos assentamentos conduz a valores na ordem dos 6-7 mm. Pode ser solicitada através de métodos directos na forma de sapatas, pegões ou ensoleiramento geral, caso se preveja escavações. No caso de não se prever escavações, os métodos indirectos estão naturalmente bastante limitados pela modesta resistência mecânica exibida por esta ZG.

Para a zona ZG2B, a tensão admissível é da ordem dos 700 kPa. Tendo em conta profundidade de cálculo de 7,5 m, a avaliação dos assentamentos conduz a valores na ordem dos 6-7 mm. Pode ser solicitada como terreno de fundação tanto por métodos directos na forma de sapatas ou pegões, como por métodos indirectos na forma de estacas ou microestacas, este último no caso de não se prever escavações e tendo em conta a limitação imposta pela resistência mecânica exibida.

Para a zona ZG3A, a tensão admissível é da ordem dos 1000 kPa. Tendo em conta profundidade de cálculo de 10,5 m, a avaliação dos assentamentos conduz a valores na ordem dos 8 mm. Pode ser utilizada tanto por métodos directos na forma de sapatas ou pegões, como por métodos indirectos na forma de estacas ou micro-estacas, este último no caso de não se prever escavações.

Para a zona ZG3A, a tensão admissível é da ordem dos 1000 kPa. Tendo em conta profundidade de cálculo de 9 m, a avaliação dos assentamentos conduz a valores na ordem dos 4-5 mm. Pode ser solicitada de igual forma à ZG anterior.

As tensões calculadas só são válidas para as condições de confinamento actuais e tendo em conta os pressupostos geométricos assumidos neste relatório, que deverão ser considerados como exemplificativos. Assim, os valores de tensão admissível e deformação dados referem-se às condições da camada em questão e não entram em linha de conta com variações dos parâmetros em profundidade, que, quando contidas no bolbo de tensões gerados pelos órgãos de fundação

a projectar, devem, em sede de projecto, ser tidas em conta, na proporção da sua influência nesses mesmos bolbos.

Os terrenos em estudo quando expostos às condições de escavação durante períodos de tempo prolongados poderão sofrer uma descompressão que irá conduzir a uma perda de resistência.

Durante a obra, o acompanhamento dos trabalhos de fundação por um técnico de geotecnia é recomendável, particularmente no que se refere à análise das singularidades que poderão naturalmente surgir durante a intervenção.

#### 4.4 Escavabilidade e Contenção

Os resultados da campanha de prospecção efectuada permitem obter uma caracterização aproximada da escavabilidade dos materiais. A selecção do método de escavação, se previsto, depende essencialmente da escavabilidade e do rendimento da maquinaria utilizada.

Os materiais presentes na ZG1, ZG2A e ZG2B não deverão apresentar limitações em termos de escavação podendo ser removidos com recurso a equipamentos mecânicos comuns. No entanto, englobados na ZG1 poderão estar presentes elementos estruturais antigos, cuja remoção exija metodologias de demolição. Os materiais pertencentes à ZG3A também deverão ser passíveis de ser escavados com recurso a equipamentos mecânicos comuns, no entanto, a ocorrência de zonas calcareníticas e biocalcareníticas menos alteradas pertencentes poderá impor dificuldades devendo ser ponderado o auxílio de equipamentos equipados com martelo hidráulico, bem como nas argilas na presença de bancadas mais litificadas e níveis de lumachelas.

Os calcarenitos/biocalcarenitos medianamente alterados ( $W_3$ ), pertencentes à ZG3B só deverão ser passíveis de serem escavados com recurso a meios de grande capacidade equipados com martelo, rippers ou explosivos.

Relativamente à contenção, para escavações verticais e superiores ou iguais a 1,2 metros, recomenda-se a utilização de entivações simples. Caso a envolvente o permita poderão ser adoptados taludes com inclinação de 45° limitados a profundidades de 3 m. Em zonas de escavação a profundidades superiores e junto a infraestruturas adjacentes, sugerem-se métodos activos de contenção, tais como paredes tipo “Lisboa”, “Berlim” ou paredes moldadas.

No caso de proximidade a edifícios e infraestruturas vizinhas deverá, durante a escavação/construção, ser previsto um sistema de monitorização adaptado às condições do local. Para tal, recomenda-se o estabelecimento de um dispositivo conjugado de fissurómetros, alvos topográficos e marcas de superfície aplicados aos edifícios e infraestruturas vizinhas, na medida em que uma vistoria prévia aos mesmos assim o determine. Em caso da necessidade de recurso a escavação com martelo, deverá o plano de monitorização ter em conta a norma NP 2074 «Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares».

Relativamente à presença de água, os níveis instalados, de acordo com as medições efectuadas, poderão variar aproximadamente entre os 3 m e os 15 m de profundidade, tendo como referência a cota de execução das sondagens. Assim, e em função dos eventuais caudais e das circunstâncias em que se manifestem, deverão ser tomadas medidas de protecção, tais como:

- Aplicação de geodrenos em ressurgências localizadas de caudal significativo;
- Bombagem da água afluenta à fundação.
- Protecção de taludes provisórios com filtros, geotêxtil.

Pela Synege, 16 de Janeiro de 2023

André Costa  
Engº Geólogo

João Martins  
Geólogo

Jónatas Rodrigues  
Engº Geólogo

## Referências Bibliográficas

- “Carta Topográfica de Lisboa” - Escala 1:25 000, Nº 431. Serviço Cartográfico do Exército, Lisboa, (1993);
- Coduto, D. (1994), “Foundation Design – Principles and Practices”. Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Duncan, C.W. (1999), “Foundations on rock”. E e FN SPON.
- Look, B.; “Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables”. Taylor&Francis, 2007.
- Matos Fernandes, M. (2011), “Mecânica dos Solos – Introdução à Engenharia Geotécnica”. FEUP edições, Porto.
- NP EN 1998-1:2010, Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios, Instituto Português da Qualidade;
- Pais, J. et al (2005) – Carta geológica 1:50.000, nº 34–D, (Lisboa). Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, Lisboa.
- Pais, J. et al (2006) – Notícia explicativa da Carta geológica 1:50.000, nº 34–D, (Lisboa). Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, Lisboa.
- Price, Jeff (2016) – Implications Of Groundwater Behaviour On The Geomechanics Of Rock Slope Stability, Srk consulting.

## Anexos

## ANEXO I - Boletins de Sondagens <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF

## ANEXO II – Perfis Interpretativos e Planta de Localização dos Trabalhos <sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF

### **ANEXO III – Boletins de Ensaios de Caracterização Geológica-Geotécnica <sup>4</sup>**

---

<sup>4</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF

## ANEXO IV – Boletins de Ensaios Químicos em Águas <sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF

## ANEXO V – Boletins de Ensaios Químicos em Solos <sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF

## ANEXO VI – Boletins de Ensaios de Permeabilidade do tipo Lefranc <sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF

## ANEXO VII – Boletins de Ensaios de Permeabilidade do tipo *Slug Test* <sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF

## ANEXO VIII – Boletins de Cartografia Geológica de Taludes <sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF

## ANEXO IX – Boletins de Resistividade Eléctrica <sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF