



EP SA. ER 11-2 – BARREIRO (IC21) / MOITA (IC32). ESTUDO PRÉVIO.
VOLUME III – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO. TOMO 1.1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

EP – ESTRADAS DE PORTUGAL, SA
ER 11-2 – BARREIRO (IC21) / MOITA (IC32)
ESTUDO PRÉVIO
VOLUME III – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

PEÇAS ESCRITAS

Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa
Tomo 1.2 – Prospecção Geotécnica e Ensaios

PEÇAS DESENHADAS

- 1 – BAMO-EP-GR-120-05-01 – Esboço Corográfico
- 2 – BAMO-EP-GR-120-09-01 – Legenda
- 3 – BAMO-EP-GR-120-10-01 – Planta Geológica Geral
- 4 – BAMO-EP-S1-121-41-01 – Planta e Perfil Longitudinal. Solução 1. km 0+000 a km 3+500
- 5 – BAMO-EP-S1-121-41-02 – Planta e Perfil Longitudinal. Solução 1. km 3+500 a km 4+889.529. Nó 1.3 com o IC32 – Ramo E
- 6 – BAMO-EP-A1-121-41-01 – Planta e Perfil Longitudinal. Alternativa 1. km 0+500 a km 2+123
- 7 – BAMO-EP-S2-121-41-01 – Planta e Perfil Longitudinal. Solução 2. km 0+000 a km 3+500
- 8 – BAMO-EP-S2-121-41-02 – Planta e Perfil Longitudinal. Solução 2. km 3+500 a km 4+555.376. Nó 2.2 com o IC32 – Ramos C e D
- 9 – BAMO-EP-L1-121-41-01 – Planta e Perfil Longitudinal. Ligação Provisória ao IC21. km 0+000 a km 0+580.738



EP SA. ER 11-2 – BARREIRO (IC21) / MOITA (IC32). ESTUDO PRÉVIO.

VOLUME III – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO. TOMO 1.1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

APRESENTAÇÃO



EP SA. ER 11-2 – BARREIRO (IC21) / MOITA (IC32). ESTUDO PRÉVIO.
VOLUME III – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO. TOMO 1.1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

EP – ESTRADAS DE PORTUGAL, SA
ER 11-2 – BARREIRO (IC21) / MOITA (IC32)
ESTUDO PRÉVIO
VOLUME III – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

A **CENORPLAN, Planeamento e Projectos, Lda.** apresenta o Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa, pertencente ao Volume III – Estudo Geológico e Geotécnico relativo ao Estudo Prévio da ER11-2 – BARREIRO (IC21) / MOITA (IC32).

O Estudo Geológico e Geotécnico da ER11-2 que se apresenta foi apoiado nos resultados da campanha de trabalhos de prospecção geotécnica especial e corrente realizados de acordo com o Plano de Prospecção Geotécnica aprovado pelo EP – Estradas de Portugal, SA na fase de Estudo de Viabilidade de Traçados.

Lisboa, Março de 2010

O Coordenador do Projecto

José António Amaral do Vale
(Eng.º Civil)



EP SA. ER 11-2 – BARREIRO (IC21) / MOITA (IC32). ESTUDO PRÉVIO.

VOLUME III – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO. TOMO 1.1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

ÍNDICE

ÍNDICE

TEXTO

	Pág.
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - GEOLOGIA.....	3
2.1 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA GERAL.....	3
2.2 - ESTRATIGRAFIA E LITOLOGIA.....	4
2.3 - HIDROGEOLOGIA.....	7
2.4 - SISMICIDADE E TECTÓNICA.....	9
3 - TRABALHOS DE PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA E ENSAIOS.....	17
3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	17
3.1.1 - Prospecção Mecânica e Ensaios “in situ”.....	19
3.1.2 - Ensaios de Laboratório.....	25
4 - TERRAPLENAGENS.....	31
4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	31
4.1.1 - Decapagem e Saneamento.....	32
4.1.2 - Escavações.....	32
4.1.3 - Aterros.....	35
5 - FUNDAÇÃO DAS OBRAS DE ARTE.....	41
6 - ANÁLISE COMPARATIVA DAS SOLUÇÕES.....	43
6.1 - solução 1 – solução 2.....	44
6.2 - solução 1 / Alternativa 1 - solução 2.....	45
7 - TRABALHOS DE PROSPECÇÃO PARA A FASE SEGUINTE.....	47

PEÇAS DESENHADAS

- 1 – BAMO-EP-GR-120-05-01 – Esboço Corográfico
- 2 – BAMO-EP-GR-120-09-01 – Legenda
- 3 – BAMO-EP-GR-120-10-01 – Planta Geológica Geral

- 4 – BAMO-EP-S1-121-41-01 – Planta e Perfil Longitudinal. Solução 1. km 0+000 a km 3+500
- 5 – BAMO-EP-S1-121-41-02 – Planta e Perfil Longitudinal. Solução 1. km 3+500 a km 4+889.529. Nó 1.3 com o IC32 – Ramo E
- 6 – BAMO-EP-A1-121-41-01 – Planta e Perfil Longitudinal. Alternativa 1. km 0+500 a km 2+123
- 7 – BAMO-EP-S2-121-41-01 – Planta e Perfil Longitudinal. Solução 2. km 0+000 a km 3+500
- 8 – BAMO-EP-S2-121-41-02 – Planta e Perfil Longitudinal. Solução 2. km 3+500 a km 4+555.376. Nó 2.2 com o IC32 – Ramos C e D
- 9 – BAMO-EP-L1-121-41-01 – Planta e Perfil Longitudinal. Ligação Provisória ao IC21. km 0+000 a km 0+580.738



EP SA. ER 11-2 – BARREIRO (IC21) / MOITA (IC32). ESTUDO PRÉVIO.

VOLUME III – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO. TOMO 1.1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

TEXTO

1 - INTRODUÇÃO

A presente memória descritiva diz respeito ao Estudo Geológico e Geotécnico, para a fase de Estudo Prévio, da ER11-2 Barreiro (IC21) / Moita (IC32) promovido pelo EP – Estradas de Portugal, S.A.

O traçado em estudo corresponde ao troço entre Barreiro (IC21) e Moita (IC32) e desenvolve-se com uma orientação aproximadamente W-E, contornando a sul a zona envolvente de Alhos Vedros. Nesta fase são estudadas duas soluções, uma com cerca de 4,9 km (Solução 1) e outra com cerca de 4,5 km (Solução 2) e ainda um troço de ligação ao IC21, com cerca de 600 m de extensão. Na Solução 1 foi ainda estudada uma alternativa com cerca de 1,6 km (Alternativa 1). Ambas as Soluções têm início no mesmo local, perto do Vale do Trabaco e terminam com a ligação ao IC 32.

O estudo que agora se apresenta foi apoiado na análise de um conjunto alargado de informações, nomeadamente o estudo geológico-geotécnico para o Lote 3A2, troço Lisboa-Montemor Via TTT, a cartografia geológica da região onde se inserem as soluções de traçado em estudo, realizada com base nos reconhecimentos de campo e na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha 34-D (Lisboa). Foram também atendidos os trabalhos de prospeção realizados nesta fase, com base no PPG do Estudo de Viabilidade de Traçados, aprovados pelo EP.

Neste estudo começa-se por efectuar o enquadramento geológico geral das soluções de traçado em estudo, apresentando-se, de seguida, uma descrição das unidades geológicas e das condições hidrogeológicas presentes, assim como das características estruturais e sísmicas da região. De seguida, descrevem-se os trabalhos de prospeção e ensaios que foram realizados. Com base nos resultados obtidos nos trabalhos de prospeção são, posteriormente, apresentadas algumas considerações sobre as condições gerais de execução das terraplenagens e definem-se as condições de fundação das obras de arte especiais (viadutos) e correntes. Por fim, estabelece-se uma análise comparativa entre as soluções de traçado propostas e faz-se algumas considerações sobre os trabalhos de prospeção a realizar na fase seguinte dos estudos.

No que se refere às peças desenhadas que acompanham a memória, procedeu-se à elaboração da cartografia geológica à escala 1:5 000, em função dos reconhecimentos de campo efectuados e dos trabalhos de prospeção realizados nesta fase dos estudos. Os perfis longitudinais

geológico-geotécnicos foram completados com um pente com 6 linhas, onde são discriminadas as principais disposições construtivas.

Nas plantas e nos perfis longitudinais geológico-geotécnicos, nas escalas 1/5 000 (horizontal) e 1/500 (vertical), apresenta-se ainda a localização dos trabalhos de prospecção realizados, com a representação dos respectivos resultados.

No Tomo 1.2 – Prospecção Geotécnica e Ensaios, apresentam-se os gráficos das sondagens, dos poços de reconhecimento, dos ensaios DPSH e dos boletins dos ensaios de laboratório, realizados nesta fase de Estudo Prévio.

2 - GEOLOGIA

2.1 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA GERAL

A zona em estudo encontra-se inserida na margem esquerda do rio Tejo, pertencente à Bacia Terciária do Tejo-Sado. Esta bacia constitui uma depressão alongada segundo a direcção NE-SW, que corresponde a uma depressão tectónica complexa, responsável pela evolução geológica e geomorfológica de toda a região.

A subsidência desta bacia teve uma evolução controlada por importantes acidentes tectónicos, tendo sido preenchida, posteriormente, com materiais sedimentares do Paleogénico, do Miocénico e do Pliocénico, de natureza predominantemente detrítica, cobertos em grande parte por depósitos quaternários.

No Plistocénico dá-se a inversão da tendência subsidente, passando a verificar-se um levantamento geral de quase toda a área desta bacia.

Mais recentemente, na sequência da subida do mar associada à Transgressão Flandriana, verificou-se uma invasão marinha dos paleovales do Tejo e dos seus afluentes, a qual se traduziu no enchimento destas depressões com os materiais aluvionares que formam actualmente o fundo do estuário.

A região é caracterizada por uma morfologia aplanada, a qual foi fortemente influenciada pela instalação do rio Tejo, verificando-se o predomínio dos terrenos sedimentares do Pliocénico, que apresentam estratificação sub-horizontal com uma inclinação suave para W e NW.

A topografia caracteriza-se por uma subida suave e gradual da zona ribeirinha para o lado Sul, atingindo cotas máximas da ordem dos 35 m, nas proximidades do Barreiro e da Moita.

Embora a morfologia seja suave e os terrenos ocorrentes apresentem um carácter, relativamente permeável, a rede hidrográfica apresenta-se relativamente desenvolvida, existindo várias linhas de água secundárias subsidiárias das principais.

As linhas de água mais importantes desta região são os rios Coina e Moita, situados a SW e a NE, respectivamente, das soluções de traçado em estudo. Ambos os vales são bastante abertos com perfis transversais simétricos, encontrando-se preenchidos por depósitos aluvionares, localmente, com cerca de 20 m de espessura.

A instalação do vale do Tejo, com orientação NE-SW, parece estar associado a uma falha activa profunda e muito importante (Falha do Baixo-Tejo), responsável pelo sismo de 1909 que atingiu a região de Lisboa com uma intensidade de VI a VII.

Nesta região são ainda referenciados outros acidentes tectónicos activos, com destaque para a falha da ribeira de Coina, com orientação NNW-SSE.

No que respeita às condições geológicas, verifica-se que ambas as soluções interessam terrenos essencialmente detríticos pertencentes ao Plistocénico (Formação de Marco Furado) e ao Pliocénico (Formação de Santa Marta). Os terrenos pliocénicos são constituídos, essencialmente, por areias vermelhas grosseiras com algumas intercalações argilo-siltosas. Os terrenos pertencentes ao Pliocénico são constituídos por areias de granulometria fina a grosseira, quase sempre arcósicas, com intercalações lenticulares de argilas, apresentando geralmente cores que variam desde o branco ao amarelado.

Para além destas formações, serão também interessados depósitos aluvionares que se encontram a preencher o fundo dos vales de linhas de água subsidiárias do rio Tejo, nomeadamente o rio da Moita que corresponde à linha de água mais importante e cujo vale, apresenta uma extensão superior a 400 m. A sua natureza é essencialmente, silto-arenosa, por vezes lodosa, com passagens a areias mais grosseiras.

2.2 - ESTRATIGRAFIA E LITOLOGIA

Com base no reconhecimento geológico de superfície, nas informações da Carta Geológica de Portugal e na observação obtida da amostragem das sondagens, dos poços e dos ensaios DPSH realizados, foi possível individualizar as seguintes unidades:

Moderno

At – Aterros

Estes depósitos foram detectados em duas sondagens (S1.1 e S2.8), correspondendo aos aterros que constituem duas obras viárias já existentes, nomeadamente o restabelecimento 1.1 e o IC32. Este horizonte superficial foi detectado com espessura entre cerca de 0,7 a 2,0 m. São constituídos por areias finas a médias, siltosas, monogranulares, com restos de matéria orgânica e fragmentos de cerâmica, de cor amarelada a castanho-acinzentada. No único ensaio SPT realizado nestes depósitos obtiveram-se 12 pancadas, pelo que se considera que estes solos se apresentam medianamente compactos.

a – Aluviões

Estes depósitos foram reconhecidos nas sondagens S1.C.2, S1.4 a S1.8, S2.8 e S2.10, no poço de reconhecimento P1.3 e em todos os ensaios DPSH, com excepção dos DPSH 1.3, 2.2 e L1. Devem a sua origem aos materiais transportados pelas linhas de água afluentes do rio Tejo. Na zona em estudo, assumem especial importância, sendo constituídas por uma camada superior de areias médias a finas, siltosas, por vezes argilosas, de cor esbranquiçada a amarelada, com espessura entre cerca de 2,0 e 8,0 m, soltas a compactas, com valores de N_{SPT} mais correntes entre 10 e 40, podendo ocorrer intercalações mais compactas com valores de N_{SPT} superiores a 60. Subjacente a este horizonte, ocorrem argilas lodosas, por vezes com intercalações de níveis lenticulares de areias lodosas, de cor acinzentadas. A espessura total do horizonte lodoso com intercalações areno-lodosas varia entre 6,0 e 8,0 m. Os lodos apresentam consistência muito mole a mole, com valores de N_{SPT} entre 0 e 5, apresentando elevada compressibilidade. Quando mais siltosos ou arenosos, apresentam-se medianamente compactos, tendo-se obtido um valor de N_{SPT} de 16. Inferiormente aos lodos ocorre, por vezes, um horizonte de argilas silto-arenosas e de areias siltosas, também de cor acinzentada, mais consolidadas, com espessura entre cerca de 3,0 a 5,0 m e soltas a medianamente compactas, com valores de N_{SPT} entre 6 e 20. Os valores mais elevados de N_{SPT} terão sido obtidos quando se interceptaram níveis de areias constituídas por alguns calhaus ou seixos. Nos ensaios DPSH realizados obtiveram-se valores de resistência de ponta (q_d) entre 1,4 e 2,9 MPa, sendo que nos níveis arenosos são mais elevados, chegando aos 27,0 MPa. A espessura atingida nestes ensaios variou entre 0,5 e 7,5 m. A espessura máxima das aluviões reconhecida foi de 19 m.

Plistocénico

Q_{MF} – “Formação de Marco Furado”

A Formação de Marco Furado (Q_{MF}) foi reconhecida nas sondagens S1.1, S2.1, S2.2, S2.3 e S2.4, nos poços PL.1, P1.1, P2.1 e P2.3, e nos DPSH L1 e L2. Ocorre essencialmente nos pontos mais elevados do sector Barreiro-Moita, formando cabeços dispersos pela planície. É constituída por uma matriz areno-argilosa, amarelo-avermelhada, por vezes acastanhada, com fracção grosseira abundante, constituída por calhaus de quartzo anguloso a sub-anguloso, cuja espessura não ultrapassa 30-40 m. Esta formação inclui, ainda, intercalações de argilas siltosas, frequentemente cobertas por areias finas. Estes depósitos plistocénicos têm uma geometria muito irregular e descontínua. Nas sondagens realizadas verifica-se que esta formação apresenta valores limites de N_{SPT} entre 7 e 60, sendo que os valores mais correntes são entre 25 e 32, considerando-se que esta formação se encontra medianamente compacta a compacta. A espessura máxima detectada foi de 19 m. Os perfis sísmicos PS(B003) e PS(B004) evidenciaram velocidades da ordem dos 370-590 m/s, até cerca dos 5 m de profundidade, e velocidades superiores a maior profundidade. Dos ensaios DPSH L1 e L2 realizados nesta formação, resultaram valores entre 5 e 90 MPa, até aos 9,6 m de profundidade.

Pliocénico

P – “Formação de Santa Marta”

A Formação de Santa Marta (P) foi interessada em todos os trabalhos de prospecção efectuados, com excepção dos poços PL.1, P1.1, P2.1 e P2.3 e pelos DPSH L1 e L2, e corresponde a um complexo detrítico greso-argiloso, sendo a formação com maior expressão na região em estudo. Está representada, quase exclusivamente, por areias com intercalações lenticulares de argilas. Trata-se de sedimentos de origem fluvial que definem uma superfície aplanada, mergulhante para SW. As areias, quase sempre arcóscicas, apresentam granulometria fina a grosseira e, por vezes, estratificação entrecruzada. A cor é variável, desde o branco ao vermelho e ao amarelo. Os resultados dos ensaios SPT realizados nas sondagens, revelaram um dispositivo onde prevalecem as fácies granulares muito compactas, com valores de N_{SPT} quase sempre superiores a 60, representadas por areias finas a médias, siltosas, brancas e amarelas. Superficialmente, apresenta, em algumas situações, um

horizonte mais descomprimido com cerca de 1,5 m de espessura, com graus de compactidade que vão desde solto a muito compacto. Na sondagem S2.8 foi detectado um horizonte silto-argiloso e argilo-arenoso com cerca de 8 m de espessura, duro a muito duro, com valores de N_{SPT} entre 13 e 27.

2.3 - HIDROGEOLOGIA

No que respeita às características hidrogeológicas, são interessadas, sobretudo, areias, por vezes argilosas, pertencentes ao Pliocénico e Plistocénico, cobertas, nas zonas das linhas de água afluentes do rio Tejo, por deposições aluvionares recentes.

Estas formações sobrepõem-se ao miocénico, constituído por séries areníticas e calcareníticas com espessuras consideráveis e grande homogeneidade granulométrica, por vezes com intercalações de níveis argilosos com alguma espessura.

As formações aluvionares com prevalência da fracção fina e os depósitos de aterro têm geralmente permeabilidade elevada. Os níveis arenosos são mais permeáveis, por sua vez, mais susceptíveis de facultar produtividades hidrogeológicas um pouco superiores sem contudo mobilizarem caudais significativos, dado o seu desenvolvimento lenticular.

O complexo Miocénico, presente em profundidade, assume-se como a principal unidade aquífera, sendo susceptível de facultar caudais importantes, embora a profundidades da ordem das duas centenas de metros. As formações pliocénicas e miocénicas constituem, no seu conjunto, o denominado Sistema Aquífero da Margem Esquerda do rio Tejo. Quando os níveis argilosos têm desenvolvimento lateral significativo, podem determinar a existência de confinamento do aquífero miocénico em relação ao pliocénico. Desta complexidade litológica e estrutural, resulta uma alternância de camadas aquíferas separadas por outras de permeabilidade baixa ou muito baixa (aquitardos e aquíclusos), nalguns locais com predomínio de uma ou outra classe de formações hidrogeológicas. As características do sistema variam em função da importância das camadas pliocénicas e da constituição e espessura das formações miocénicas. Nos concelhos do Barreiro e do Seixal são referenciados numerosos furos com artesianismo repuxante.

No quadro seguinte encontram-se representados os níveis freáticos detectados nos trabalhos de prospecção realizados nesta fase. Verifica-se que os níveis variam entre 0,5 e 12,0 m de profundidade. Os níveis de água detectados nas sondagens devem, no entanto, ser tomados com algum cuidado, uma vez que não correspondem a níveis estabilizados, encontrando-se por isso, afectados pelas águas utilizadas durante o processo de execução das sondagens.

NÍVEIS DE ÁGUA DETECTADOS NOS TRABALHOS DE PROSPECÇÃO EFECTUADOS

Solução	Sondagem	Localização aproximada (km)	Tipo de intervenção	Prof. (m)	Formações geológicas	Nível de água (m)
Solução 1	S1.1	0+470	Rest. 1.1	24,23	At / Q _{MF} / P	7,0
	S1.2	2+144	Rest. 1.5	12,41	P	3,0
	S1.3	4+380	Viaduto	15,25	P	3,0
	S1.4	4+510	Viaduto	18,27	a / P	1,5
	S1.5	4+720	Viaduto	21,25	a / P	1,5
	S1.6	4+880	Viaduto	25,88	a / P	1,5
	S2.9	1+590	Rest. 1.4	15,27	P	1,0
	S1.C.2	-	-	16,72	a / P	1,5
Solução 1 – Ramo E	S1.7	0+190	Viaduto	27,30	a / P	3,0
	S1.8	0+230	Viaduto	28,86	a / P	1,5
Solução 2	S2.1	0+439	Rest. 2.1	24,22	Q _{MF} / P	6,0
	S2.2	0+987	Rest. 2.2	19,64	Q _{MF} / P	7,0
	S2.3	1+550	Rest. 2.3	16,78	Q _{MF} / P	4,0
	S2.4	2+188	Rest. 2.4	18,40	Q _{MF} / P	4,5
	S2.5	3+106	Rest. 2.5	15,30	P	12,0
	S2.6	0+850	Escavação / Aterro	21,30	P	6,0
	S2.7	4+390	P.I. 2.6	13,77	P	7,5
	S2.8	4+500	P.S. 2 IC32	27,25	At / a / P	3,0
	P 2.1	1+970	Escavação/ Aterro	4,2	Q _{MF}	0,5
Alternativa 1	SA.2	1+605	Rest. A1.4	10,78	P	2,0

Quanto aos trabalhos de terraplenagem não são expectáveis grandes dificuldades. Pese embora o cenário genericamente favorável relativamente aos aterros, será de ter em conta a necessidade de

assegurar a drenagem da fundação em zonas com condições propícias à acumulação de água, como sejam zonas em depressão, ou zonas húmidas pela influência de linhas de água próximas. No que se refere às escavações, não será de excluir a possibilidade de virem a ser interceptados alguns níveis aquíferos suspensos, com carácter difuso, sazonal e com caudais relativamente modestos.

Relativamente às obras de arte não se antecipam condicionalismos relevantes, muito embora possam sobrevir algumas dificuldades na execução das fundações, em função dos gradientes hidráulicos instalados.

2.4 - SISMICIDADE E TECTÓNICA

O território continental português localiza-se na placa euro-asiática, a Norte da fractura Açores-Gibraltar, que constitui a fronteira entre esta placa e a placa africana. Portugal pertence à subplaca ibérica, que se encontra separada da parte restante da área continental europeia pela cadeia pirenaica.

Ao localizar-se numa posição de transição entre as placas africa-ibérica e as regiões interiores continentais mais estáveis do NW da Europa, encontra-se, por essa razão, mais susceptível, quer aos sismos de maior magnitude a uma maior distância focal, com origem no mar, na zona activa interplacas, quer aos sismos de magnitude moderada a pequena distância focal, com origem na zona continental intraplaca, de menor actividade sísmica.

Podem assim considerar-se duas grandes zonas de actividade sísmica que afectam o território continental:

- Zona activa interplacas, ao longo da fronteira Açores-Gibraltar, responsável pela actividade sísmica no mar, nomeadamente no Banco de Gorringe, que tem dado origem aos maiores sismos históricos que atingiram o continente (1356, 1531, 1755 e 1969);
- Zona activa intraplacas, sede de uma actividade sísmica moderada e difusa, mais afastada da fronteira de placas.

Atendendo à carta de isossistas de intensidades máximas observadas até à actualidade, elaborada pelo Instituto de Meteorologia (Figura 1-I), verifica-se que a zona em estudo se situa numa zona com grau de intensidade sísmica máxima de IX.

O Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP, 1983), para efeitos de quantificação das acções sísmicas, considera o país dividido em quatro zonas sísmicas (Figura 1-II). A região onde se insere este estudo situa-se na zona sísmica A, que corresponde a uma zona de alto risco sísmico, com um coeficiente de sismicidade $\alpha = 1,0$, conforme o quadro seguinte.

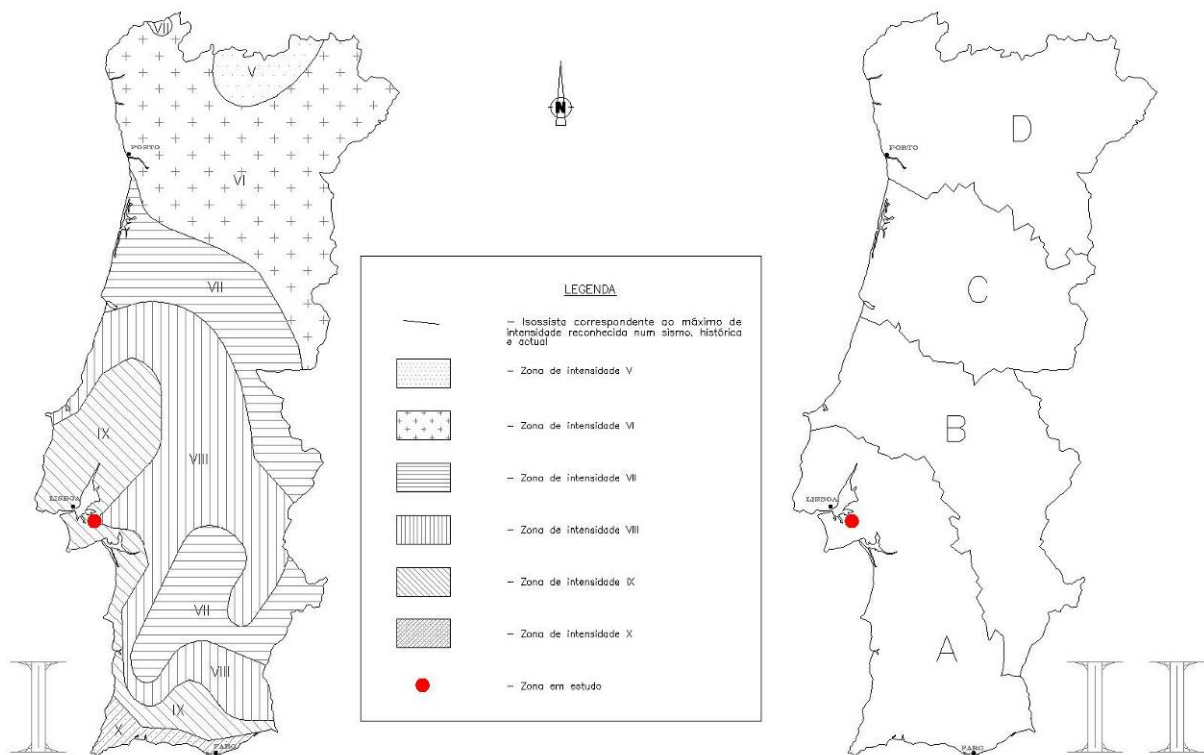


Figura 1 – Carta de isossistas de intensidades máximas, segundo o Instituto de Meteorologia (I); divisão do território nacional em zonas sísmicas, segundo o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas e Pontes (II)

ZONAS SÍSMICAS EM PORTUGAL

Zona sísmica	Coefficiente de sismicidade, α
A	1,0
B	0,7
C	0,5
D	0,3

Este regulamento define ainda os espectros de potência traduzidos por um coeficiente sísmico de referência (β_0) que, apesar de já ter em conta a estrutura a edificar, depende ainda da natureza dos terrenos.

Relativamente à natureza dos terrenos, e tendo em vista a definição de β_0 , apresenta-se no quadro seguinte a respectiva tipologia, a qual deve ser considerada apenas como um elemento indicativo.

TIPOLOGIA DOS TERRENOS COM VISTA À DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE SÍSMICO DE REFERÊNCIA, β_0 (SEGUNDO RSAEEP, 1983)

Formações ocorrentes	Tipo de terreno		
	Tipo I	Tipo II	Tipo III
	Rochas e solos coerentes rijos	Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média, solos incoerentes compactos	Solos coerentes moles e muito moles, solos incoerentes soltos
Depósitos aluvionares (a)		+	++
Complexos detriticos do Plistocénico (Q_{MF}) e do Pliocénico (P)	+	++	

Nota: ++ Mais provável; + Menos provável

Com base no estudo elaborado por Oliveira, C.S. (1976 e 1977), onde foram produzidas cartas de risco sísmico para o território continental, apresenta-se, no quadro seguinte, o intervalo de valores a considerar para a aceleração, velocidade e deslocamento produzidos por um sismo com um período de retorno de 1000 anos (Figura 2).

**INTERVALO DE VALORES A CONSIDERAR PARA A ACELERAÇÃO, VELOCIDADE E
 DESLOCAMENTO PRODUZIDOS POR UM SISMO COM UM PERÍODO DE RETORNO DE 1 000
 ANOS (SEGUNDO OLIVEIRA, C.S., 1976 E 1977)**

	Traçado
Aceleração (cm.s⁻²)	> 150
Velocidade (cm.s⁻¹)	> 18
Deslocamento (cm)	> 8

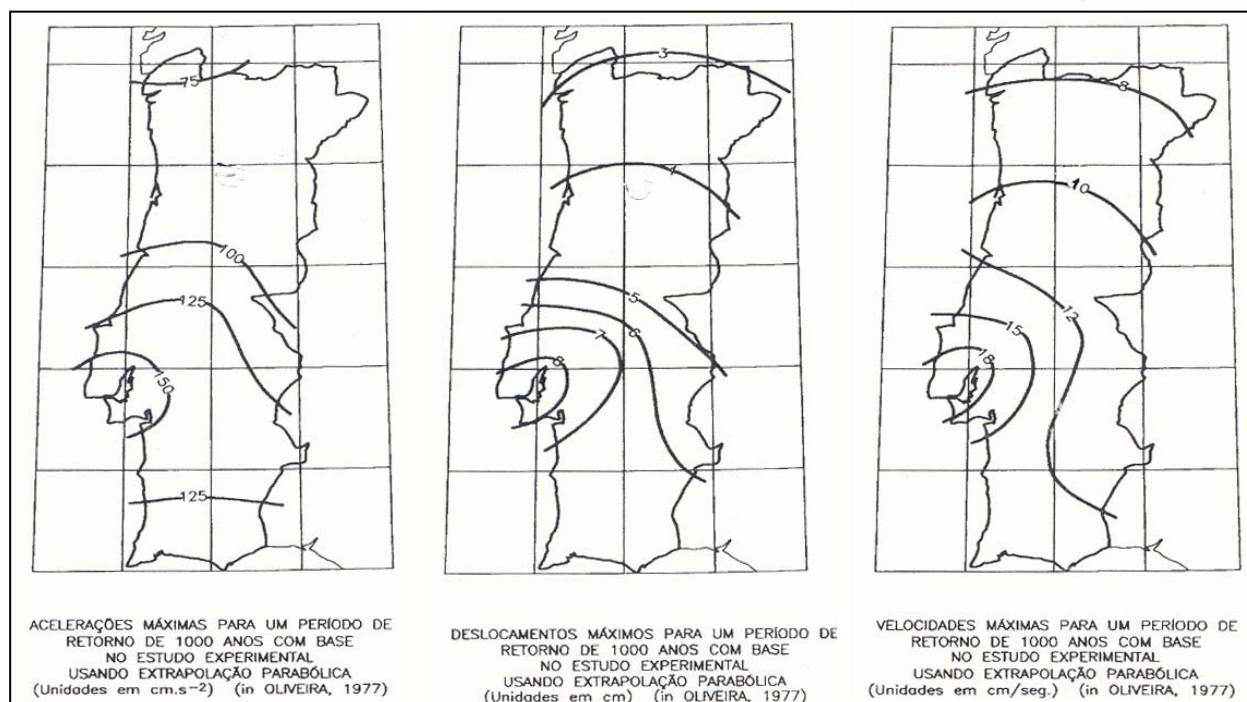


Figura 2 – Parâmetros sísmicos para um período de retorno de 1 000 anos, adaptado de Oliveira, C.S. (1976 e 1977)

Na Figura 3 apresenta-se um extracto da Carta Neotectónica de Portugal Continental, à escala 1:1 000 000 com a localização das soluções de traçado em estudo.

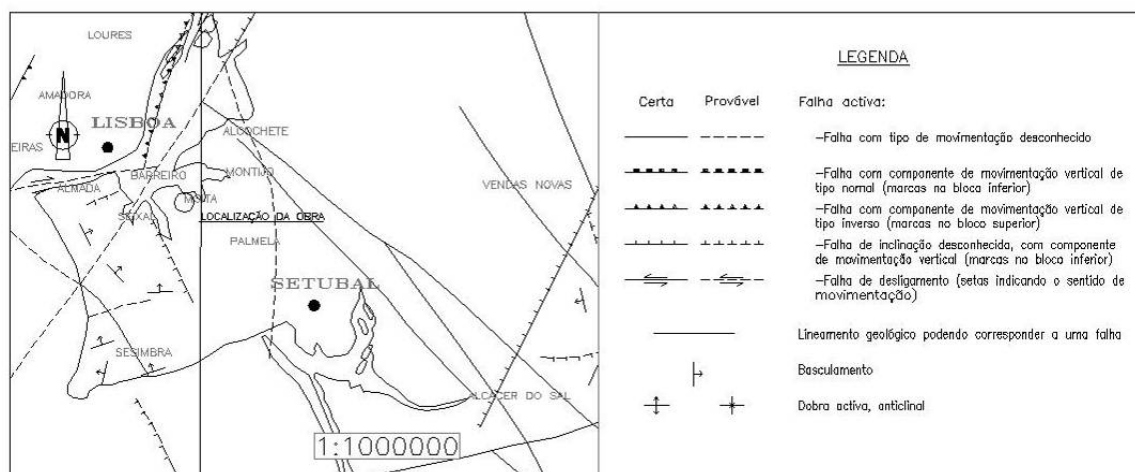


Figura 3 – Extracto da carta neotectónica de Portugal Continental com a localização do traçado em estudo

Para efeitos do zonamento sísmico segundo o Anexo Nacional ao EC8 (Carvalho, 2007) considera-se que a região onde se insere o traçado se situa na zona sísmica 1.3 para o cenário de sismo afastado/sismo interplacas (Acção Sísmica Tipo 1) e na zona sísmica 2.3 para o cenário de sismo próximo/sismo intraplaca (Acção Sísmica Tipo 2) (Figura 4).

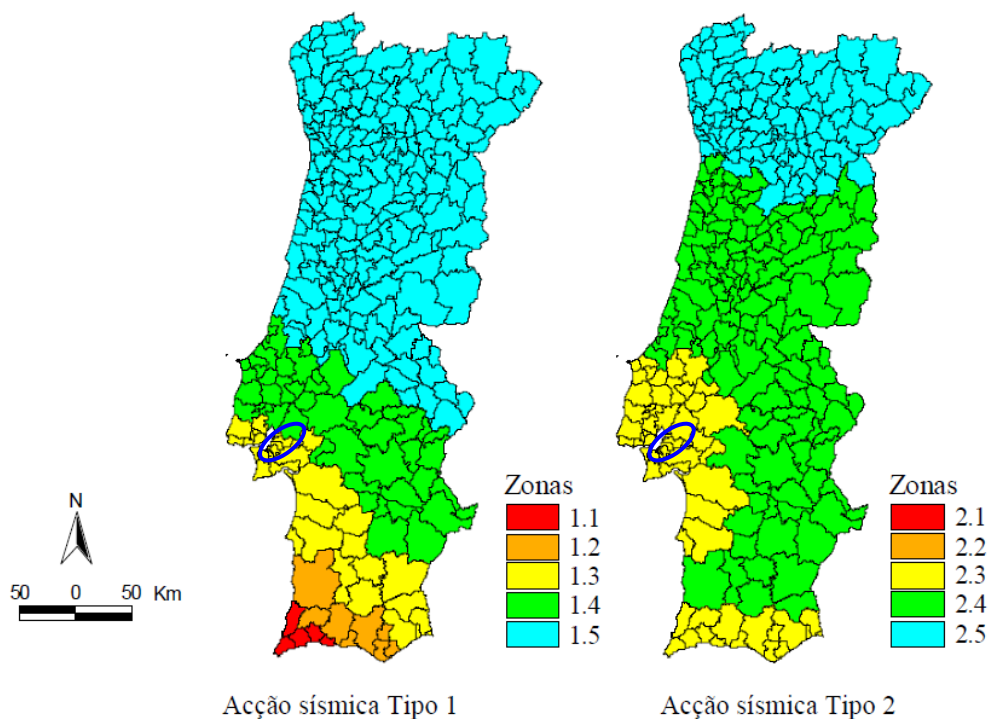


Figura 4 – Zonamento sísmico de Portugal Continental, segundo Carvalho (2007), para o cenário de sismo afastado/sismo interplacas (Acção Sísmica Tipo 1) e para o cenário de sismo próximo/sismo intraplaca (Acção Sísmica Tipo 2), com localização do sublanço com um círculo azul

É de referir que o Anexo Nacional ao EC8 ainda se encontra em discussão pela Comissão Técnica, podendo o zonamento sísmico acima apresentado vir a ser aferido, apesar de, no entanto, a aceleração para cada uma das zonas consideradas não vir a ser afectada.

Relativamente à natureza dos terrenos, os depósitos aluvionares correspondem a solos do tipo D. As formações pertencentes ao Plistocénico e ao Pliocénico correspondem a solos do tipo C (quadro seguinte).

TIPOS DE TERRENO DEFINIDOS DE ACORDO COM O EC8

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (pancadas/30 cm)	C_u (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material menos resistente à superfície	> 800	-	-
B	Depósitos de areia muito compacta, de cascalho ou de argila muito rija com, pelo menos, várias dezenas de metros de espessura, 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 cascalho ou de argila rija, com uma espessura desde várias dezenas a 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 do solo com um estrato aluvionar superficial, com valores de V_s do tipo C ou D e espessura a variar entre cerca de 5 m e 20 m, sobrejacente a um estrato mais rígido com $V_{s,30} > 800$ m/s	-	-	-
S_1	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
S_2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A - E ou S_1	-	-	-

3 - TRABALHOS DE PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA E ENSAIOS

3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com o objectivo de definir, num nível preliminar, as condições geológico-geotécnicas nos locais das escavações e dos aterros mais importantes, as características dos materiais a escavar, tendo em vista a reutilização nos aterros, bem como ainda as condições de fundação das principais obras de arte, nesta fase dos estudos, foram realizados alguns trabalhos de prospecção geotécnica, constituídos por:

- 21 sondagens mecânicas a trado com execução de ensaios SPT;
- 14 ensaios com penetrómetro dinâmico super-pesado (DPSH);
- 10 poços de reconhecimento, nos quais foram recolhidas 10 amostras remexidas para a realização de ensaios de laboratório;

No Programa de Prospecção Geotécnica, aprovado pelo EP, na fase de Estudos de Viabilidade de Traçados, previu-se a realização de 20 sondagens mecânicas (S1.1 a S1.8, S2.1 a S2.10, SA.1 e SA.2), ao longo das soluções de traçado em estudo. No entanto, as informações obtidas nas sondagens revelaram condições desfavoráveis para a execução do viaduto sobre o rio da Moita e para os nós de ligação ao IC32, nomeadamente na Solução 1, dado que foram reconhecidos depósitos aluvionares, com cerca de 19 m de espessura. Assim, com o objectivo de estudar uma ligação alternativa à ligação ao IC32, foi realizada, em comum acordo com o EP, uma sondagem à rotação adicional (S1.C.2).

Para além dos trabalhos de prospecção e ensaios realizados nesta fase, foram ainda consideradas, a título indicativo, as informações de alguns trabalhos de prospecção realizados nas proximidades do traçado em estudo proposto para a ER11-2, no âmbito do estudo para o Lote 3A2, troço Lisboa-Montemor Via TTT. Estes trabalhos foram constituídos por uma sondagem mecânica a trado, um poço de reconhecimento, dois perfis sísmicos de refração e um ensaio com penetrómetro dinâmico ligeiro.

Os trabalhos de prospecção e ensaios realizados procuraram atingir, basicamente, os seguintes objectivos, a um nível preliminar:

- Definição da litologia e estrutura das formações ocorrentes em cada local;
- Avaliação das condições hidrogeológicas;
- Análise das condições de atravessamento das baixas aluvionares;
- Avaliação das condições de desmonte dos materiais a escavar, baseada na resistência dos terrenos;
- Avaliação das condições de fundação dos aterros;
- Definição da geometria a utilizar nos taludes de escavação e de aterro;
- Identificação das características dos materiais das escavações tendo em vista a sua reutilização nos aterros;
- Estudo das condições de fundação da plataforma viária, quando esta assenta em zonas de escavação;
- Avaliação da eventual necessidade de dispositivos de drenagem nos taludes de escavação, na fundação dos aterros e nas zonas de transição escavação/aterro;
- Definição do dispositivo geológico-geotécnico ocorrente no local das obras de arte correntes e especiais e estabelecimento das respectivas condições de fundação.

Foi ainda realizado o reconhecimento geológico de superfície e a cartografia das unidades geológicas principais ocorrentes na zona em estudo que, em conjunto com os resultados dos trabalhos de prospecção, permitiram caracterizar os terrenos interessados.

Com os elementos obtidos no reconhecimento geológico de superfície e na compilação dos elementos de prospecção realizados, foram elaboradas uma planta e um perfil geológico-geotécnico longitudinal, à escala 1/5 000 da Solução 1 (Desenhos BAMO-EP-S1-121-41-01 e 02), da Alternativa 1 (BAMO-EP-A1-121-41-01), da Solução 2 (BAMO-EP-S2-121-41-01 e 02) e da Ligação ao IC21 (BAMO-EP-L1-121-41-01).

Os diagramas das sondagens a trado, dos poços de reconhecimento e dos ensaios DPSH, bem como os boletins dos ensaios de laboratório, serão apresentados no Tomo 1.2 - Prospecção Geotécnica e Ensaios.

3.1.1 - Prospecção Mecânica e Ensaios “in situ”

3.1.1.1 - Poços de Reconhecimento

Ao longo das soluções de traçado, foram realizados 10 poços de reconhecimento, com recurso a máquina retroescavadora, tendo atingido profundidades compreendidas entre 3,5 e 4,3 m.

Os poços visaram preferencialmente as zonas de transição escavação/aterros e tiveram por principal objectivo, num nível preliminar:

- A avaliação da espessura de terra vegetal e a determinação da natureza dos terrenos superficiais atravessados, nomeadamente dos depósitos aluvionares, e das características do topo do substrato;
- A identificação de eventuais níveis de água;
- A recolha de amostras remexidas para ensaios de laboratório;
- A definição das condições de fundação dos aterros.

Os diagramas individuais dos poços efectuados ilustram a caracterização litológica e estratigráfica dos diversos horizontes atravessados, com base na análise macroscópica da amostragem. Os boletins dos poços efectuados encontram-se no Tomo 1.2 - Prospecção Geotécnica e Ensaios.

No quadro seguinte resumem-se os principais resultados dos poços de reconhecimento realizados, onde se indica a localização, as formações geológicas interessadas, as profundidades atingidas, a profundidade do nível de água quando detectado e a espessura de terra vegetal observada.

RESUMO DOS RESULTADOS DOS POÇOS DE RECONHECIMENTO

Solução	Poço	Localização aproximada (km)	Tipo de intervenção	Prof. de recolha da amostra (m)	Formações geológicas	Profundidade do poço (m)	Nível de água (m)	Espessura de terra vegetal (m)
Solução 1	P 1.1	0+650	Escavação	0,4-4,2	Q _{MF}	4,2	-	0,4
	P 1.2	1+060	Escavação/Aterro	0,7-4,3	P	4,3	-	0,7
	P 1.3	2+775	P.I. 1.6	1,0-3,5	a / P	3,5	-	-
	P 1.4	3+517	P.I. 1.7	0,5-4,1	P	4,1	-	0,5
	P 1.5	4+079	P.I. 1.8	2,2-4,0	P	4,0	-	0,5
Solução 1 – Ramo E	P 1.6	0+385	Aterro	0,9-4,1	P	4,1	-	0,9
Solução 2	P 2.1	1+970	Escavação/Aterro	1,7-4,2	Q _{MF}	4,2	0,5	0,5
	P 2.2	3+270	Escavação/Aterro	1,7-4,0	P	4,2	-	0,5
	P 2.3	0+160	Escavação	0,5-4,1	Q _{MF}	4,1	-	0,5
Ligação IC21	P L.1	0+350	Escavação	0,7-4,1	Q _{MF}	4,1	-	0,7

3.1.1.2 - Sondagens Mecânicas

Foram realizadas 21 sondagens mecânicas à rotação com trado oco, com diâmetro de furação de 200 mm. As profundidades atingidas ficaram compreendidas entre cerca de 10,78 e 28,86 m.

Nestas sondagens foram efectuados ensaios de penetração dinâmica SPT de 1,5 em 1,5 m, realizados segundo as técnicas normalizadas, em que se efectua uma primeira penetração de 15 cm (1ª fase), seguindo-se uma penetração de 30 cm (2ª fase). O ensaio é dado por concluído assim que são atingidas 60 pancadas em qualquer uma das fases.

Com as sondagens e os ensaios SPT realizados pretendeu-se obter elementos sobre a natureza litológica e a compacidade e/ou consistência das diferentes formações, a ocorrência de eventuais acidentes tectónicos não detectados à superfície, bem como as respectivas características mecânicas e hidrogeológicas, e ainda a natureza e espessura dos depósitos aluvionares.

Os diagramas individuais das sondagens efectuadas encontram-se no Tomo 1.2 - Prospecção Geotécnica e Ensaio.

No quadro seguinte resumem-se os principais resultados das sondagens mecânicas realizadas nesta fase, onde se indica a localização e as profundidades atingidas, as formações geológicas interessadas, a profundidade do nível de água quando detectado e a espessura de terra vegetal observada.

RESUMO DOS RESULTADOS DAS SONDAJENS

Solução	Sondagem	Localização aproximada (km)	Tipo de intervenção	Prof. (m)	Formações geológicas	Nível de água (m)	Espessura de terra vegetal (m)
Solução 1	S1.1	0+470	Rest. 1.1	24,23	At / Q _{MF} / P	7,0	-
	S1.2	2+144	Rest. 1.5	12,41	P	3,0	0,2
	S1.3	4+380	Viaduto	15,25	P	3,0	0,5
	S1.4	4+510	Viaduto	18,27	a / P	1,5	-
	S1.5	4+720	Viaduto	21,25	a / P	1,5	-
	S1.6	4+880	Viaduto	25,88	a / P	1,5	-
	S2.9	1+590	Rest. 1.4	15,27	P	1,0	0,2
	S1.C.2	-	-	16,72	a / P	1,5	0,4
Solução 1 – Ramo E	S1.7	0+190	Viaduto	27,30	a / P	3,0	-
	S1.8	0+230	Viaduto	28,86	a / P	1,5	-
Solução 2	S2.1	0+439	Rest. 2.1	24,22	Q _{MF} / P	6,0	0,1
	S2.2	0+987	Rest. 2.2	19,64	Q _{MF} / P	7,0	0,2
	S2.3	1+550	Rest. 2.3	16,78	Q _{MF} / P	4,0	0,2
	S2.4	2+188	Rest. 2.4	18,40	Q _{MF} / P	4,5	0,2
	S2.5	3+106	Rest. 2.5	15,30	P	12,0	0,2
	S2.6	0+850	Escavação / Aterro	21,30	P	6,0	-
	S2.7	4+390	P.I. 2.6	13,77	P	7,5	-
	S2.8	4+500	P.S. 2 IC32	27,25	At / a / P	3,0	-
	S2.10	-	-	27,15	a / P	-	0,7
Alternativa 1	SA.1	0+990	Rest. A1.2	12,32	P	-	-
	SA.2	1+605	Rest. A1.4	10,78	P	2,0	0,2

3.1.1.2.1 - Critérios utilizados na classificação

Os elementos utilizados na classificação das sondagens, que se encontram no cabeçalho de cada um dos diagramas individuais, foram os seguintes:

- Dados de furação:
 - Tipo de furação;
 - Diâmetro de furação.
- Profundidades a que ocorrem as diferentes camadas;
- Geologia:
 - Perfil geológico (com as unidades geológicas ocorrentes e respectivas simbologias);
 - Descrição litológica (das diferentes camadas atravessadas).
- SPT (ensaio de penetração dinâmica) em que é anotado o número de pancadas (N) correspondente à penetração inicial de 15 cm (1ª fase), seguindo-se o registo do número de pancadas correspondente à cravação dos 30 cm seguintes (2ª fase). Os resultados obtidos nos ensaios SPT permitiram classificar os terrenos quanto à consistência e/ou compacidade com base nos critérios definidos nos quadros seguintes;

CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CONSISTÊNCIA

N (SPT)	Consistência	Resistência à compressão simples (kPa)
0 - 2	Muito mole	< 25
2 - 4	Mole	25 - 50
4 - 8	Média	50 - 100
8 - 15	Dura	100 - 200
15 - 30	Muito dura	200 - 400
> 30	Rija	> 400

CLASSIFICAÇÃO QUANTO À COMPACIDADE

N (SPT)	Grau de compactade	Índice de compactade (I _b)
< 4	Muito solto	≤ 0,15
4 - 10	Solto	0,15 - 0,35
10 - 30	Medianamente compacto	0,35 - 0,65
30 - 50	Compacto	0,65 - 0,85
> 50	Muito compacto	0,85 - 1,00

- Posição do nível freático.

3.1.1.3 - Ensaios com Penetrómetro Dinâmico Super-Pesado (DPSH)

Pretendeu-se com a realização destes ensaios caracterizar, em termos de resistência de ponta, os depósitos aluvionares, na perspectiva dos condicionalismos que poderão impor à fundação dos aterros e das obras de arte a construir. Foram realizados 14 ensaios, cuja localização se apresenta nas plantas e perfis geológico-geotécnicos.

As principais características do equipamento utilizado são:

- Diâmetro da ponteira: 50,5 mm;
- Diâmetro das varas: 35 mm;
- Peso do batente: 30 kg;
- Peso de cada vara: 6 kg;
- Peso do pilão: 63,5 kg;
- Altura de queda: 75 cm.

Os gráficos relativos a estes ensaios encontram-se no Tomo 1.2 - Prospecção Geotécnica e Ensaio. Nos registos representa-se a variação da resistência dinâmica de ponta (qd) com a profundidade e o número de golpes (N) correspondentes a cada 10 cm de penetração.

No quadro seguinte resumem-se os principais resultados dos ensaios realizados com o penetrómetro dinâmico super-pesado, ao longo das soluções de traçado em estudo, onde se indica a localização, as formações geológicas interessadas, as profundidades atingidas e a variação de valores de resistência de ponta obtidos.

RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS COM PENETRÓMETRO DINÂMICO SUPER-PESADO (DPSH)

Solução	Designação	Localização aproximada (km)	Tipo de intervenção a realizar	Formação geológica	Profundidade (m)	Resistência dinâmica (qd) (MPa)
Solução 1	DPSH 1.1	0+930	Aterro	a / P	0.0 – 2.1	1.5 – 1.4
					2.2 – 5.3	2.7 – 70.1
	DPSH 1.2	1+388	P.I. 1.3	a / P	0.0 – 2.1	1.5 – 12.9
					2.2 – 2.8	16.3 – 81.4
	DPSH 1.3	1+650	Aterro	P	0.0 – 1.8	0.0 – 21.5
					1.9 – 2.3	28.7 – 81.4
DPSH 1.4	2+680	Aterro	a / P	0.0 – 3.6	0.0 – 21.9	
				3.7 – 4.7	24.5 – 73.5	
Solução 2	DPSH 2.1	1+270	Aterro	a / P	0.0 – 3.2	0.0 – 8.6
					3.3 – 3.8	19.3 – 77.2
	DPSH 2.2	1+740	Aterro	P	0.0 – 4.1	0.0 – 41.2
					4.2 – 4.7	46.5 – 64.9
	DPSH 2.3	1+860	Aterro	a / P	0.0 – 4.2	0.0 – 39.9
					4.3 – 4.8	34.3 – 73.5
DPSH 2.4	2+770	Aterro	a / P	0.0 – 5.0	0.0 – 32.2	
				5.1 – 9.7	14.5 – 59.1	
Solução 2 – Ramo D	DPSH 2.5	0+310	Aterro	a / P	0.0 – 7.1	3.0 – 27.0
					7.2 – 7.5	35.3 – 64.1
Alternativa 1	DPSH A1	0+750	Aterro	a / P	0.0 – 3.8	1.4 – 5.1
					3.9 – 6.3	5.1 – 67.0
	DPSH A2	1+290	Aterro	a / P	0.0 – 3.0	1.4 – 2.7
					3.1 – 5.2	5.1 – 70.1
	DPSH A3	1+670	Aterro	a / P	0.0 – 0.8	0.0 – 4.6
					0.9 – 1.6	3.0 – 86.0
Ligação IC21	DPSH L1	0+130	Aterro	P	0.0 – 1.0	1.5 – 4.6
					1.1 – 5.5	5.7 – 70.1
	DPSH L2	0+550	Aterro	a / P	0.0 – 9.0	1.4 – 19.8
					9.1 – 9.6	11.8 – 59.1

3.1.2 - Ensaios de Laboratório

3.1.2.1 - Considerações Gerais

Com o objectivo de caracterizar os materiais que ocorrem ao longo das soluções de traçado em estudo, foram realizados ensaios de laboratório sobre as amostras remexidas de solos colhidas nos poços de reconhecimento efectuados.

Foram realizados ensaios laboratoriais de identificação, constituídos por análises granulométricas por peneiração, limites de consistência e determinação do teor em água natural e do equivalente de areia. Para além destes ensaios realizaram-se ainda ensaios de compactação pesada e ensaios CBR.

Estes ensaios tiveram por objectivo a identificação, a classificação e a avaliação das características de compactação e da resistência dos solos a escavar, tendo em vista a sua possível reutilização nos aterros a executar.

Atendendo a que as formações geológicas interessadas são muito idênticas e que se dispõem alternadamente ao longo das soluções em estudo, entendeu-se que este capítulo deveria ser tratado por forma a caracterizar as formações geológicas em estudo e não as diferentes soluções.

Os boletins dos ensaios de laboratório realizados sobre as amostras colhidas nos poços constam do Tomo 1.2 - Prospecção Geotécnica e Ensaios.

3.1.2.2 - Ensaios de Identificação

Sobre 10 amostras remexidas colhidas nos poços, foram realizadas análises granulométricas por peneiração e ensaios de determinação dos limites de consistência, do teor em água natural e do equivalente de areia, de acordo com as especificações E239-1970 LNEC, NP143-1969, NP 84-1965 e E199-1967 LNEC, respectivamente.

No quadro seguinte resumem-se os resultados destes ensaios. Neste quadro indica-se a proveniência das amostras, a profundidade a que foram colhidas, a litologia, o teor em água natural

(wn), a percentagem de material com dimensão inferior a 0,42 mm (<#40) e 74 μ (<#200), os valores do limite de liquidez (LL), do índice de plasticidade (IP) e do equivalente de areia (EA). Para cada amostra apresentam-se ainda as classificações unificada, para fins rodoviários (AASHTO) e LCPC-SETRA.

RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE IDENTIFICAÇÃO EFECTUADOS

Poço	Prof. de Colheita	Litologia	wn	<0,42 mm (<#40)	<74 μ (<#200)	Limites de consistência		EA	Classificações		
	(m)					LL (%)	IP (%)		Unificada	AASHTO	LCPC-SETRA
P 1.2	0,7-4,3	P – Areia fina	11,0	69	9	NP	NP	-	SP-SM	A-3 (0)	D ₂
P 1.3	1,0-3,5	P – Areia fina	17,1	85	2	NP	NP	-	SP	A-3 (0)	D ₂
P 1.4	0,5-4,1	P – Areia fina	8,0	71	2	NP	NP	78	SP	A-3 (0)	D ₂
P 1.5	2,2-4,0	P – Areia fina argilosa	9,8	66	13	NP	NP	20	SM	A-2-4 (0)	B ₅
P 1.6	0,9-4,1	P – Areia fina argilosa	13,1	76	39	NP	NP	14	SM	A-4 (1)	A ₁
P 2.2	1,7-4,0	P – Areia fina argilosa	8,9	88	16	NP	NP	20	SM	A-2-4 (0)	B ₅
P 1.1	0,4-4,2	Q _{MF} – Areia fina	11,6	76	8	NP	NP	60	SP-SM	A-3 (0)	D ₂
P 2.1	1,7-4,2	Q _{MF} – Argila	15,1	88	61	33	17	7	CL	A-6 (8)	A ₂
P 2.3	0,5-4,1	Q _{MF} – Areia fina	9,7	38	8	NP	NP	22	SP-SM	A-1-b (0)	D ₂
P L.1	0,7-4,1	Q _{MF} – Areia fina	10,2	76	4	NP	NP	-	SP	A-3 (0)	D ₂

Das amostras ensaiadas, 6 pertencem à “Formação de Santa Marta” (P) do Pliocénico, enquanto que as restantes 4 pertencem à “Formação de Marco Furado” (Q_{MF}) do Plistocénico.

O Pliocénico é constituído, de uma maneira geral, por areia fina, por vezes argilosa, de cor amarelada. Apresenta uma percentagem de partículas passadas no peneiro #40 que varia entre 66 e 88% e no peneiro #200 entre 2 e 39%. A determinação do teor em água natural (w_n) revelou valores de 8 a 13,1%, enquanto que o equivalente de areia variou entre 14 e 78%. Pertence às classes SM e SP da classificação unificada, aos grupos A-2-4, A-3 e A-4, com índice de grupo (IG) entre 0 e 1, da classificação AASHTO e às classes A₁, B₅ e D₂ da classificação LCPC-SETRA. Trata-se de solos não plásticos.

O Plistocénico é constituído por areia fina, por vezes argilosa, com uma percentagem de partículas passadas no peneiro #40 que varia entre 38 e 88%, de finos (< 74 μ) entre 4 e 61%, um w_n entre 9,7 e 15,1% e valores de EA entre 7 e 60%. Embora estes solos se apresentem não plásticos, na amostra colhida no poço P2.1, obteve-se valores de LL de 33% e de IP de 17%. Estes solos pertencem às classes SP, SM e CL da classificação unificada, aos grupos A-1-b, A-3 e A-6 com IG entre 0 e 8 da classificação AASHTO e às classes A₂ e D₂ da classificação LCPC-SETRA.

3.1.2.3 - Ensaios de Compactação Pesada e de CBR

Sobre cinco amostras colhidas nos poços, foram efectuados ensaios de compactação pesada e de avaliação da capacidade de carga CBR, de acordo com as especificações E197-1966 LNEC e E198-1966 LNEC, respectivamente.

No quadro seguinte apresenta-se o resumo do resultado do ensaio de compactação efectuado sobre 5 provetes de cada amostra. Neste quadro constam a proveniência, a profundidade de colheita da amostra, a litologia, os valores do peso específico máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) e do teor de água óptimo (w_{opt}) e os valores do peso específico seco (γ_d) e do teor de água (w) que definem a curva de compactação, que resultaram deste ensaio. Apresenta-se, ainda, a diferença entre o teor de água de cada provete e o teor em água óptimo.

RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO PESADA

Poço	Prof. de Colheita (m)	Litologia	$\gamma_{d \text{ max}}$ (kN/m ³)	W_{opt} (%)	γ_d (kN/m ³)	W (%)	$w - W_{\text{opt}}$ (%)
P 1.4	0,5-4,1	P – Areia fina	16,60	21,00	15,97	18,30	-2,70
					16,52	20,30	-0,70
					16,46	22,30	1,30
					16,10	23,90	2,90
					15,73	26,10	5,10
P 2.2	1,7-4,0	P – Areia fina	19,70	10,90	18,88	6,00	-4,90
					19,27	8,00	-2,90
					19,68	10,10	-0,80
					19,34	12,00	1,10
					18,11	14,20	3,30
P 1.1	0,4-4,2	Q _{MF} – Areia fina	18,00	12,60	17,57	9,00	-3,60
					17,85	11,40	-1,20
					17,86	13,50	0,90
					17,42	15,70	3,10
					17,11	17,80	5,20
P 2.1	1,7-4,2	Q _{MF} – Areia argilosa	19,90	8,00	18,48	4,90	-3,10
					19,30	6,30	-1,70
					19,85	8,50	0,50
					19,65	9,90	1,90
					19,45	11,60	3,60
P 2.3	0,5-4,1	Q _{MF} – Areia fina	18,90	10,90	18,58	5,30	-5,60
					18,72	8,10	-2,80
					18,82	10,00	-0,90
					18,80	11,80	0,90
					18,57	13,70	2,80

Atendendo aos resultados obtidos, verifica-se que no Pliocénico os valores do peso específico máximo ($\gamma_{d\text{máx}}$) foram de 16,6 e 19,7 kN/m³, enquanto o teor em água óptimo (w_{opt}) foi de 10,9 e 21,0%. Relativamente à formação pliocénica, verifica-se que os valores do peso específico máximo ($\gamma_{d\text{máx}}$) variam entre 18,0 e 19,9 kN/m³ e os valores do teor em água óptimo (w_{opt}) se situam geralmente entre 8,0 e 12,6%.

Tratam-se no conjunto de solos caracterizados por apresentarem, na generalidade, valores de $\gamma_{dm\acute{a}x}$ relativamente elevados e valores de $w_{\acute{o}pt}$ relativamente baixos, o que significa que necessitam de pouca água para se obter a máxima arrumação das partículas.

A avaliação da capacidade de carga através do ensaio CBR foi efectuada sobre 3 provetes de cada amostra. No quadro seguinte apresentam-se os resultados obtidos nestes ensaios para uma penetração de 2,5 mm.

RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS CBR EFECTUADOS

Poço	Prof. de Colheita (m)	Litologia	γ_d (kN/m ³)	W (%)	Exp. (%)	CR (%)	CBR (%)	CBR para 95% de compactação relativa (%)
P 1.4	0,5-4,1	P – Areia fina	16,30	23,80	0,0	98	30	28 (2,5 mm)
			15,80	24,40	0,0	95	28	
			15,20	24,20	0,0	92	25	
P 2.2	1,7-4,0	P – Areia fina	19,60	11,00	0,0	100	48	33 (5,0 mm)
			19,10	11,30	0,0	97	34	
			18,40	11,30	0,0	93	16	
P 1.1	0,4-4,2	Q _{MF} – Areia fina	17,70	14,60	0,0	98	20	18 (5,0 mm)
			17,20	14,90	0,0	95	18	
			16,50	14,80	0,0	92	17	
P 2.1	1,7-4,2	Q _{MF} – Areia argilosa	20,00	8,40	2,8	100	1	1 (5,0 mm)
			18,60	8,80	4,7	93	1	
			17,40	8,20	5,6	87	0	
P 2.3	0,5-4,1	Q _{MF} – Areia fina	18,80	10,20	0,0	100	36	26 (2,5 mm)
			18,20	10,20	0,0	96	30	
			17,50	10,10	0,0	93	15	

Da análise dos resultados obtidos, verifica-se que a capacidade de suporte dos solos pertencentes ao Pliocénico é elevada, com valores de 28 e 33%. Na formação do Plistocénico a capacidade de suporte varia entre muito baixa a muito elevada com valores entre 1 e 26%.

Conclui-se que a maioria destes solos apresenta, na generalidade, média a elevada capacidade de suporte. Considera-se que os valores de CBR mais baixos devem-se, ao facto de a componente fina, silto-argilosa, nessas amostras ser predominante sobre a fracção arenosa. Relativamente à expansibilidade, trata-se de solos não expansivos, no entanto na amostra recolhida no poço P2.1 obtiveram-se valores de expansibilidade compreendidos entre 2,8 e 5,6%.

Assim, para efeitos de dimensionamento dos pavimentos poderá adoptar-se, conservativamente, um valor de CBR da ordem de 20%.

4 - TERRAPLENAGENS

4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Conforme já foi referido, no local de implantação das soluções de traçados rodoviários em estudo, serão atravessadas formações sedimentares pertencentes ao Plistocénico e ao Pliocénico, por vezes cobertas por depósitos aluvionares nos locais das principais linhas de água.

Dada a topografia relativamente suave onde se insere a zona em estudo, verifica-se que as escavações a realizar na Solução 1 têm cerca de 6 m de altura máxima ao eixo, na Solução 2 cerca de 9 m e na Alternativa 1 cerca de 6 m de altura. Os aterros, por sua vez, são mais significativos, podendo atingir alturas máximas ao eixo de 9 m nas soluções 1 e 2 e cerca de 4 m ao eixo na Alternativa 1.

Salienta-se que as considerações geotécnicas que se apresentam de seguida sobre as condições de execução das terraplenagens, se basearam nos reconhecimentos geológico-geotécnicos efectuados, nos trabalhos de prospecção realizados e também, na experiência adquirida noutros estudos nas mesmas formações geológicas.

No quadro seguinte apresentam-se os volumes totais de escavação e de aterro para as soluções de traçado em estudo.

VOLUMES DE ESCAVAÇÕES E ATERROS

Solução	Extensão (m)	Volume total de escavações (m ³)	Volume total de aterros (m ³)	Escavação – Aterro (m ³)
Solução 1	4 900	101 651	613 770	-512 120
Solução 1 / Alternativa 1	≈ 4 900	136 290	618 394	-482 104
Solução 2	4 500	315 617	294 254	21 363

4.1.1 - Decapagem e Saneamento

A espessura de terra vegetal ao longo dos traçados em estudo, varia geralmente entre cerca de 0,1 e 0,9 m. Nas zonas mais baixas e de morfologia suave, na dependência de depósitos aluvionares, a espessura desta camada deverá ser mais desenvolvida, em média da ordem dos 0,5 m.

Para efeitos de medição, de acordo com os reconhecimentos de campo realizados, adoptou-se uma espessura média de decapagem de 0,3 m.

Os solos resultantes da decapagem da terra vegetal deverão ser acumulados em depósito, para posterior reutilização no revestimento vegetal dos taludes.

Nas zonas onde seja necessário fundar aterros sobre depósitos aluvionares, deverá prever-se sempre que possível o saneamento total destas formações. Todos os materiais resultantes deste saneamento deverão ser conduzidos a vazadouro.

4.1.2 - Escavações

4.1.2.1 - Condições de escavabilidade

As escavações a realizar irão intersectar unicamente formações do Plistocénico e do Pliocénico, constituídas por areias finas a médias, siltsosas a silto-argilosas, por vezes com intercalações de níveis argilosos. Nestas formações estima-se que os valores da velocidade de propagação das ondas sísmicas longitudinais (V_p) sejam da ordem de 350 a 800 m/s, até cerca dos 5 m de profundidade, e entre 1000 e 2000 m/s, abaixo desta profundidade. Prevê-se, assim, que estes terrenos possam ser facilmente escaváveis com meios mecânicos correntes (tipo retroscavadora) na zona superior, e com meios mecânicos mais potentes (tipo “ripper”) na zona mais profunda.

4.1.2.2 - Inclinação dos taludes

As formações a serem interessadas pelas escavações são constituídas, de um modo geral, por materiais sensíveis aos fenómenos de erosão relacionados com a exposição aos agentes atmosféricos.

Relativamente aos problemas que se vão colocar à execução das escavações nestas formações, há a referir dois aspectos. O primeiro, relaciona-se com o facto de existirem condições para a ocorrência de níveis de água suspensos a diferentes cotas, o que torna previsível que possam vir a ocorrer pequenas exurgências de água nos taludes, nas zonas de contacto entre as camadas arenosas e os níveis argilosos. Estes níveis de água suspensos poderão levar a uma diminuição da resistência mecânica destas formações e potenciar, a curto prazo, o aparecimento de instabilizações nas superfícies dos taludes. O segundo, relaciona-se com o facto destes materiais serem muito erodíveis, sendo, por isso, susceptíveis de sofrerem ravinamentos profundos quando sujeitos a longos períodos sob a acção das águas de escorrência superficial.

Do exposto, recomenda-se que os taludes de escavação nesta formação sejam realizados com inclinações suaves, da ordem de $1V/2H$.

Em todos os taludes deverão ser previstos, onde necessário, dispositivos de drenagem superficial e sub-superficial, de modo a minimizar os efeitos da erosão superficial e a obter taludes com comportamento estável.

4.1.2.3 - Drenagem interna dos taludes

Conforme já foi referido, poderão ocorrer pequenas exurgências de água nos taludes, nas zonas de contacto entre as camadas arenosas e os níveis argilosos. A ocorrência destes níveis na superfície dos taludes poderá levar ao desenvolvimento de instabilizações.

Assim, sempre que sejam detectadas zonas de aflúncias de água nas superfícies dos taludes, ou se suspeite que possam vir a ocorrer durante a vida da obra, deverá prever-se a execução de sistemas de drenagem sub-superficial, constituídos por esporões ou máscaras drenantes, ligados às valetas ou aos drenos longitudinais dispostos ao longo das banquetas e da plataforma da via (Figura 5).

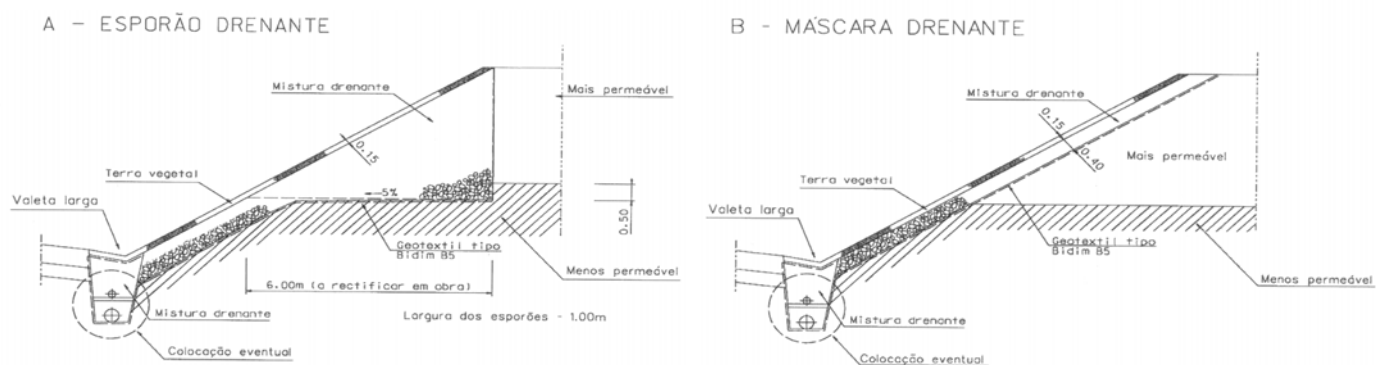


Figura 5 – Esquema de dispositivos de drenagem sub-superficial do tipo esporão drenante e máscara drenante

4.1.2.4 - Revestimento dos taludes

Atendendo a que os terrenos interessados são sensíveis à erosão superficial, verifica-se que necessitam de ser protegidos rapidamente quando expostos aos agentes atmosféricos. Assim, tendo em vista evitar o ravinamento provocado pela escorrência superficial concentrada, preconiza-se o revestimento de todos os taludes de escavação.

O revestimento deverá ser constituído por terra vegetal, com cerca de 0,15 m de espessura, sobre a qual será posteriormente efectuada uma hidrossementeira com espécies autóctones.

4.1.2.5 - Fundação da camada de leito de pavimento

As formações pliocénicas e pliocénicas são constituídas por terrenos brandos com algum potencial aquífero, dependendo da localização das camadas arenosas, relativamente à das camadas argilosas.

Tendo como referência os ensaios CBR realizados sobre amostras destas formações, admite-se que se venham a intersectar maioritariamente terrenos de média a elevada capacidade de carga, pertencendo à classe S₃, segundo o Manual de Concepção de Pavimentos. Estes terrenos garantem uma classe de plataforma F₂, com CBR entre 10 e 20% e módulo de deformabilidade entre 50 e 80 MPa. Nestas condições terá apenas que se realizar previamente uma escarificação e

recompactação numa espessura de 0,3 m. Para se obter uma classe de plataforma superior F₃, haverá que prever a remoção dos solos superficiais numa espessura de 0,2 m e a sua substituição por solos da classe S₄.

Admite-se, no entanto, que venham a ser também intersectados, terrenos mais argilosos cuja capacidade de suporte seja mais deficiente, pertencentes à classe S₂. Neste caso, para se obter uma plataforma da classe F₃, deverá prever-se o saneamento numa espessura de 0,6 m e sua substituição por solos da classe S₃ ou em alternativa, o saneamento numa espessura de cerca de 0,3 m e sua substituição por solos da classe S₄.

Nestas formações é, ainda, necessário impedir o acesso de água ao contacto entre o terreno de fundação e a plataforma, de modo a evitar-se a degradação das características mecânicas dos materiais de fundação. Nesse sentido, preconiza-se a execução de um sistema de drenagem constituído por uma rede de valas drenantes transversais e longitudinais, ligadas entre si e aos sistemas secundários de drenagem e captação.

4.1.3 - Aterros

4.1.3.1 - Fundação dos aterros

Os aterros a executar ao longo das soluções de traçado em estudo, serão fundados em formações com características geológico-geotécnicas muito diferentes e que compreendem desde terrenos compactos e resistentes (Plistocénico e Pliocénico) a terrenos compressíveis e com elevada deformabilidade (depósitos aluvionares).

As formações pliocénicas e pliocénicas têm, geralmente, características de resistência e de deformabilidade adequadas à fundação dos aterros. Apresentam, no entanto, um horizonte superficial mais alterado e descomprimido e bastante sensível à absorção de água, que deverá ser parcialmente saneado, numa espessura da ordem de 0,5 m, de modo a garantir que não se desenvolvem instabilizações pela fundação. Nestas formações deverá proceder-se, também, sempre que possível, ao saneamento total ou parcial dos níveis mais argilosos que sejam detectados ao nível da fundação.

Nas zonas de atravessamento de baixas aluvionares serão intersectados terrenos com fracas características de resistência e elevada deformabilidade. Correspondem geralmente a pequenos preenchimentos aluvionares, com espessuras reduzidas, entre cerca de 0,5 e 4,0 m, que se admite que possam ser totalmente saneados.

Nas zonas em que estes depósitos apresentem espessuras superiores a 5 m, será adoptado a execução de aterros constituídos por uma laje de transferência de cargas sobre estacas cravadas no substrato rochosos. Quando os aterros a realizar apresentarem altura inferior a 5 m, poderá adoptar-se como solução um aterro com geogrelhas sobre estacas cravadas no maciço rochoso.

4.1.3.2 - Drenagem da fundação

A natureza litológica e as características hidrogeológicas destes terrenos permitem antever a possibilidade de ocorrência de afluências de água com alguma importância durante a época das chuvas. Nos aterros em que a fundação for constituída por estas formações interessa, fundamentalmente, impedir o acesso de água ao contacto fundação-aterro, para se evitar a degradação das suas características mecânicas ao longo deste contacto.

Assim, sempre que sejam detectadas zonas de afluências de água, ou se suspeite que possam vir a ocorrer durante a vida da obra, relacionadas com a ocorrência de intercalações de areias e argilas ao nível da fundação, deverá prever-se um sistema de drenagem constituído por uma rede principal de valas drenantes transversais e longitudinais ligadas entre si ou então, por um tapete drenante contínuo. As águas afluentes destes sistemas de drenagem deverão ser encaminhadas no sentido dos pés do talude, onde serão ligados os sistemas de drenagem previstos para a plataforma da via.

Após o saneamento das aluviões, uma vez que se trata de uma zona onde o nível freático estará com frequência à superfície, é necessário prever dispositivos de drenagem ao nível da fundação, constituídos por uma camada de brita envolvida em geotêxtil.

4.1.3.3 - Utilização dos materiais das escavações

Os materiais a utilizar nos aterros serão provenientes, essencialmente de empréstimo, uma vez que ao longo do traçado não existem quantidades suficientes de material, para que seja possível equilibrar o volume de terras.

As formações Plistocénicas interessadas são classificadas maioritariamente por A-1-b, A-3 e A-6 segundo a classificação AASHTO, SP, SM e CL, segundo a classificação unificada e A_2 e D_2 da classificação LCPC-SETRA. As formações Pliocénicas são A-2-4, A-3 e A-4 da classificação AASHTO, SM e SP, da classificação unificada e A_1 , B_5 e D_2 da classificação LCPC-SETRA.

Conclui-se que se tratam, maioritariamente, de solos arenosos com uma componente fina essencialmente silto-argilosa, não plásticos ou com baixa plasticidade, e que, em princípio, podem ser utilizados na parte superior dos aterros e em leito de pavimento. Os níveis de argilas siltosas e de argilas arenosas que ocorrem intercalados nas areias não possuem, no entanto, características adequadas para a utilização em aterro, pelo que deverão ser conduzidos a vazadouro, ou caso se pretendam utilizar, deverão ser restringidos ao núcleo dos aterros.

Na Parte Inferior dos Aterros (PIA), poderão também ser utilizados os solos supracitados, no entanto, sempre que os aterros se localizem em zonas muito húmidas ou inundáveis, ou integrem camadas drenantes, estas e/ou a PIA, devem ser construídas com materiais com menos de 5% passados no peneiro 0,074 mm (<#200).

Na fase seguinte dos estudos deverá procurar-se detalhar o mais possível a quantidade de solos provenientes das escavações em linha que poderá ser utilizada nas diferentes partes dos aterros.

4.1.3.4 - Inclinação dos taludes

Atendendo às características dos materiais provenientes das escavações, à morfologia da maioria dos locais onde se irão situar os aterros e à altura dos aterros, preconiza-se que os taludes sejam executados com inclinações suaves da ordem de 1V/2H.

Com estas inclinações procurou-se garantir que os taludes serão estáveis, permitindo uma adequada integração paisagística e ainda uma maior facilidade de fixação do revestimento vegetal para protecção contra a erosão superficial.

4.1.3.5 - Revestimento dos taludes

Nestes aterros, irão existir solos sensíveis à erosão devida à escorrência das águas superficiais. Assim, de modo a proteger os taludes, preconiza-se a colocação de uma camada de terra vegetal com cerca de 0,15 m de espessura, sobre a qual será posteriormente efectuada uma hidrossementeira com espécies autóctones.

4.1.3.6 - Fundação da camada de leito de pavimento

Considerando que não existem solos provenientes das escavações em quantidade suficiente para poderem ser utilizados como leito de pavimento, deverão utilizar-se preferencialmente os solos de melhores características pertencentes aos grupos SP e SP-SM segundo a classificação unificada e aos grupos A-1-b, A-2-4 e A-3 da classificação para fins rodoviários.

Recomenda-se que na execução dos aterros sejam utilizados preferencialmente os solos de melhores características pertencentes às classes S₃ ou superiores, para a parte superior do aterro e camada de leito de pavimento. Os solos S₃ garantem uma classe de plataforma da classe F₂ com módulo de deformabilidade entre 50 e 80 MPa.

Para se obter uma classe de plataforma F₃, com módulo de deformabilidade entre 80 a 150 MPa, haverá que se proceder à colocação de uma camada de leito de pavimento com uma espessura de 0,2 m de solos da classe S₄, que deverão provir de manchas de empréstimo.

4.1.3.7 - Materiais de empréstimo

Dado que se estima, nesta fase, que apenas poderão ser reaproveitados 70% dos solos escavados nas formações pliocénicas e pliocénicas, conclui-se que não haverá solos suficientes para a execução dos aterros, havendo que recorrer a empréstimo de material, que poderá ser constituído por solos ou rocha.



EP SA. ER 11-2 – BARREIRO (IC21) / MOITA (IC32). ESTUDO PRÉVIO.
VOLUME III – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO. TOMO 1.1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

A obtenção de solos de empréstimo poderá ser feita no Plistocénico e no Pliocénico em explorações que existam em laboração na região ou que sejam criadas propositadamente para esse efeito, devendo proceder-se, em fase posterior dos estudos, à sua caracterização.

5 - FUNDAÇÃO DAS OBRAS DE ARTE

As considerações que se apresentam nesta fase dos estudos, relativamente às fundações das obras de arte, dizem respeito a uma primeira tentativa de zonamento dos maciços, devendo por isso, ser encaradas como um carácter preliminar, essencialmente qualitativo.

No quadro seguinte indica-se, para as soluções em estudo, as condições de fundação das obras de arte especiais e correntes.

FUNDAÇÃO DAS OBRAS DE ARTE

Solução	Designação	km aproximado	Litologia	Tipo de fundação	Prof. aprox. de fundação (m)
Solução 1	PS1.1	0+452	Q _{MF} / P	Indirecta	17
	PS1.2	1+023	P	Directa	5
	PI1.3	1+388	P	Directa	4
	PI1.4	1+595	P	Semi-directa	6
	PS1.5	2+144	P	Semi-directa	6
	PI1.6	2+775	a / P	Directa	5
	PI1.7	3+517	P	Directa	5
	PI1.8	4+079	P	Directa	5
	Viaduto sobre o rio da Moita	4+350-4+920	a / P	Indirecta	15
	Nó 1.9	4+865	a / P	Indirecta	19
	PS1RE1	0+620	a / P	Indirecta	25
Solução 2	Viaduto sobre o IC32	0+439	Q _{MF} / P	Indirecta	17
	PS2.2	0+987	Q _{MF} / P	Indirecta	14
	PS2.3	1+569	Q _{MF} / P	Indirecta	11
	PS2.4	2+188	Q _{MF} / P	Indirecta	12
Solução 2	PS2.5	3+106	P	Directa	3
	PI2.6	4+402	P	Semi-directa	7
	PS2 IC32	4+530	a / P	Indirecta	10
	Viaduto sobre o rio da Moita	0+000 / Ramo C	a / P	Indirecta	10
	PI2RC1	0+145 / Ramo C	a / P	Indirecta	10
	PI2RC1	0+251 / Ramo D	a / P	Indirecta	10
Alternativa 1	PSA1.1	-	Q _{MF} / P	Indirecta	17
	PSA1.2	0+990	P	Semi-directa	6
	PSA1.3	1+319	P	Directa	5
	PIA1.4	1+585	P	Directa	3
	PSA1.5	2+053	P	Semi-directa	6

6 - ANÁLISE COMPARATIVA DAS SOLUÇÕES

No âmbito do presente estudo geológico-geotécnico foram estudadas duas soluções e uma alternativa, com o objectivo de se obterem elementos que permitam a escolha da solução que, do ponto de vista técnico-económico e ambiental, seja a mais favorável.

Neste capítulo procura-se apresentar, com base nos elementos geológico-geotécnicos recolhidos nesta fase, uma análise comparativa muito simplificada dos condicionamentos e vantagens de cada um dos traçados tendo em atenção unicamente os aspectos geológico-geotécnicos mais relevantes.

Atendendo, no entanto, à proximidade a que se encontram as diferentes soluções, constata-se que estas atravessam formações geológicas com a mesma constituição litológica e com estrutura e morfologia muito semelhantes, pelo que as respectivas condições geológico-geotécnicas são também muito idênticas. O mesmo se aplica aos principais problemas que se vão colocar à execução, quer das terraplenagens, quer das condições de fundação das várias obras de arte.

Nas duas soluções irão ser realizadas escavações e aterros maioritariamente em formações areno-argilosas pliocénicas e pliocénicas, e ainda, em depósitos aluvionares que preenchem as principais linhas de água subsidiárias do rio Tejo, atingindo, em algumas situações, espessuras de cerca de 20 m.

Nas formações pliocénicas e pliocénicas, todas as escavações serão executadas com equipamentos mecânicos correntes até cerca dos 5 m de profundidade, podendo nas escavações maiores ter que se recorrer a meios mecânicos potentes. Nas aluviões, o seu saneamento poderá ser realizado com recurso a meios mecânicos correntes.

Assim, tendo em vista efectuar uma análise comparativa entre as duas soluções e a alternativa em estudo, foram considerados, do ponto de vista geológico-geotécnico, o volume de escavação e de aterro e algumas considerações sobre as obras de arte e aterros.

Com base nestes elementos, procurou-se fazer uma comparação entre a Solução 1 e a Solução 2, e entre a Solução 1/Alternativa 1 e a Solução 2.

6.1 - SOLUÇÃO 1 – SOLUÇÃO 2

Quanto aos movimentos de terra que serão necessários efectuar nestas duas soluções, verifica-se que a Solução 1 apresenta cerca de 400 m de extensão a mais que a Solução 2, desenvolvendo-se em grande parte do seu traçado em aterro. A Solução 1 apresenta um défice de terras de cerca de 498 700 m³, enquanto que a Solução 2 tem um excedente de terras de cerca de 100 600 m³, pelo que para a Solução 1 será necessário recorrer a empréstimo para equilibrar o volume de terras (quadro seguinte).

VOLUMES DE ESCAVAÇÕES E ATERROS

Solução	Extensão (m)	Volume total de escavações (m ³)	Volume total de aterros (m ³)	Escavação – Aterro (m ³)
Solução 1	4 900	101 651	613 770	- 512 120
Solução 2	4 500	315 617	294 254	21 363

Relativamente às obras de arte, verifica-se que na Solução 1 existem mais obras de arte que na Solução 2, apresentando a primeira um viaduto com uma extensão de cerca de 570 m, que se desenvolve sobre uma baixa aluvionar com cerca de 20 m de espessura (quadro seguinte).

A fundação destas obras na Solução 1 é essencialmente directa a semi-directa no Pliocénico, enquanto que na Solução 2 as obras de arte têm quase todas fundações indirectas, variando entre 10 e 17 m de profundidade (Quadro 15).

Relativamente à fundação de aterros em terrenos de má qualidade, verifica-se que a Solução 2 apresenta cerca de mais 550 m de fundação nestas condições do que a Solução 1.

OUTRAS CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS COM OBRAS DE ARTE E ATERROS

Solução	Número de transições obras de arte/aterro	Número de obras de arte correntes		Viadutos		Extensão de aterros fundados em terrenos de má qualidade (m)
		PS	PI	Nº de obras	Extensão (m)	
Solução 1	19	3	5	2	740	400
Solução 2	6	6	2	1	60	950

6.2 - SOLUÇÃO 1 / ALTERNATIVA 1 - SOLUÇÃO 2

Relativamente às terraplenagens, verifica-se que a Solução 1/Alternativa 1 apresenta défice de terras da ordem de 460 900 m³, pelo que se deverá recorrer a materiais de empréstimo para estabelecer o equilíbrio de terras. A Solução 2, por sua vez, apresenta um excedente de terras da ordem de 100 600 m³ (quadro seguinte).

VOLUMES DE ESCAVAÇÕES E ATERROS

Solução	Extensão (m)	Volume total de escavações (m ³)	Volume total de aterros (m ³)	Escavação – Aterro (m ³)
Solução 1 / Alternativa 1	≈ 4 900	136 290	618 394	- 482 104
Solução 2	4 500	315 617	294 254	21 363

Relativamente às obras de arte, verifica-se que na Solução 1 / Alternativa 1 existem mais obras de arte que na Solução 2, apresentando a primeira, também um viaduto com uma extensão de cerca de 570 m, que se desenvolve ao longo de uma zona constituída por aluviões com cerca de 20 m de espessura (quadro seguinte).

Na Solução 2 as obras de arte têm quase todas fundações indirectas, variando entre 10 e 17 m de profundidade, enquanto que na Solução 1 / Alternativa 1 a fundação destas obras é essencialmente directa a semi-directa no Pliocénico (quadro da página 44).

Relativamente à fundação de aterros em terrenos de má qualidade, verifica-se que a Solução 2 também se apresenta desfavorável, apresentando cerca de mais 550 m de fundação nestas condições do que a Solução 1.

OUTRAS CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS COM OBRAS DE ARTE E ATERROS

Solução	Número de transições obras de arte/aterro	Número de obras de arte correntes		Viadutos		Extensão de aterros fundados em terrenos de pior qualidade (m)
		PS	PI	Nº de obras	Extensão (m)	
Solução 1 / Alternativa 1	15	5	3	2	740	400
Solução 2	6	3	3	1	60	950

7 - TRABALHOS DE PROSPECÇÃO PARA A FASE SEGUINTE

A interpretação preliminar das condições geológico-geotécnicas ocorrentes ao longo das soluções de traçado em estudo, foi feita, como já foi referido, com base nas informações obtidas através de reconhecimentos geológicos de superfície e dos trabalhos de prospecção efectuados nesta fase, bem como da experiência adquirida em outros estudos em formações semelhantes.


A variedade e importância das obras previstas, das quais se destacam um viaduto, que se desenvolve em zonas aluvionares com espessuras apreciáveis, obrigam a prever um programa de prospecção bastante específico e desenvolvido.

Só com base nesse programa de prospecção se poderá estabelecer, de forma detalhada, o dispositivo geológico-geotécnico ocorrente ao longo da solução escolhida, de modo a obterem-se informações mais precisas acerca das condições de fundação das obras de arte, bem como dos principais problemas inerentes à execução das terraplenagens.

Lisboa, Março de 2010



Fernando José Nunes Cavaco
(Geólogo)



Sérgio Paulo P. Rosa
(Geólogo)
(Mestre em Geologia de Engenharia U.N.L.)