

PROJETO E ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA A QUADRUPLICAÇÃO DO TROÇO ENTRE CASTANHEIRA DO RIBATEJO E AZAMBUJA

LINHA DO NORTE – TROÇO ENTRE O PK 34+100 E PK 47+000



PROJETO DE EXECUÇÃO V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA-FÉRREA TOMO 1.7.1 – PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA ESPECIAL

Memória Descritiva e Justificativa

Controlo de Assinaturas

Realizado	Revisto	Aprovado Coordenador Projeto
Sandra Oliveira	Jorge Latas	Manuel Pera Fernandes
22-09-2023	22-09-2023	22-09-2023
Data e Assinatura	Data e Assinatura	Data e Assinatura

Não necessita de assinatura se aprovado eletronicamente

Informação Adicional	Informação do Documento	
O Gestor de Projeto Elisabete Moreira de Oliveira Pino	Código Documento PF0223.PE.01.07.01.00.MDJ.03.docx	
O Responsável Unidade Bernardo Monteiro	Revisão 03	Data 14-05-2024
O Responsável Departamento Ana Cardoso	Código Projetista	
O Diretor José Alves Monteiro	Nome do Ficheiro PF0223.PE.01.07.01.00.MDJ.03.DOCX	

Registo de Alterações

Rev	Data	Autor	Secção Afetada	Alterações
00	22-09-2023	Sandra Oliveira	Edição inicial	-----
01	22-03-2024	Sandra Oliveira	Capítulo 3	Revisão geral na sequência dos comentários da IP (email de 7-12-2023)
02	19-04-2024	Sandra Oliveira	Capítulo 3	Mais detalhamento na justificação dos trabalhos Aumento dos ensaios de dissipação Eliminação dos PAV com ECP
03	14-05-2024	Sandra Oliveira	Capítulo 3	Eliminação dos poços de auscultação de via, de acordo com instruções da IP (email de 2-5-2024) Ajuste na localização dos trabalhos de prospeção, após deslocação ao terreno

**PROJETO E ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA A QUADRUPLICAÇÃO DO TROÇO
ENTRE CASTANHEIRA DO RIBATEJO E AZAMBUJA**

LINHA DO NORTE – TROÇO ENTRE O PK 34+100 E PK 47+000

PROJETO DE EXECUÇÃO

V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA-FÉRREA

TOMO 1.7.1 – PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA ESPECIAL

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICO – GEOTÉCNICAS	3
2.1	Enquadramento Geológico	3
2.2	Caraterísticas Geológico-Geotécnicas Do Local.....	5
3	TRABALHOS A REALIZAR.....	6
3.1	Perfis sísmicos utilizando o método das ondas superficiais (MASW).....	7
3.2	Ensaaios CPTu	7
3.3	Sondagens mecânicas à rotação, com carotagem contínua e ensaios <i>in situ</i>	9
3.3.1	Execução	9
3.3.2	Amostragem.....	10
3.3.3	Crítérios a utilizar na classificação das amostras	11
3.3.4	Fotografias das amostras	12
3.3.5	Níveis de água	13
3.3.6	Colheita de amostras intactas no interior dos furos de sondagem.....	13
3.3.7	Ensaaios no interior dos furos de sondagem	13
3.3.8	Instalação de piezómetros nos furos de sondagem	15
3.4	Ensaaios de laboratório	16
3.5	Síntese dos trabalhos a realizar	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Implantação do traçado a estudar sobre a Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, Folhas 30-D e 31-C (sem escala associada)	3
---	---

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese dos trabalhos de prospeção realizados para o projeto de modernização da Linha do Norte	1
Quadro 2 – Localização dos perfis sísmicos a realizar segundo o método das ondas superficiais	7
Quadro 3 – Localização dos CPTu a realizar	8
Quadro 4 – Resumo das sondagens a realizar	14
Quadro 5 - Lista de quantidades de trabalho contratualizadas	17
Quadro 6 - Lista de quantidades de trabalho não contratualizadas	18

1 INTRODUÇÃO

No âmbito do Projeto e Estudo de Impacto Ambiental Para a Quadruplicação do Troço Entre Castanheira do Ribatejo e Azambuja, apresenta-se de seguida o programa de prospeção geotécnica complementar, entre o PK 34+100 e o PK 47+000 da Linha do Norte.

Este programa de prospeção tem por objetivo reconhecer as condições geológico-geotécnicas ocorrentes ao longo da obra, de modo a consolidar o modelo geológico geotécnico interpretativo estabelecido em fase de Estudo Prévio, incluindo a identificação e caracterização mecânica dos materiais interessados. Para tal, foi preconizada a execução de trabalhos de campo e de ensaios de laboratório localizados com o objetivo de reconhecer, em especial, as condições de fundação dos aterros e das obras de arte a construir.

Para além do reconhecimento de superfície efetuado, a localização dos trabalhos de campo previstos no presente programa teve em conta a existência de resultados de trabalhos de prospeção efetuados em projeto anteriores, no troço da via abrangido pelo presente projeto.

Deste modo, na elaboração deste programa de prospeção geotécnica complementar tiveram-se em consideração os seguintes elementos base:

- Caderno de Encargos e Programa de Procedimento do Concurso;
- Trabalhos de prospeção realizados no âmbito da Modernização da Linha do Norte, troço Vila Franca de Xira – Azambuja (COBA 2002), conforme se resume no Quadro 1;
- Estudo Prévio da Quadruplicação do troço entre Castanheira do Ribatejo e Azambuja (TPF, 2024).

Quadro 1 - Síntese dos trabalhos de prospeção realizados para o projeto de modernização da Linha do Norte.

Tipo de trabalho	Quantidade	Designação do estudo/projeto	Data da prospeção
Ensaio CPT	53	Modernização da Linha do Norte: Vila Franca de Xira – Azambuja. Projeto de Execução	1993/ 2001
Sondagens mecânicas	89	Modernização da Linha do Norte: Vila Franca de Xira – Azambuja. Projeto de Execução	1992/ 1993/ 1994/ 2001/ 2002

O presente documento corresponde à versão 03 do Programa de Prospeção Complementar: Nesta versão procedeu-se, de acordo com a instrução da IP em email recebido a 02-05-2024, à eliminação dos poços de auscultação de via, que se destinavam a conhecer com precisão os valores da altura de balastro sobre as lajes dos tabuleiros das PH. Nas peças desenhadas, para além da eliminação desses poços, foram ajustadas as localizações de alguns trabalhos de prospeção, quer devido a constrangimentos de ocupação à superfície, quer devido ao objetivo de posicionar os trabalhos o mais próximo possível do local de execução da obra. Em seguida descreve-se o histórico de versões:

- Versão 02 – Procedeu-se a pedido da IP na reunião de 09.04.2024, a um maior detalhamento da justificação dos trabalhos definidos na anterior versão do Programa de Prospeção Geotécnica Complementar, ao aumento dos ensaios de dissipação, de modo a caracterizar os níveis argilosos das aluviões e à eliminação dos poços de auscultação de via previstos para as futuras linhas VD. Nas peças desenhadas, foram eliminados os poços de auscultação de via que tinham como objetivo caracterizar a plataforma das futuras linhas VD.
- Versão 01 - revisão do PPG Complementar enviado (PF0223.PE.14.03.00.00.MDJ.00), conforme os comentários da IP constantes no email de 07.12.2023. Atendendo a esses comentários, procedeu-se, na versão 01, à alteração do tipo de peças desenhadas, tendo-se optado por anular as peças desenhadas anteriores, que eram constituídas por plantas, e elaborar novas peças desenhadas, com nova numeração, constituídas por planta-perfil.
- Versão 00 – emissão inicial do PPG Complementar, em 22.09.2023. É de salientar que, por lapso, esta versão inicial foi erroneamente codificada como PF0223.PE.14.03.00.00.MDJ.00

A localização dos trabalhos de prospeção encontra-se representada em desenhos planta-perfil geológico-geotécnico (Desenhos PF0223.PE.01.07.01.00.100 a PF0223.PE.01.07.01.00.127), onde constam, para além dos trabalhos a realizar, todos os trabalhos realizados em campanhas anteriores e a respetiva interpretação em perfil longitudinal.

É de referir que os tipos e as quantidades de trabalhos de reconhecimento agora programados foram estabelecidos de acordo com a informação existente de estudos anteriores, bem como com a complexidade das obras previstas, e os condicionamentos identificados até ao momento, tendo em conta os objetivos de caracterização inerentes a esta fase de estudo. Salienta-se, ainda, que de modo a limitar os tempos de execução, bem como a complexidade das operações, optou-se por evitar o recurso a interdição de via e a meios carrilados, evitando a execução de trabalhos de prospeção a partir da plataforma da via existente, localizando-os fora do corredor ferroviário, contudo o mais próximo possível do mesmo.

Há ainda a referir que a realização de sondagens adicionais e a recolha adicional de amostras intactas no interior dos furos de sondagem serão equacionadas em função dos resultados que forem sendo obtidos e da sua confrontação com os resultados da campanha anterior.

2 CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICO – GEOTÉCNICAS

2.1 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O troço da Linha do Norte em estudo, entre os km 37+100 e 47+000, insere-se na Bacia do Tejo e está fortemente marcada pela presença deste rio, cujo leito de cheia e respetivo caudal de sólidos preenche os bordos mais baixos das suas margens, com deposições aluvionares do Quaternário. A Bacia do Tejo é uma fossa alongada de NE para SW, que se aprofunda para SW. Os seus bordos coincidem com falhas normais que jogaram durante a respetiva subsidência, exceto no bordo NW, onde os calcários mesozóicos cavalgam o Cenozóico. O enchimento, cuja espessura atinge cerca de 1.400 m, é sub-horizontal. No bordo Este, estas séries repousam diretamente sobre o soco, enquanto, a Oeste, elas assentam sobre o Mesozóico da Orla Ocidental.

Na Figura 1 apresenta-se o traçado da Linha do Norte, entre os PK 34+100 e 47+000, implantado sobre a Carta Geológica de Portugal, Folhas 30-D e 31-C, à escala 1:50.000.

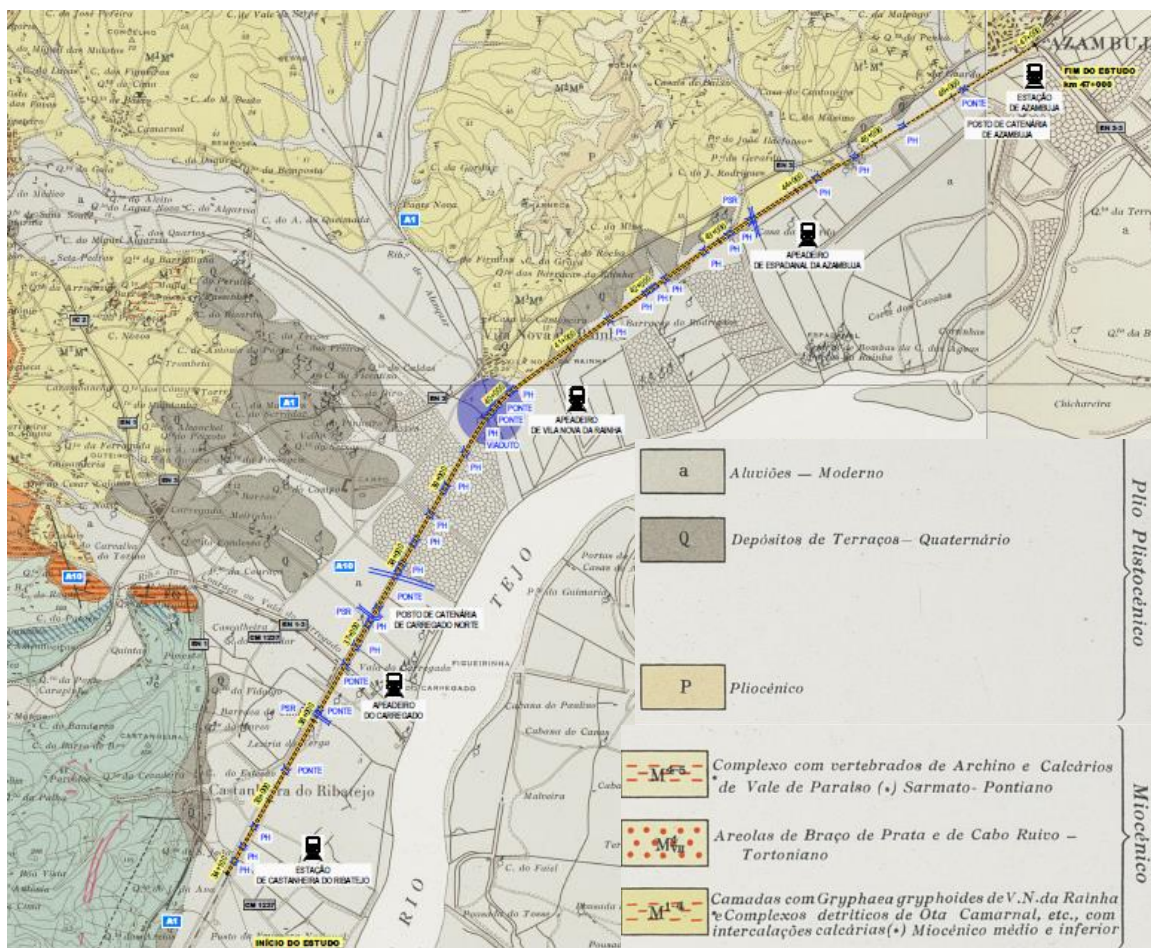


Figura 1 - Implantação do traçado a estudar sobre a Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, Folhas 30-D e 31-C (sem escala associada)

Do ponto de vista da geologia, e no que respeita à génese da denominada “Bacia do Tejo”, onde se insere o troço da Linha do Norte em estudo, a evolução ao longo do tempo foi bastante complexa, resultante da interação de movimentos tectónicos e de oscilações do nível do mar.

Chuvas concentradas alternando com intervalos de secura acentuada durante o Eocénico e o Oligocénico provocaram a acumulação de conglomerados, arenitos e argilitos, em parte canalizados para uma depressão centrada no atual Mar da Palha. Em momentos de estabilidade (Oligocénico) formaram-se solos carbonatados em áreas pantanosas da região de Lisboa e da Península de Setúbal.

No início do Miocénico (Aquitano), a subsidência progressiva da Península de Setúbal permitiu a entrada do mar, que constituiu um golfo estreito que se estendia pouco para o interior. Nas regiões marginais, desenvolveram-se recifes de corais com áreas pantanosas na parte interna. Pouco depois, ainda durante o Miocénico inferior (Burdigaliano), a serra da Arrábida começou a elevar-se. Logo depois, o mar em ascensão penetrou muito para o interior até às proximidades da Azambuja. Os relevos da Arrábida, entretanto emersos, constituíam uma ilha.

Durante este andar geológico, ocorreram várias descidas e subidas do nível do mar, com consequente alternância de períodos de erosão e transporte dos sedimentos a partir do interior do território e períodos de fixação desses materiais e deposição de outros trazidos pelo mar.

Durante o Langhiano, o mar começou a subir de novo e as águas marinhas penetraram muito para o interior, desenvolvendo-se um golfo até às proximidades de Santarém. As serras da Arrábida e de Sintra constituíram ilhas. Depositaram-se primeiro biocalcarenitos, depois, siltitos mais ou menos argilosos, de cor cinzento-azulada (com pirite), denunciando a existência de áreas marinhas com circulação reduzida e oxigenação deficiente.

Seguidamente, nova descida do nível do mar fez com que se depositassem areias finas na região de Lisboa, seguidas por biocalcarenitos muito fossilíferos. Estes sugerem nova retoma da subida do nível do mar, que atingiu o apogeu há cerca de 11 Ma, durante o Tortoniano.

Durante o Miocénico superior, o mar mantinha-se na região quando começou a retirar-se de novo. Com a descida do nível do mar, o Pré-Tejo transportou, durante o Pliocénico, areias que se estenderam desde Castelo Branco até ao litoral da Península de Setúbal, enchendo a extensa depressão drenada pelo rio. O mar só voltou a invadir, por pouco tempo, a Península de Setúbal, durante o Zancleano, constituindo um golfo pouco extenso (não deve ter ultrapassado a região do Montijo).

Nos últimos 1,8 milhões de anos (Quaternário), como consequência das glaciações, houve várias oscilações do nível do mar, testemunhadas pelos terraços marinhos bem expressos no litoral da Arrábida. Foi nesta época que se depositaram as aluviões da margem direita do Tejo.

É sobre estas aluviões (a) que se desenvolve a maior parte do traçado em estudo. Trata-se de um complexo flúvio-marinho, que chega a atingir 30 m de espessura, constituído predominantemente por lodos com intercalações de areias mais ou menos lodosas, com cores acinzentadas escuras. Na base das aluviões, é também frequente a ocorrência de níveis de cascalheiras de calhaus rolados. Os depósitos colúvio-aluvionares ocorrem, essencialmente, ao longo das restantes linhas de água que são intercetadas pelo traçado.

Em alguns locais, são também atravessados depósitos de terraço (Q), pouco desenvolvidos e bastante retalhados, por vezes de origem fluvial, constituídos por argilas arenosas e argilas siltosas, por vezes com pequenos seixos de quartzitos dispersos.

Pontualmente, são ainda atravessados depósitos miocénicos das Camadas de Vila Nova da Rainha (M¹⁻⁴), que consistem em argilas silto-arenosas e arenitos silto-argilosos por vezes conglomeráticos, castanho-alaranjados a castanho-avermelhados.

2.2 CARATERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DO LOCAL

Conforme já referido, este troço da Linha do Norte está assente sobre materiais aluvionares do Tejo, que consistem em depósitos lodosos, argilo-siltosos e argilo-arenosos, com seixos de calcário e quartzo dispersos, de consistência muito mole a dura ou muito solta a medianamente compacta, com valores do número de pancadas, N, do ensaio de penetração dinâmica SPT (N_{SPT}) a variar entre 0 e 20 e com um teor em água bastante elevado.

Uma vez que a obra se localiza na margem do rio Tejo, onde a topografia é aplanada, os terrenos são inundáveis durante os períodos do ano de maior pluviosidade e apresentam deficiente drenagem. Estes fatores conferem-lhes características de elevada compressibilidade, baixa capacidade de suporte e suscetibilidade à liquefação.

No caso dos depósitos de terraço (Q), constituídos por argilas arenosas e argilas siltosas, por vezes com pequenos seixos de quartzitos dispersos, os terrenos apresentam consistência dura a muito dura, com valores de N_{SPT} (N do ensaio de penetração dinâmica SPT) entre 10 e 26.

Relativamente aos materiais miocénicos das Camadas de Vila Nova da Rainha (M¹⁻⁴), que consistem em argilas silto-arenosas e arenitos silto-argilosos, por vezes conglomeráticos, estes caracterizam-se por apresentar um horizonte superior mais descomprimido e amolecido, com espessura entre cerca de 1,5 m e 9,0 m, abaixo do qual ocorrem materiais com consistência muito dura a rija ou compactos a muito compactos, com valores de N_{SPT} entre 37 e 60.

3 TRABALHOS A REALIZAR

Apresenta-se neste capítulo a descrição dos trabalhos de prospeção geotécnica e ensaios a realizar para a fase de Projeto de Execução. Como já referido, o presente programa de trabalhos teve como base o Estudo Prévio realizado.

Deste modo, considerando a localização e os resultados dos trabalhos de prospeção e ensaios já realizados, e tendo em conta o Estudo Prévio, preconiza-se no presente programa de prospeção e ensaios a realização de 15 perfis sísmicos utilizando o método das ondas superficiais (MASW), 28 ensaios de penetração estática, com medição da pressão intersticial (CPTu), 30 sondagens à rotação, verticais, com execução de ensaios de penetração dinâmica, SPT, de ensaios de corte rotativo (molinete ou Vane Test) e colheita de amostras intactas.

Estes trabalhos de prospeção têm como objetivo a consolidação do modelo geológico e geotécnico ao longo do traçado, com vista ao dimensionamento do(s) tratamento(s) da fundação dos aterros da linha e ao dimensionamento das soluções de reforço da fundação das PH's existentes a manter, bem como ao dimensionamento da fundação das obras de arte a construir. Deste modo, tratando-se de uma obra linear, optou-se por distribuir os trabalhos ao longo do traçado com afastamentos que não excedessem 250 m, tendo sempre em consideração os trabalhos de prospeção executados na campanha anterior.

A localização em planta dos trabalhos de prospeção complementar a realizar encontra-se indicada nos Desenhos PF0223.PE.01.07.01.00.100.00 a PF0223.PE.01.07.01.00.127.00.

Para todos os trabalhos de campo deverá ser realizada a georreferenciação topográfica (coordenadas M, P e Z).

É de referir que a localização prevista para os trabalhos de campo poderá ser ajustada caso existam condicionamentos à sua execução nesses locais (por exemplo, impossibilidade de acesso dos equipamentos ou existência de infraestruturas). Esse ajuste deverá ser comunicado em tempo útil à equipa de geologia e geotecnia do Consórcio e sujeito à sua aprovação, sendo que se pretende que o novo local seja sempre o mais próximo possível da localização inicial, para que o objetivo da realização dos trabalhos seja atingido.

Salienta-se, ainda, que relativamente aos materiais de construção, e atendendo a que praticamente não serão realizadas escavações ao longo do traçado, será necessário obter a totalidade dos materiais para a construção dos aterros em empréstimos. Por outro lado, a zona onde se insere o troço da via em estudo localiza-se em meio urbano com forte ocupação. Deste modo, considera-se que a obtenção destes materiais deverá ser através do recurso a detritos de pedra, os quais, com base na experiência do projetista, são bastante adequados à obra a contruir, obtendo-se, com eles, aterros de boas características mecânicas. Assim, tendo em conta a existência, a distâncias de transporte consideradas aceitáveis, de algumas pedreiras em laboração, serão efetuados os devidos contactos com os respetivos responsáveis no sentido de se obterem amostras para caracterização laboratorial.

3.1 PERFIS SÍSMICOS UTILIZANDO O MÉTODO DAS ONDAS SUPERFICIAIS (MASW)

Com o objetivo de determinar as propriedades elásticas dos depósitos aluvionares, bem como proceder ao mapeamento do substrato miocénico, serão executados 15 perfis sísmicos utilizando o método das ondas superficiais para determinar a velocidade de propagação das ondas de corte (V_s) no terreno. Deste modo, será possível identificar a espessura das principais unidades, complementando a informação pontual dos furos de sondagem e dos ensaios CPTu.

Estes ensaios devem ser executados com aquisição multicanal, fazendo uso de uma fonte de impacto vertical constituída por um martelo e 24 geofones, espaçados de 2 m. O impacto vertical deve ser dado a 2 m de distância do primeiro geofone em cada extremo da linha de aquisição.

Deverão ser realizados por uma entidade com reconhecida competência e experiência na matéria, nomeadamente, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil ou o Instituto Superior Técnico/Faculdade de Ciências de Lisboa.

Quadro 2 – Localização dos perfis sísmicos a realizar segundo o método das ondas superficiais

Designação	Pk (VA-R)	Ponto inicial		Ponto final	
		M	P	M	P
PSC1	35+165	-71755.384	-74421.704	-71731.117	-74377.988
PSC2	35+750	-71464.410	-73905.089	-71440.142	-73861.373
PSC3	36+100	-71293.680	-73605.747	-71269.133	-73562.187
PSC4	36+850	-70927.516	-72956.260	-70902.969	-72912.700
PSC5	37+150	-70777.973	-72691.132	-70753.426	-72647.573
PSC6	37+365	-70673.648	-72506.004	-70649.101	-72462.444
PSC7	38+315	-70207.233	-71678.368	-70182.719	-71634.790
PSC8	38+765	-69986.310	-71286.331	-69961.796	-71242.753
PSC9	39+035	-69851.301	-71046.753	-69826.787	-71003.175
PSC10	40+025	-69315.523	-70213.771	-69279.458	-70179.141
PSC11	41+640	-68028.812	-69247.065	-67988.215	-69217.879
PSC12	43+375	-66611.388	-68228.642	-66568.829	-68202.398
PSC13	44+525	-65641.619	-67637.285	-65599.005	-67611.130
PSC14	44+875	-65335.237	-67459.161	-65292.624	-67433.006
PSC15	45+600	-64716.266	-67081.670	-64673.576	-67055.641

3.2 ENSAIOS CPTu

Estão previstos 27 ensaios CPTu para, em conjunto com a realização das sondagens e dos perfis sísmicos, permitir a identificar, o melhor possível, a posição do substrato miocénico e a existência de um horizonte aluvionar compacto e a sua profundidade. Para além da natureza e sequência dos estratos, estes ensaios permitirão, também, obter informação acerca das suas propriedades físicas e mecânicas, bem como dos níveis de água no terreno.

Estes ensaios serão realizados com um penetrómetro estático do tipo “holandês” de 10 tf de capacidade e até profundidades que esgotem esta capacidade, prevendo-se que tal aconteça no topo das formações miocénicas.

Para cada ensaio serão medidos os valores da resistência de ponta e do conjunto resistência de ponta e atrito lateral e ainda a respetiva pressão intersticial de 10 em 10 cm.

Estes ensaios deverão ser executados seguindo os procedimentos propostos na Norma Europeia EN 1997-3 (Eurocode 7 – Geotechnical design - Part 3: Design assisted by field testing) e deverão permitir aferir a natureza e as características mecânicas dos materiais atravessados.

Dada a importância do conhecimento adequado das condições relativas à água subterrânea para a determinação correta das tensões efetivas *in situ*, e atendendo à proximidade do rio Tejo, que implicará que as estas condições não serão hidrostáticas, preconiza-se a realização, também, de ensaios de dissipação.

No Quadro 3 apresentam-se as profundidades estimadas para a realização dos ensaios de dissipação, com base no perfil geológico e geotécnico interpretativo estabelecido para o Estudo Prévio.

Os resultados dos ensaios deverão ser fornecidos pelo Adjudicatário em ficheiro de dados.

Quadro 3 – Localização dos CPTu a realizar

Designação	Localização		Comprimento estimado (m)	Prof. estimada para os ensaios de dissipação (m)
	M	P		
CPTu C1	-71951.328	-74764.744	29,0	8,0 16,0 23,0
CPTu C2	-71509.460	-73979.781	26,0	8,0 14,0 22,0
CPTu C3	-71254.688	-73523.580	29,0	9,0 16,0 24,0
CPTu C4	-71132.531	-73306.570	30,0	7,0 14,0 23,0
CPTU C5	-70886.415	-72874.790	23,0	5,0 10,0 13,0 18,0
CPTU C6	-70518.119	-72195.192	21,0	6,0 15,0
CPTU C7	-70343.446	-71886.365	21,0	5,0 11,0 16,0
CPTU C8	-70135.232	-71521.855	22,0	4,0 10,0 16,0
CPTU C9	-69918.850	-71122.280	31,0	5,0 12,0 20,0 26,0
CPTU C10	-69539.556	-70479.951	32,0	8,0 16,0 26,0

Designação	Localização		Comprimento estimado (m)	Prof. estimada para os ensaios de dissipação (m)
	M	P		
CPTU C11	-69049.362	-69974.588	22,0	7,0
CPTU C12	-68740.219	-69739.473	17,0	6,0 12,0
CPTU C13	-68480.019	-69549.756	18,0	7,0 13,0
CPTU C14	-68185.243	-69347.175	18,0	7,0 13,0
CPTU C15	-67893.291	-69134.917	18,0	8,0 13,0
CPTU C16	-67601.333	-68920.334	18,0	-
CPTU C17	-67321.288	-68711.738	17,0	-
CPTU C18	-67022.155	-68509.535	17,0	7,0 13,0
CPTU C19	-66574.641	-68291.107	17,0	-
CPTU C20	-66278.706	-68014.277	17,0	-
CPTU C21	-65840.596	-67745.297	15,0	-
CPTU C22	-65667.460	-67644.050	19,0	7,0 12,0
CPTU C23	-65183.719	-67352.050	26,0	-
CPTU C24	-64568.545	-66966.481	10,0	6,0
CPTU C25	-64275.998	-66792.143	13,0	-
CPTU C26	-63879.533	-66554.612	18,0	9,0 13,0
CPTU C27	-63959.276	-66585.471	21,0	8,0 13,0

3.3 SONDAGENS MECÂNICAS À ROTAÇÃO, COM CAROTAGEM CONTÍNUA E ENSAIOS *IN SITU*

3.3.1 EXECUÇÃO

Serão realizadas 31 sondagens à rotação, verticais, com execução de ensaios de penetração dinâmica SPT de 1,5 em 1,5 m nas formações superficiais de natureza aluvionar e ensaios de corte rotativo, sempre que a compacidade e/ou consistência destes terrenos o permita.

Todas as sondagens deverão atravessar os depósitos aluvionares e penetrar no substrato constituído pelas formações miocénicas, devendo ser dadas por terminadas após a obtenção de 3 negas consecutivas no ensaio SPT nestes materiais.

O equipamento de furação (amostrador, coroa, etc.) deverá ser adaptado ao tipo de terreno a furar, de maneira a permitir uma boa percentagem de recuperação.

Os diâmetros de furação deverão ser os mais apropriados para o tipo de formações a atravessar, permitindo a amostragem nas melhores condições. Devem ser escolhidos de acordo com as profundidades requeridas para as sondagens de modo a que o diâmetro final não seja inferior a 76 mm. O diâmetro inicial não deve ser inferior a 101mm.

Os furos serão sempre entubados no troço superior até que se atinjam formações que garantam a sua estabilidade. Se não houver indicações contrárias expressas, no fim da furação deverá fazer-se a recuperação do entubamento.

Deverão ser utilizados os tubos de aço de diâmetro apropriado para não restringir ou dificultar as operações consequentes previstas para a sondagem.

Considera-se que a utilização dos tubos, a sua colocação e remoção se encontram incluídos nos trabalhos a realizar, não havendo direito a compensação pelo encravamento definitivo ou deterioração do entubamento.

Na realização das sondagens será utilizada água clara. A reciclagem de água de furação será permitida desde que seja passada por um tanque de decantação.

O lançamento da água de furação no meio ambiente só será permitido depois de terem sido removidas as partículas em suspensão num tanque de decantação. As águas contaminadas por óleos não poderão ser lançadas no meio ambiente.

Os custos inerentes à obtenção e utilização de água, incluindo o transporte e armazenamento, estão incluídos nos preços unitários da furação.

Após a conclusão das sondagens e dos ensaios a realizar nas mesmas, os furos deverão ser devidamente selados com calda de cimento e bentonite.

3.3.2 AMOSTRAGEM

A amostragem será contínua pelo que a sonda deverá ser equipada com amostrador de parede dupla. Toleram-se, porém, perdas de testemunhos até 5%. Percentagens inferiores de recuperação só são aceitáveis se se encontrar justificação na natureza geológica do terreno.

As amostras deverão ser objeto de cuidados particulares. As amostras constituídas por material friável ou muito partido deverão ser objeto de cuidados especiais no acondicionamento, devendo ser registados os seus limites nos relatórios diários do sondador. Imediatamente após a extração, deverão ser limpas e colocadas ordenadamente em caixas apropriadas, sendo seguidas de um separador, que se fixará à caixa, no qual deverá escrever-se na secção superior, de modo legível e indelével, a profundidade atingida pela sonda. A mesma profundidade deve também ser referenciada, do mesmo modo, na travessa esquerda da calha em que é depositada a amostra. Referências homólogas podem, por vezes, não coincidir, quando o tarolo se tiver partido acima da profundidade atingida pela furação.

As caixas deverão ser preenchidas de modo a que as amostras fiquem devidamente acondicionadas. No entanto, as amostras deverão ser facilmente retiradas das calhas para observação.

A fragmentação das amostras só é permitida para a sua conveniente arrumação nas caixas. Sempre que for necessário fazê-lo, o sondador deverá anotar tal procedimento na “parte diária”. Nos separadores das caixas deverão ser assinaladas claramente todas as fraturas induzidas.

As caixas deverão ser fornecidas pelo Adjudicatário e deverão ser de manipulação fácil, que permitam a arrumação e o registo fotográfico da amostragem. Deverão ser duráveis e resistentes à humidade,

pelo que serão excluídas as caixas de cartão. Os separadores longitudinais e transversais deverão ter alturas adequadas de modo a não impedirem uma boa imagem fotográfica das amostras.

A identificação das referidas caixas deverá ser feita de acordo com o definido na Norma Europeia EN 1997-2 (Eurocode 7 – Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing) e deverá constar sobre a tampa, compreendendo:

- Nome da obra;
- Empreiteiro;
- Data;
- Referência da sondagem;
- Número da caixa, no conjunto da sondagem;
- Profundidade em que se inicia e termina a amostragem na caixa.

Num dos topos da caixa será indicado o número da sondagem e os limites de profundidade para permitir uma identificação imediata no armazém.

Durante a execução das sondagens as caixas serão arrumadas em arrecadação própria fornecida pelo Adjudicatário e no final dos trabalhos serão entregues ao Dono da Obra no local que este indicar, ou, não havendo outra indicação, ficarão armazenadas em instalações do Adjudicatário durante pelo menos um ano.

Todas as indicações inscritas nas caixas deverão ser bem legíveis nas fotografias.

3.3.3 **CRITÉRIOS A UTILIZAR NA CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS**

Os critérios a utilizar na classificação das amostras são os seguintes:

- Escalas
 - Profundidade e comprimento das diferentes manobras efetuadas;
 - Profundidades das formações atravessadas.
- Geologia
 - Descrição litológica (das diferentes formações geológicas atravessadas);
 - Unidade geológica (com a respetiva simbologia).
- Dados de furação
 - Tipo de furação;
 - Diâmetro da furação.

- Índices de qualidade
 - Recuperação de tarolo em percentagem;
- Posição e variação do nível freático;
- Profundidades da realização de ensaios in situ;
- Profundidades de colheita de amostras para a realização de ensaios de laboratório.

Os dados de furação a registar nos relatórios diários do sondador (“partes diárias”) são os seguintes

- Manobras e respetivas profundidades;
- Tipo de ferramenta utilizada;
- Tipo de furação, amostrador e coroa;
- Diâmetro da furação;
- Diâmetros do revestimento e respetivas profundidades atingidas;
- Tempo de avanço (por troços de 20 cm);
- Zonas de encravamento do equipamento de perfuração;
- Quedas bruscas da ferramenta;
- Retorno da água de furação, indicando a cor, perda parcial ou total, artesianismo, etc.
- Localização das zonas muito alteradas e friáveis a muito fraturadas

As velocidades de avanço serão determinadas por amostragem para os diferentes estados de alteração da rocha.

3.3.4 **FOTOGRAFIAS DAS AMOSTRAS**

Após a conclusão de cada sondagem, a respetiva amostragem deverá ser fotografada em cada uma das caixas, separadamente. Deverá utilizar-se um padrão colorido, presente em cada fotografia, a fim de aferir a fidelidade de reprodução ou detetar eventuais alterações de cor da amostra.

Cada caixa deve ser fotografada com a respetiva identificação, nome da obra, referência da sondagem e profundidade.

As fotografias deverão ser realizadas com os máximos cuidados e nas melhores condições de iluminação de modo a obterem-se imagens fidedignas dos testemunhos. As fotografias com zonas de sombra ou que não mostrem adequadamente os testemunhos, serão recusadas e deverão ser repetidas.

As fotografias deverão ser tiradas fazendo uso de uma fita métrica ao lado da caixa que deverá ter a sua régua bem visível, de modo a constituir um elemento de escala.

As fotografias deverão constar do relatório final. Deverá ser fornecido o seu suporte informático.

3.3.5 NÍVEIS DE ÁGUA

A medição do nível da água em cada sondagem deverá ser cuidadosamente efetuada, de forma a ser possível obter a posição e a variação do nível freático.

O nível de água será medido durante a execução da sondagem, no princípio e no fim de cada dia de trabalho, por meio de sonda apropriada. A medição será continuada diariamente até ao fim da empreitada de prospeção ou até a selagem do furo.

3.3.6 COLHEITA DE AMOSTRAS INTACTAS NO INTERIOR DOS FUROS DE SONDAGEM

Prevê-se que sejam colhidas 12 amostras intactas no interior dos furos de sondagem, para submeter a ensaios laboratoriais de identificação e de consolidação em edómetro. Para esta colheita admitem-se apenas os seguintes amostradores, por ordem de preferência:

1. amostrador Sherbrooke;
2. amostrador tipo Osterberg
3. amostrador de pistão
4. amostrador tipo Shelby

Para além destas amostras, prevê-se ainda a colheita de algumas amostras remexidas no amostrador do ensaio SPT para serem também submetidas a ensaios laboratoriais de identificação.

A recolha, assim como o manuseamento e a proteção das amostras para ensaios de laboratório deverão ser efetuados de acordo com o definido na especificação LNEC E 218-1968, devendo procurar atender ao definido na Norma Europeia EN 1997-2 (Eurocode 7 – Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing).

No Quadro 4 apresenta-se a profundidade estimada para a colheita de amostras intactas, estabelecida com base no perfil geológico e geotécnico interpretativo.

3.3.7 ENSAIOS NO INTERIOR DOS FUROS DE SONDAGEM

Durante execução das sondagens deverão ser realizados ensaios de penetração dinâmica SPT, a cada 1,5 m ou sempre que se verificarem mudanças na litologia. Os ensaios SPT deverão seguir as recomendações da norma ISO 22476-3:2005, tal como preconizado no Eurocódigo 7.

Atendendo à presença de aluviões lodosas, cujas características mecânicas condicionam fortemente o comportamento da futura obra, preconiza-se a realização no interior dos furos de sondagem, para além dos ensaios SPT, de ensaios de corte rotativo (molinete ou Vane Test) nos níveis aluvionares.

Estes ensaios terão como objetivo determinar, por medição direta *in situ*, a resistência ao corte não drenada (S_u) destes níveis, que é um parâmetro fundamental na avaliação da estabilidade global, quer para a situação estática, quer para a sísmica, independentemente da solução final que venha a ser adotada para o tratamento da fundação.

Após a aplicação do torque máximo, deverão ser realizadas 10 voltas completas da lâmina, de modo a determinar, também, a resistência residual ($S_{u,res}$).

A determinação das resistências de pico e residual obtidas com os ensaios de corte rotativo permitirá, ainda, calibrar o parâmetro N_{kt} de modo a que se possam obter mais valores de resistência ao corte por correlação com os resultados dos ensaios CPTu.

No Quadro 4 indica-se a profundidade estimada para os ensaios de corte rotativo, com base no perfil geológico e geotécnico interpretativo. No entanto, a localização dos ensaios de corte rotativo deverá ter em conta a localização dos ensaios SPT, de modo a não coincidirem com estes. Nestes ensaios deverão ser medidas as resistências máxima e residual, devendo registar-se as resistências medidas de 10 em 10°. Entende-se por resistência máxima a que corresponde ao valor máximo do momento torsor medido. Entende-se por resistência residual a que é medida após 10 voltas completas da lâmina.

Quadro 4 – Resumo das sondagens a realizar.

Designação	Localização aproximada		Comprimento estimado (m)	Prof. de colheita de amostras intactas (m)	Prof. dos ensaios com molinete (m)	Piezómetros (prof. da zona crepinada) (m)
	M	P				
SC1	-71953.152	-74768.214	35,0	15,0	20,0	-
SC2	-71511.887	-73983.329	35,0	-	-	20,0 – 25,0
SC3	-71254.002	-73527.991	38,0	17,0	13,0	-
SC4	-71000.781	-73050.681	30,0	-	-	-
SC5	-70592.842	-72335.061	25,0	15,0	6,0 14,0	5,0 – 10,0
SC6	-70256.191	-72034.509	28,0	-	-	-
SC7	-70256.593	-71709.468	25,0	7,0 13,0	5,0 16,0	-
SC8	-70071.945	-71427.975	25,0	14,0	5,0 11,0	-
SC9	-69810.328	-70944.249	35,0	-	-	10,0 – 15,0
SC10	-69688.775	-70753.270	35,0	-	-	-
SC11	-69440.102	-70350.145	32,0	-	-	-
SC12	-69361.845	-70252.730	32,0	-	-	5,0 – 10,0
SC13	-69204.897	-70086.137	25,0	8,0	4,0	-
SC14	-68922.606	-69886.124	15,0	-	-	-
SC15	-68631.940	-69661.220	22,0	2,0 13,0	11,0	-

Designação	Localização aproximada		Comprimento estimado (m)	Prof. de colheita de amostras intactas (m)	Prof. dos ensaios com molinete (m)	Piezómetros (prof. da zona crepinada) (m)
	M	P				
SC16	-68331.480	-69445.625	22,0	8,0 13,0	-	5,0 – 10,0
SC17	-67745.295	-69026.869	22,0	-	-	-
SC18	-67463.212	-68817.799	20,0	6,0	-	-
SC19	-67173.001	-68608.601	20,0	-	-	-
SC20	-66788.472	-68335.714	18,0	-	-	8,0 – 3,0
SC21	-66573.220	-68200.746	20,0	-	-	-
SC22	-66448.923	-68126.553	20,0	-	-	-
SC23	-65126.699	-67905.451	20,0	-	-	-
SC24	-65806.460	-67721.673	20,0	-	-	10,0 - 15,0
SC25	-65489.055	-67545.083	20,0	-	-	-
SC26	-65030.111	-67257.428	20,0	-	-	-
SC27	-64877.744	-67157.499	22,0	-	-	15,0 – 20,0
SC28	-64418.091	-66867.823	22,0	-	-	-
SC29	-64115.335	-66694.027	25,0	-	-	20,0 – 25,0
SC30	-63782.308	-66502.189	35,0	-	-	-
SC31	-63554.181	-66356.665	35,0	-	-	-

3.3.8 INSTALAÇÃO DE PIEZÓMETROS NOS FUROS DE SONDAGEM

Com o objetivo de observar a profundidade e variação do nível freático, validando os dados recolhidos nos ensaios CPTu, serão instalados piezómetros hidráulicos.

Os piezómetros serão de tubo aberto instalados em furos previamente executados. Compreendem um elemento poroso de adução da água colocado na zona requerida, o qual se encontra ligado à superfície por um tubo, onde a água entra e estabiliza no seu nível piezométrico. A leitura é efetuada introduzindo no tubo uma sonda elétrica que é ligada à superfície por uma fita graduada.

Os piezómetros hidráulicos serão instalados nas localizações definidas no Quadro 4, com a base do piezómetro à profundidade aí indicada. Contudo, a localização da câmara piezométrica será aferida com base nos resultados das sondagens.

Os piezómetros serão constituídos por um tubo de PVC ϕ 32 mm, sendo a extremidade inferior crepinada e envolvida em geotêxtil, numa extensão mínima de 4,0 m.

Para instalar o piezómetro deverá proceder-se à regularização do fundo do furo com uma camada de areia, com 0,5 m de espessura mínima.

Posteriormente será colocado o tubo piezométrico, centrado no furo, procedendo-se de seguida ao preenchimento do furo com areia até cerca de 2,0 m do terreno natural. O topo do furo será preenchido com calda de cimento e bentonite.

O topo de cada furo deverá ser protegido por uma tampa, para impedir a queda de material para o interior do tubo piezométrico, bem como permitir a sua integração no plano de monitorização da obra.

O equipamento a utilizar nas leituras deverá ser constituído por sonda elétrica (medidor do nível de água), que deverá ser compatível com os diâmetros dos tubos piezométricos.

A instalação dos piezómetros deverá ser efetuada após a conclusão das sondagens e após efetuado o esgotamento da água no furo, devendo as leituras ser efetuadas, pelo menos, uma vez por dia, enquanto durar a execução da campanha de prospeção complementar.

Estes piezómetros serão protegidos e, posteriormente, integrados no plano de monitorização da obra.

3.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Sobre amostras remexidas

Sobre amostras recolhidas no amostrador de Terzaghi (SPT) poderão, eventualmente, realizar-se os seguintes ensaios laboratoriais:

- a) Análise granulométrica por peneiração (LNEC E 239-1970);
- b) Determinação dos limites de Atterberg - limite de liquidez e limite de consistência (NP 143-1969);
- c) Determinação da densidade das partículas (EN ISO 17892-3: 2015);
- d) Determinação do equivalente de areia (LNEC E199-1967);
- e) Ensaio de adsorção de azul de metileno (NF P 18-592);
- f) Determinação do teor em água natural (NP 84-1965)

Sobre amostras intactas

Sobre as amostras intactas recolhidas nas sondagens está prevista a realização dos seguintes ensaios laboratoriais :

- Análise granulométrica por peneiração (LNEC E 239-1970);
- Determinação dos limites de Atterberg (Limite de liquidez e limite de consistência) (NP 143-1969);
- Determinação da densidade das partículas EN ISO 17892-3: 2015;

- Ensaio de consolidação em câmara edométrica, com determinação do coeficiente de fluência em diferentes patamares (ASTM D2435-04).

As fichas dos ensaios serão compiladas num relatório final, onde conste também uma memória com síntese dos resultados e os procedimentos de ensaio. Os dados brutos dos ensaios devem ser enviados, juntamente com o relatório, em formato digital editável.

3.5 SÍNTESE DOS TRABALHOS A REALIZAR

Nos quadros seguintes indicam-se as quantidades totais previstas de trabalhos e ensaios a realizar divididas em quantidades ao abrigo do contrato vigente (Quadro 5) e quantidades não previstas no contrato e que serão alvo de contratação adicional (Quadro 6).

Quadro 5 - Lista de quantidades de trabalho contratualizadas

TRABALHO		UN	QT
1	Prospecção Geológico-Geotécnica		
1.1	Relatório geológico-geotécnico (factual)	un	1
1.2	Transporte, montagem e desmontagem do estaleiro e dos equipamentos para a realização da prospecção, realizada com interdição de via e com eventual corte de tensão na catenária	vg	1
1.4	Prospecção mecânica		
1.4.1	Sondagens e ensaios <i>in situ</i>		
1.4.1.1	Mudanças de sonda (o nº de mudanças é igual ao nº de sondagens)	un	31
1.4.1.3	Furação à rotação com carotagem de $\phi \geq 76$ mm em solos e rocha branda	m	798
1.4.1.5	Ensaio SPT	un	532
1.4.1.6	Ensaio CPTu		
1.4.1.6.1	Instalação do equipamento em cada local incluindo toda a preparação necessária para início do ensaio com a realização de pré-furação, quando se revele necessário	un	27
1.4.1.6.2	Penetração estática com registo contínuo das grandezas medidas (resistência de ponta, atrito lateral e pressões neutras)	m	440
1.4.1.6.3	Ensaio de dissipação, com pelo menos 50% de taxa de dissipação do excesso de pressão de água nos poros	un	49
1.4.1.7	Recolha de amostras intactas	un	10
1.5	Ensaio de laboratório		
1.5.1	Sobre solos		
1.5.1.1	Análise granulométrica por peneiração	un	12
1.5.1.2	Limites de Atterberg (LL e LP)	un	12
1.5.1.3	Determinação da densidade das partículas	un	12
1.5.1.4	Equivalente de Areia	un	12
1.5.1.5	Azul de Metileno	un	12
1.5.1.8	Teor em água natural	un	6

Quadro 6 - Lista de quantidades de trabalho não contratualizadas

TRABALHO		UN	QT
1.4.1.8	Ensaio de corte rotativo (molinete)	un	10
1.4.1.9	Perfis sísmicos utilizando o método das ondas superficiais (MASW)	un	15
1.4.1.10	Instalação de piezómetros, incluindo tampa	m	234
1.4.1.11	Leituras de piezómetros a realizar durante a campanha de prospeção	Vg	1
1.5.1.9	Ensaio de consolidação em câmara edométrica, com determinação do coeficiente de fluência em diferentes patamares	un	12

Nota informativa:

A presente publicação é da exclusiva responsabilidade da Infraestruturas de Portugal e não reflete necessariamente a opinião da União Europeia.