

ANEXO A – RELATÓRIO GEOTÉCNICO

1. Introdução

O presente estudo refere-se a uma faixa de terreno com forma aproximadamente rectangular com cerca de 170m de comprimento e 20m de largura, correspondente à área de implantação de passagem superior sobre a linha de caminho de ferro do Norte ao Pk 211+328.

Os estudos realizados nesta fase, tiveram como objectivo a caracterização das formações geológicas ocorrentes, no sentido de definir as condições de fundação da obra de arte e as condições de implantação da via. Nesta memória abordaremos apenas os aspectos relevantes para a caracterização das condições de fundação da estrutura.

Nesta memória, descrevem-se os trabalhos realizados, faz-se a caracterização geológico-geotécnica das formações ocorrentes e definem-se as condições de fundação da obra de arte.

Fazem parte desta memória, os boletins dos ensaios realizados e uma planta com a implantação da obra de arte e respectivo perfil longitudinal à escala $H=1/1000$ e $V=1/100$, com a localização dos trabalhos e o desenvolvimento em extensão e profundidade das unidades geológico-geotécnicas ocorrentes.

2. Trabalhos realizados

O programa de prospecção geotécnica foi elaborado após o reconhecimento de superfície da área de implantação da estrutura, tendo em consideração as características geológicas da região e a informação geotécnica necessária ao desenvolvimento do projecto.

A campanha de prospecção foi definida em conjunto com a REFER e constou de 6 sondagens mecânicas, com execução de ensaios SPT e recolha de amostras intactas e de 2 poços de reconhecimento acompanhados da recolha de amostras remexidas e visou não só a

caracterização das condições de fundação da obra de arte, mas também as condições de implantação do traçado.

Neste capítulo, descrevem-se os trabalhos de prospecção e os ensaios realizados e sistematizam-se os resultados obtidos.

Os boletins individuais relativos aos resultados dos trabalhos de prospecção e ensaios laboratoriais, são apresentados em anexo e a sua localização encontra-se devidamente assinalada nas peças desenhadas anexas à presente memória.

2.1. Poços de reconhecimento

Foram realizados dois poços de reconhecimento distribuídos por zonas de aterro ou de transição aterro-escavação. Os poços foram abertos com uma retro-escavadora e permitiram observar e caracterizar as unidades superficiais, nomeadamente definir a espessura do horizonte de terra vegetal, a profundidade do nível freático e colher amostras remexidas representativas dos materiais ocorrentes para posterior análise laboratorial. (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Síntese das principais características dos poços de reconhecimento.

Poço	Traçado	Localização (m)	Prof. atingida (m)	Terra vegetal (m)	Nível de água (m)	Litologia
P1	Rest. 1	0+280	3.20	0.60	2.40	a
P2	Rest. 2	0+050	3.20	0.60	-(*)	a

(*) – Verifica-se a existência de dois níveis de água a 1,1m e aos 2,8m.

2.2. Sondagens mecânicas

As sondagens mecânicas foram realizadas com o objectivo principal de caracterizar em profundidade os locais de fundação da obra de arte e dos respectivos aterros de encontro, tendo-se executado as 6 sondagens previstas inicialmente no programa de prospecção.

As sondagens interceptaram formações terrosas e o avanço em profundidade fez-se através da penetração destrutiva da trialeta ou/e de tubos de revestimento ou da utilização de um carotador com parede dupla, junto dos níveis mais grosseiros, tipo cascalheira. Como fluido de circulação utilizou-se água.

No decurso da furação, sempre que os materiais permitiram, foram executados ensaios de penetração dinâmica tipo SPT, de acordo com os procedimentos normativos indicados no “Report of the ISSMFE – Technical Comité on Penetration Test of Soils-TC 16”. Os ensaios foram executados sistematicamente espaçados de 1,5m entre si. No entanto, nos níveis grosseiros de cascalheira, a execução do ensaio SPT para além de pouco adequado à caracterização dos materiais devido à elevada dimensão dos blocos face à dimensão dos amostrador Terzaghi, revelou-se de difícil execução, não se cumprindo a regra geral de 1,5m de espaçamento entre ensaios.

Os ensaios SPT permitiram classificar os terrenos quanto à sua compactidade e consistência de acordo com os critérios indicados no Quadro 2.2, e possibilitaram a recolha de amostras representativas dos materiais ensaiados.

Quadro 2.2 – Classificação das areias relativamente à compactidade e das argilas relativamente à sua consistência.

N_{SPT}	Compactidade
<5	Muito solta
5 – 10	Solta
10- 30	Média
30 – 50	Compacta
>50	Muito compacta

N_{SPT}	Consistência
0-2	Muito mole
2-4	Mole
4-8	Média
8-15	Dura
15-30	Muito dura
>30	Rija

O critério de paragem definido estabelecia que as sondagens só se dariam por concluídas após a obtenção de 3 negas consecutivas nos ensaios SPT, desde que as mesmas não fossem obtidas em níveis de cascalheira. No entanto, dificuldades em perfurar e avançar no horizonte de cascalheira, nomeadamente em revestir o furo após perfuração com o carotador e/ou trialeta, não permitiram a satisfação do critério de paragem, em 2 das 6 sondagens realizadas (Quadro 3.3).

Quadro 2.3 – Síntese das principais características das sondagens mecânicas.

Sondagem	Localização (Pk)	Coordenadas (M/P)	Prof. (m)	Litologia	Ensaios SPT	Nível água (m)	Amostras intactas
S1 (2006)	0+068	168 919.88 359 722.54	24.00	a /C ³	16	3.30	-
S2 (2006)	0+100	168 916.03 359 754.53	22.50	a /C ³	16	1.70	-
S3 (2006)	0+135	168 903.90 359 788.78	18.00 (*)	a /C ³	12	1.00	-
S4 (2006)	0+170	168 902.11 359 824.73	28.50	a /C ³	17	1.10	-

S5 (2006)	0+210	168 889.35 359 860.21	25.50	a /C ³	15	(**)	9.50-10.10
S6 (2006)	0+235	168 884.44 359 882.48	15.00 (*)	a	9	0.30	3.00-3.60

(*) – Critério de paragem não satisfeito

(**) – Não foi possível medir o nível de água

2.3. Ensaio laboratoriais

Com o objectivo de caracterizar os solos ocorrentes nos níveis superficiais as amostras, remexidas e intactas foram submetidas a ensaios de identificação: análise granulométrica e determinação dos limites de Atterberg e do teor de água natural.

O programa de ensaios incluiu ainda a execução de um ensaio edométrico e de um ensaio triaxial, para caracterização das condições de consolidação e resistência das amostras intactas relativas à unidade aluvionar. Nos Quadros 2.4 e 2.5 resumem-se os resultados obtidos.

As amostras ensaiadas dizem todas respeito à unidade aluvionar superficial designada por a₁ e uma colhida na sondagem S5 aos 10.00-10.50m de profundidade representativa da unidade aluvionar inferior, designada por a₂.

Quadro 2.4 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais.

Localização (Pk)	Prof. (m)	Litologia	Granulometria (percentagem passada)			Limites de consistência LL / IP	Teor em água natural (%)	Classificação	
			# 10	# 40	# 200			AASHTO	Unificada
S5 (0+135)	10.00-10.50	a ₂	91	70	44	19 / 13	45.9 (*)	A-6 (4)	SC
S6 (0+170)	3.00-3.50	a ₁	99	94	92	49 / 19	16.67 (**)	A-7-6 (18)	CL
Poço 1 (Pk 0+280)	1.00-1.90	a ₁	85	69	85	25 / 20	17.2	A-4 (2)	SC-SM
Poço 2 (Pk 0+050)	0.80-2.50	a ₁	100	97	35	NP	18.8	A-2-4 (0)	SM

(*) – Valor estimado a partir do ensaio edométrico.

(**) - Valor médio dos provetes do ensaio triaxial.

Quadro 2.5 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais sobre amostras intactas.

Localização (Pk)	Prof. (m)	Litologia	γ (kN/m ²)	Ensaio edométrico			Ensaio triaxial	
				e_0	Cc	Cv (cm ² /s)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)
S5	9.50-10.10	a ₂	17.9	1.113	0.410	3.91*10 ⁻⁵	-	-
S6	3.00-3.60	a ₁	20.8 (*)	-	-	-	5.62	34.5

γ s – Peso específico das partículas; e_0 – Índice de Vazios; Cc – Índice de compressibilidade; Cv – Coeficiente de consolidação; c' – Coesão efectiva; ϕ' – Ângulo de atrito efectivo. (*) – Valor médio

3. Caracterização geológica

3.1. Considerações iniciais

A área em estudo situa-se na unidade da Orla Mesocenozóica Ocidental do maciço Hespérico, caracterizada pela abundância de formações sedimentares, nomeadamente calcários e grés com idade Jurássica e Cretácica, recobertos frequentemente por materiais Terciários ou Quaternários mal consolidados.

A linha do Norte, a Sul de Coimbra possui orientação W-E, desenvolvendo-se paralelamente ao rio Mondego. Nesta zona e até à foz, o rio possui características meandriformes, ocupando uma extensa zona abaixo perfeitamente plana, com o nível freático superficial e terrenos muito férteis, facilmente inundáveis durante os períodos de maior pluviosidade.

A linha férrea bordeja o limite Sul da baixa do rio, desenvolvendo-se entre terrenos planos da baixa aluvionar e os materiais Cretácicos aflorantes na base da encosta. Na zona da passagem superior, o relevo mergulha suavemente para Norte, em direcção ao leito principal do Rio.

3.2. Litologia

Do ponto de vista litológico no local da passagem superior ocorrem materiais gresosos, referenciados na carta geológica de Portugal à escala 1:500 000, como Grés de Oiã (C³) do Cretácico superior e depósitos aluvionares recentes (a) recobertos por um horizonte de terra vegetal (Tv). Na Figura 3.1 apresenta-se um extracto da carta geológica de Portugal à escala 1:500 000, com a indicação da zona em estudo.

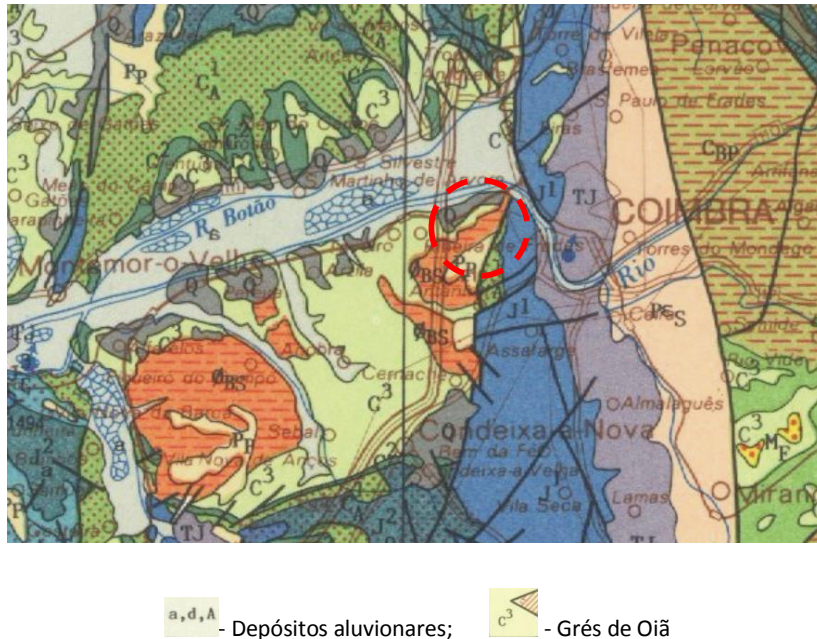


Figura 3.1 – Extracto da carta geológica de Portugal à escala 1:500 000.

Depósitos aluvionares (a):

Os depósitos aluvionares são constituídos maioritariamente por material fluvio-marinho depositado nas actuais margens do rio Mondego durante o período Holocénico.

Apesar da sua origem marcadamente fluvial ou/e marítima, admite-se que alguma material aluvionar tem também origem coluvionar, isto é, é constituído por material das encostas limítrofes, que uma vez desagregado, por gravidade e sofrendo um transporte reduzido, se acumulou na zona baixa. Neste caso, e face às características da unidade Cretácica sub-aflorante na encosta, admite-se que o horizonte superior da unidade aluvionar (a₁) silto-argiloso, com uma fracção arenosa por vezes significativa e cor castanha amarelada, corresponda a material com maior influência coluvionar.

No local de implantação da passagem superior, a unidade aluvionar possui 15 a 17m de espessura. Os resultados dos trabalhos de prospecção, sondagens geotécnicas, poços de reconhecimento e ensaios laboratoriais, permitem diferenciar 4 horizontes lito-estratigráficos com composição e características geotécnicas distintas:

a₁ – Siltes arenosos ou areias argilosas, com níveis de calhaus e cascalho intercalados, com cor castanha amarelada. Trata-se de solos dos grupos CL, SC e SM da classificação unificada ou dos sub-grupos A-2-4 (0), A-4 (2), A-7-6 (18) da classificação AASHO para fins rodoviários. Este horizonte superior desenvolve-se até aos 7.0-9.0m de profundidade.

a₂ – Argila lodosa, com areias, com matéria orgânica abundante e restos vegetais parcialmente carbonizados dispersos. Cinzenta escura a preta. Este nível possui maior expressividade junto da sondagem S5, onde possui 3.0m de espessura e uma composição acentuadamente mais lodosa, chegando a ser praticamente incipiente na zona envolvente da sondagem S3.

a₃ – Areia média a grosseira, silto-argilosa, com níveis argilosos intercalados, cinzenta escura. Este horizonte sucede em profundidade ao nível argilo-lodoso e possui 4.0m espessura máxima junto da sondagem S6 e é praticamente incipiente junto das sondagens S3 e S5.

a₄ – Base grosseira de cascalheira com areias grosseiras, seixos e calhaus rolados. Os dados disponíveis e tendo em atenção que apenas duas sondagens reconheceram peremptoriamente este horizonte de cascalheira, levam-nos admitir com algumas reservas, que a sua espessura varia entre 2.0 e 6.0m.

Trata-se de depósitos com variações de fácies à escala centimétrica, muito variável quer em extensão como em profundidade.

Grés de Oiã (C³):

A unidade aluvionar assenta sobre materiais sedimentares do Cretácico superior, designados na carta geológica de Portugal à escala 1:500 000, por Grés de Oiã ou por arenitos e argilas de Taveiro na carta geológica da Figueira da Foz, à escala 1:50 000 (folha 19-C). Trata-se de uma formação constituída essencialmente por arenitos finos a grosseiros, conglomeráticos, argilas e argilitos, em geral vermelhos-rosado que dão lugar a alternâncias muito frequentes, caracterizadas por estruturas entrecruzadas.

No local em estudo e de acordo com os resultados das sondagens geotécnicas diferenciam-se dois horizontes:

C³_a - Argila arenosa ou silte arenoso, avermelhado com raros laivos acinzentados, rija, caracterizada por valores de N_{SPT} entre 45 e 60 pancadas, tendencialmente mais elevados à medida que a profundidade aumenta.

C³_b - Areia média a fina, siltosa, avermelhada, muito compacta, caracterizada por valores de N_{SPT} superiores a 60 pancadas.

Estes dois horizontes alternam sucessivamente, definindo uma sequência errática, com continuidade lateral desconhecida. No local do traçado os níveis mais finos (C³_a) são aparentemente dominantes.

Os resultados dos ensaios SPT variam de acordo com a granulometria e compacidade/consistência dos materiais, tendendo a ser mais elevados com o aumento da profundidade e junto dos horizontes arenosos. Os resultados das duas sondagens que satisfizeram os critérios de paragem definidos, indiciam que independentemente da sua composição granulométrica a formação Cretácica a partir dos 22.0-25.0m apresenta-se muito compacta, evidenciando de modo sistemático valores de N_{SPT} superiores a 60 pancadas.

No Quadro 3.1 sistematizam-se as características dos horizontes definidos.

Quadro 3.1: Valores característicos de N_{SPT} na unidade Cretácica (Grés de Oiã).

Litologia	Descrição	N _{SPT}	Compacidade/Consistência
C ³ _a	Argila arenosa, avermelhada com raros laivos acinzentados	45-60	Rija
C ³ _b	Areia média a fina, siltosa, avermelhada	>60	Muito compacta

Os depósitos aluvionares encontram-se recobertos por um horizonte de **terra vegetal (Tv)** com 0.60m de espessura, argiloso, levemente arenoso, com matéria orgânica abundante e restos vegetais dispersos, castanho escuro.

Os **depósitos de aterro (At)** definem duas manchas, uma circunscrita ao alinhamento da linha de caminho de ferro e outra associada à implantação das edificações locais e respectivos acessos. Trata-se de materiais seleccionados, conduzidos a depósito de modo aparentemente controlado. De acordo com o levantamento de superfície, a sua espessura máxima deverá aproximar-se dos 2-3 m, no limite sul da área reconhecida.

Nas peças desenhadas anexas, apresenta-se uma planta com a localização das sondagens e um perfil onde se representa o modelo geológico-geotécnico definido.

3.3. Hidrogeologia

A morfologia suave da região e o carácter acentuadamente arenoso das formações ocorrentes, favorecem a infiltração das águas pluviais e o posicionamento superficial do nível freático. O traçado situa-se sobre o leito de cheia do rio Mondego, pelo que será expectável que o nível freático se situe sempre muito próximo da superfície.

O nível de água medido nos furos de sondagem, um dia após a sua conclusão, situa-se entre os 0.30 e 1.1m de profundidade. Nos poços o nível de água tem dificuldade em estabilizar, a água circula preferencialmente pelos níveis grosseiros da unidade aluvionar superior (a_1) situados entre 1.1m e 2,4m de profundidade.

Do ponto de vista hidrogeológico admite-se que a água circula pelos espaços livres entre os grãos definindo aquíferos por porosidade, cuja permeabilidade é controlada pela composição granulométrica e pela compacidade da formação.

Assim, pode-se admitir que estamos perante formações aquíferas muito permeáveis (A_3 e A_4), com elevada capacidade de recarga, o que juntamente com a posição topográfica da região, definem o contexto hidrogeológico local como muito produtivo e favorecem o posicionamento do nível freático muito próximo da superfície.

3.4. Sismicidade

De acordo com os sismos históricos e instrumentais registados, segundo dados compilados pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica na carta de isossistas de intensidades máximas (1986), as intensidades sísmicas máximas terão atingido o valor de VI na região da passagem superior (Figura 2.2), de acordo com a escala de Mercalli modificada.

Segundo o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP), a área em estudo situa-se na zona C, ou seja, de risco sísmico intermédio a reduzido, à qual se atribui um valor de coeficiente de sismicidade, α , de 0.5.

No mesmo regulamento, os terrenos são classificados em três tipos principais com vista à determinação do coeficiente sísmico de referência β_0 .

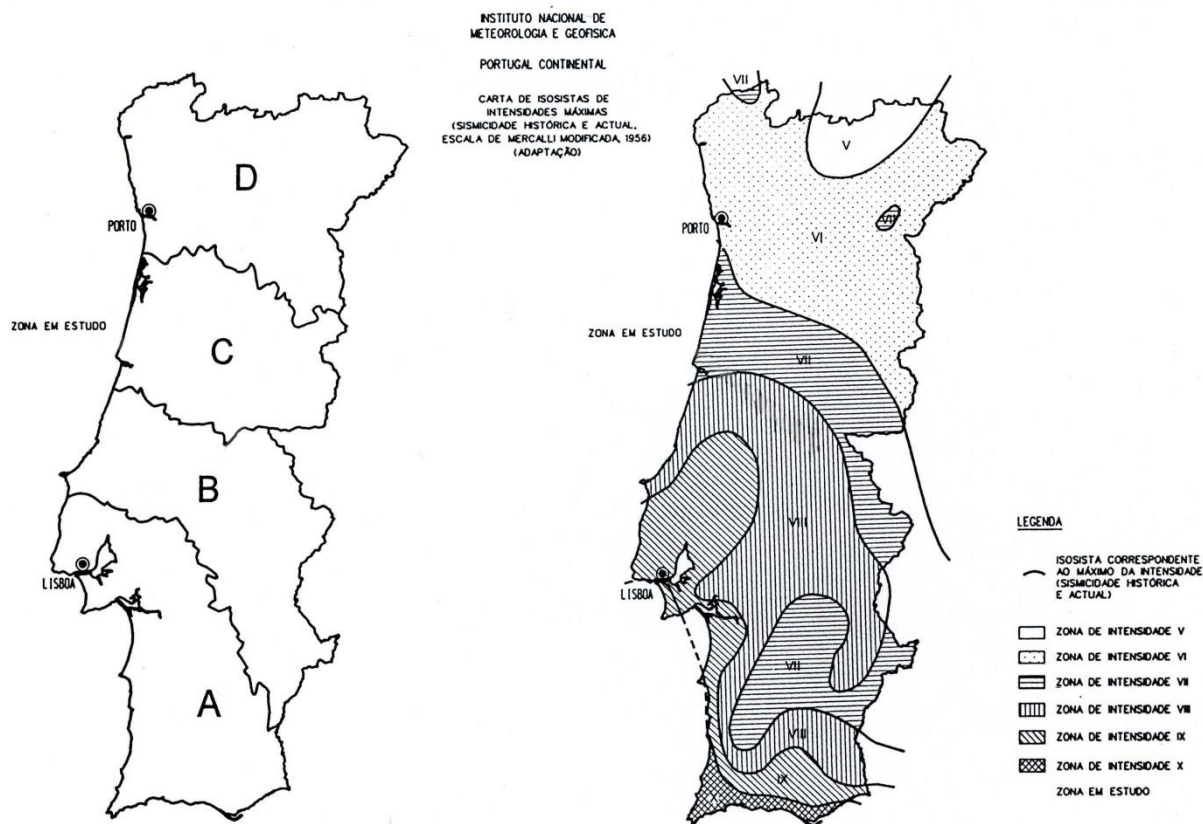
No Quadro 3.2 apresenta-se a tipologia dos terrenos cartografados de acordo com o regulamento acima referido.

Quadro 3.2 – Tipo de terrenos segundo a classificação do RSAEEP.

Unidade Geológica	Tipo de Terreno		
	I	II	III
Rochas e solos coerentes rijos		Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média, solos compactos	Solos coerentes moles e muito moles, solos incoerentes soltos
Depósitos aluvionares (a)	-	O	•
Grés de Oiã (C ³)	-	O	•

• - mais provável; O – menos provável.

Figura 3.2 – Zonamento sísmico de Portugal continental e carta de isossístas de intensidade máxima



4. Fundação da obra de arte

4.1. Considerações gerais

De acordo com o contexto geológico - geotécnico descrito nos capítulos anteriores, a área de implantação da obra de arte caracteriza-se pela ocorrência de depósitos aluvionares muito espessos assentes sobre terrenos do Cretácico superior designados por Grés de Oiã.

A unidade aluvionar possui 15-17m de máxima espessura e é constituída por uma sucessão de níveis arenosos, com granulometria muito variada, medianamente compactos a muito compactos, com um nível argilo-lodoso, medianamente consistente a duro intercalado e uma base de cascalheira sistematicamente presente.

A formação Cretácica inferior é constituída por uma sequência de areias médias a finas alternantes com argilas arenosas. Os resultados dos ensaios SPT situam-se invariavelmente acima das 45 pancadas, obtendo-se valores de nega ($N_{SPT} > 60$ pancadas) de modo sistemático a partir dos 22.0-25.0m.

O nível de água situa-se muito próximo da superfície, e a morfologia local, juntamente com a elevada permeabilidade das formações ocorrentes, leva-nos admitir um contexto hidrogeológico muito produtivo.

4.2. Condições de fundação

Na sequência do contexto geológico - geotécnico reconhecido, os elementos de fundação da obra de arte, deverão mobilizar sempre a formação Cretácica de base, uma vez que nenhum dos níveis da unidade aluvionar possui características geotécnicas adequadas ao assento das fundações.

Assim, preconiza-se a execução de fundações profundas, tipo estacas, que deverão ficar cravadas no horizonte inferior da unidade Cretácica, caracterizado por valores de N_{SPT} superiores a 60 pancadas, situado entre os 22.0 e 25.0m de profundidade. Admitindo-se que as estacas devem ficar cravadas neste horizonte pelos menos numa profundidade igual a 3 vezes o seu diâmetro, estima-se que a sua profundidade possa variar entre os 25 e 28m.