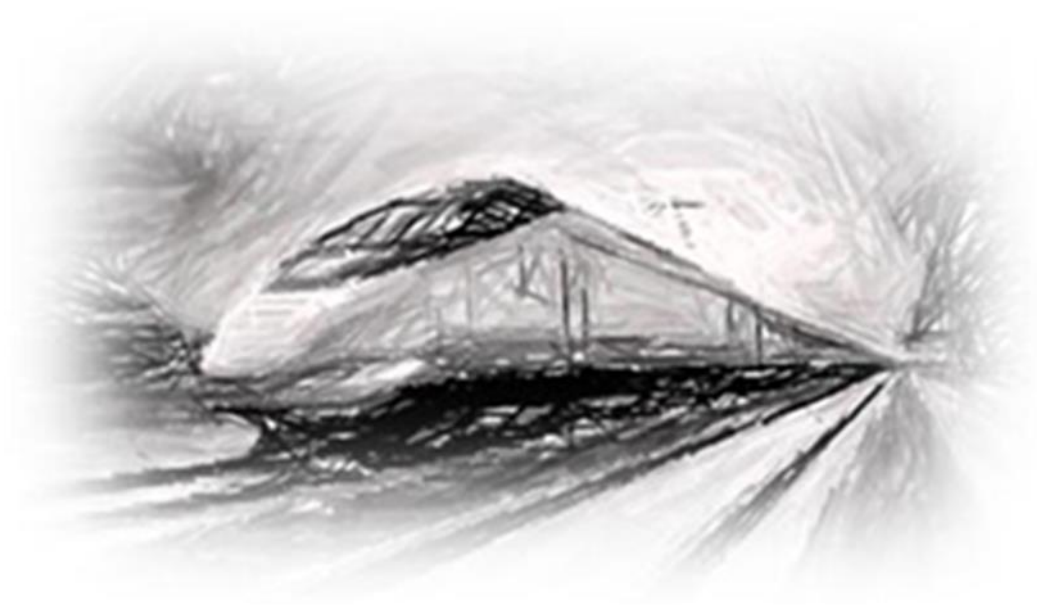


**LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE
PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA
TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
SUBTROÇO A2 – KM 15+500 AO KM 33+200**



**PROJETO DE EXECUÇÃO
V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA FÉRREA
Tomo 01.03.00.00 – ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA
PLATAFORMA**

Memória descritiva e justificativa

LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENT00 PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA

**TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
SUBTROÇO A2 – KM 15+500 AO KM 33+200**

PROJETO EXECUÇÃO

V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA-FÉRREA

TOMO 01.03.00.00 – ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA PLATAFORMA

ÍNDICE DE PEÇAS ESCRITAS		
CÓDIGO DOCUMENTO	DATA	DESIGNAÇÃO
PF102A2.PR.01.03.00.00.IND.00	14.08.2025	ÍNDICE
PF102A2.PR.01.03.00.00.MDJ.00	14.08.2025	MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

ÍNDICE DE PEÇAS DESENHADAS			
CÓDIGO DOCUMENTO	DATA	DESIGNAÇÃO	Nº ORDEM
PF102A2.PR.01.03.00.00.101.00	14.08.2025	A15_1 - PK 15+581 a PK 15+681 Planta e Corte Tipo	EEP 101
PF102A2.PR.01.03.00.00.102.00	14.08.2025	A19_1 - PK 19+944 a PK 20+002 Planta e Corte Tipo	EEP 102
PF102A2.PR.01.03.00.00.103.00	14.08.2025	E22_1 - PK 22+175 a PK 22+325 Planta e Corte Tipo	EEP 103
PF102A2.PR.01.03.00.00.104.00	14.08.2025	A29_1 - PK 29+032 a PK 29+597 Planta e Corte Tipo	EEP 104
PF102A2.PR.01.03.00.00.105.00	14.08.2025	A30_1 - PK 30+420 a PK 30+511 Planta e Corte Tipo	EEP 105

Controlo de Assinaturas

Realizado	Revisto	Aprovado Coordenador Projeto
Pedro Antunes Mário Freire Helena Costa Teresa Santos	Pedro Antunes	Eduardo Mira Fernandes
14-08-2025	14-08-2025	14-08-2025
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 -	Código Documento PF102A2.PR.01.03.00.00.MDJ.00.docx	
O Responsável Unidade -	Revisão 00	Data 14-08-2025
O Responsável Departamento -	Código Projetista	
O Diretor -	Nome do Ficheiro PF102A2.PR.01.03.00.00.MDJ.00.docx	

Registo de Alterações

Rev	Data	Autor	Secção Afetada	Alterações
00	14-08-2025	Vários	Edição inicial	-

LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA**TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ****SUBTROÇO A2 – KM 15+500 AO KM 33+200****PROJETO DE EXECUÇÃO****V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA FÉRREA****TOMO 01.03.00.00 – ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA PLATAFORMA****MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA****ÍNDICE**

1	INTRODUÇÃO	1
2	ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	2
3	PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	3
4	ATERROS	4
4.1	Solução de reforço A15_1 (PK 15+581 a PK 15+681)	4
4.1.1	Descrição do trecho em análise	4
4.1.2	Solução de reforço proposta	10
4.1.3	Faseamento construtivo	11
4.1.4	Plano de Instrumentação e Observação	12
4.2	Solução de reforço A19_1 (PK 19+944 a PK 20+002)	13
4.2.1	Descrição do trecho em análise	13
4.2.2	Solução de reforço proposta	20
4.2.3	Faseamento construtivo	21
4.2.4	Plano de Instrumentação e Observação	22
4.3	Solução de reforço A29_1 (PK 29+032 a PK 29+597)	23
4.3.1	Descrição do trecho em análise	23
4.3.2	Solução de reforço proposta	29
4.3.3	Faseamento construtivo	30
4.3.4	Plano de Instrumentação e Observação	32
4.4	Solução de reforço A30_1 (PK 30+420 a PK 30+511)	32
4.4.1	Descrição do trecho em análise	32
4.4.2	Solução de reforço proposta	36
4.4.3	Faseamento construtivo	37
4.4.4	Plano de Instrumentação e Observação	38

5	VERIFICAÇÃO DE ASSENTAMENTOS EM ATERROS TIPO DE GRANDE ALTURA	40
5.1	Estados Limites de Utilização (Assentamentos)	40
5.1.1	Cálculo dos assentamentos imediatos (s_i).....	40
5.1.2	Cálculo dos assentamentos por consolidação primária (s_c).....	41
5.1.3	Cálculo dos assentamentos por consolidação secundária (fluência) (s_d)	42
5.2	Modelos Numéricos	42
5.2.1	Aterros $H \leq 10,0m$	43
5.2.2	Aterros $H \leq 15,0m$	47
5.2.3	Aterros $H \leq 20,0m$	52
5.2.4	Discussão de Resultados	57
6	ESCAVAÇÕES	58
6.1	Solução de reforço E22_1 (PK 22+175 a PK22+325)	59
6.1.1	Descrição do trecho em análise.....	59
6.1.2	Solução de reforço proposta.....	60
6.1.3	Faseamento construtivo.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do aterro entre os PK 15+500 e 16+569 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15 m$)	5
Figura 2 - Representação do aterro entre os PK 15+500 e 16+569 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15 m$).....	5
Figura 3 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).	6
Figura 4 - Localização esquemática dos empréstimos na linha mais próximos do aterro em análise	9
Figura 5 - Representação do aterro entre os PK 19+611 e 20+179 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15 m$)	13
Figura 6 - Representação do aterro entre os PK 19+611 e 20+179 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15 m$).....	14
Figura 7 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).	14
Figura 8 - Excerto da planta geológica, onde é visível a existência de duas linhas de água secundárias que interseitam a área de implantação do aterro	15
Figura 9 - Localização esquemática dos empréstimos na linha mais próximos do aterro em análise (1/2)	19
Figura 10 - Localização esquemática dos empréstimos na linha mais próximos do aterro em análise (2/2).....	19
Figura 11 - Representação do aterro entre os PK 28+238 e 29+721 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15 m$)	23

Figura 12 - Representação do aterro entre os PK 28+238 e 29+721 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m).....	24
Figura 13 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).	24
Figura 14 - Localização esquemática do empréstimo situado $\approx$ entre os PK 27+102 – 27+609.....	27
Figura 15 - Localização esquemática do empréstimo situado $\approx$ entre os PK 27+870 – 28+238.....	28
Figura 16 - Localização esquemática do empréstimo situado $\approx$ entre os PK 33+550 – 34+400.....	28
Figura 17 - Localização esquemática do empréstimo situado $\approx$ entre os PK 34+575 – 35+400.....	29
Figura 18 - Representação do aterro entre os PK 29+856 e 32+197 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)	33
Figura 19 - Representação do aterro entre os PK 29+856 e 32+197 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m).....	33
Figura 20 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).	34
Figura 21 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase6)	45
Figura 22 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 6)	45
Figura 23 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 6)	46
Figura 24 – Aterro $H \leq 10,0$ - Gráfico dos assentamentos em função do tempo.....	46
Figura 25 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase7)	49
Figura 26 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Sem Reforço	49
Figura 27 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Sem Reforço	50
Figura 28 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Com Reforço	50
Figura 29 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Com Reforço	51
Figura 30 – Aterro $H \leq 15,0$ - Gráfico dos assentamentos em função do tempo.....	51
Figura 31 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase8)	54
Figura 32 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Sem Reforço	54
Figura 33 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Sem Reforço	55
Figura 34 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Com Reforço	55
Figura 35 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Com Reforço	56
Figura 36 – Aterro $H \leq 20,0$ - Gráfico dos assentamentos em função do tempo.....	56
Figura 37 - Aplicação de betão projetado num talude (Fonte: IP)	59

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros geotécnicos para materiais terrosos.....	3
Quadro 2 – Parâmetros geotécnicos para materiais rochosos.	3
Quadro 3 - Solução de reforço detalhada entre os PK 15+581 a 15+681	11
Quadro 4 - Solução de reforço detalhada entre os PK 19+944 a 20+002	21
Quadro 5 - Solução de reforço detalhada entre os PK 29+032 a 29+597	30
Quadro 6 - Solução de reforço detalhada entre os PK 29+032 a 29+597	37
Quadro 7 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos.....	44
Quadro 8 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS	44
Quadro 9 – Aterro $H \leq 10,0$ – Taxas de Deformação	47
Quadro 10 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos.....	48
Quadro 11 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS	48
Quadro 12 – Aterro $H \leq 15,0$ – Taxas de Deformação	52
Quadro 13 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos.....	53

Quadro 14 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS	53
Quadro 15 – Aterro $H \leq 20,0$ – Taxas de Deformação	57

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo é parte integrante da Ligação Ferroviária de Alta Velocidade entre o Porto e Lisboa.

O troço em desenvolvimento denominado como Lote A, tem uma extensão aproximada de 70kms, e situa-se entre o Porto (Campanhã) e Aveiro (Oiã), tendo sido subdividido em 6 zonas:

- Subtroço A1 – km 0+000 ao km 15+500
- **Subtroço A2 – km 15+500 ao km 33+200**
- Subtroço A3 – km 33+200 ao km 49+900
- Subtroço A4 – km 49+900 ao km 70+225
- Subtroço A5 – Estação da Campanhã
- Subtroço A6 – Ligação à Linha do Norte em Canelas

O presente documento diz respeito ao projeto de execução das Estruturas de Proteção e Estabilização da Plataforma, referente ao Subtroço A2 situado entre o km 15+500 e o km 33+200. Este projeto tem por base o estudo de Plataforma da Via / Terraplenagens, que é parte integrante deste projeto e que pode ser consultado no Tomo 1.1.

Além desta memória descritiva e justificativa, integram o presente estudo, um conjunto de peças desenhadas, constituídas por plantas e perfis transversais tipo das soluções adotadas.

2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O enquadramento geológico-geotécnico do sublte interessado nesta memória descritiva e justificativa (assim como a caracterização geotécnica dos materiais a intersetar) poderá ser consultado no tomo 1.7 do presente volume.

3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Os parâmetros geotécnicos dos materiais interessados nas zonas de intervenção definidas neste documento foram definidos no âmbito do enquadramento geológico-geotécnico do sublote ST2, que poderão ser consultados no tomo 1.7 do presente volume.

Por forma a facilitar a consulta do documento, os referidos parâmetros são transcritos nos quadros seguintes.

Quadro 1 – Parâmetros geotécnicos para materiais terrosos.

Descrição	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	c_u (kPa)	E (MPa)
Aterros	16 - 20	25 - 28	0 - 5	-	10 - 20
Aluviões (Al), areias	14 - 18	29 - 34	0	-	10 - 20
Aluviões (Al), argilas	16 - 19	20 - 25	0 - 2	15 - 100	5 - 10
Depósitos de Praias Antigas (Q)	18 - 21	28 - 33	5 - 10	-	15 - 30
Unidade de Arada (X) (W5 a W4, F4-5)	19 - 22	30 - 35	20 - 60	-	50 - 100

Quadro 2 – Parâmetros geotécnicos para materiais rochosos.

Descrição	γ (kN/m ³)	Parâmetros de rotura de Hoek-Brown							E (MPa)
		σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	D	m_b	s	a	
Unidade de Arada (X) (W4 a W3, F4 ou melhor)	21 - 24	5 - 25	20 - 35	5 - 10	0,7	25 - 50	9,22 x 10 ⁻⁶ - 8,11 x 10 ⁻⁵	0,544 - 0,516	150 - 300
Unidade de Arada (X) (W3-2, F3)	22 - 25	25 - 50	30 - 40			50 - 100	3,93 x 10 ⁻⁵ - 1,67 x 10 ⁻⁴	0,522 - 0,511	300 - 500

4 ATERROS

Considerando as características dos materiais a utilizar nos aterros, os condicionamentos de ocupação do solo, as alturas de aterro, a disponibilidade de material adequado e a integração paisagística, considera-se genericamente uma inclinação de 1/2 (V/H) para os taludes de aterro.

Em taludes com altura superior a 10 metros, preconiza-se ainda a execução de uma estabilizadora intermédia, com 3,0 metros de largura e posicionada 10 metros abaixo da rasante, que permitirá diminuir a inclinação média e o percurso de escorrência de águas superficiais, que serão captadas por valetas de banqueta.

A inclinação relativamente baixa dos taludes, assim como adoção de espaldares reforçados em solo-cimento ou ABGE previstos nos trechos de aterros altos ($H_{\text{eixo}} > 15$ m), contribuem favoravelmente para a estabilidade.

As inclinações estabelecidas para os taludes são compatíveis com o revestimento de terra vegetal, devendo este ser aplicado nos taludes, conjuntamente com vegetação autóctone, de modo a prevenir a erosão provocada pela escorrência de água superficial sobre a face. A espessura da camada de terra vegetal deverá ser de 0,15 m.

Apresenta-se, no presente capítulo, a listagem dos aterros no subtroço A2 que atingem altura máxima ao eixo superior a 15 m.

- PK 15+500 – 16+569;
- PK 19+612 – 20+185;
- PK 28+238 – 29+721;
- PK 29+856 – 32+204;

Notar que os PK indicados na listagem apresentada indicam toda a extensão do aterro, sendo as extensões mais críticas ($h > 15$ m) subtrechos dos trechos indicados.

Nos subcapítulos seguintes descreve-se cada uma das situações acima elencadas, no que se refere ao seu enquadramento geológico e geomorfológico, à caracterização geotécnica disponível ao nível das condições de fundação do aterro e ainda a definição das soluções de reforço.

4.1 Solução de reforço A15_1 (PK 15+581 a PK 15+681)

4.1.1 Descrição do trecho em análise

4.1.1.1 Descrição Geral

Nas figuras Figura 1Figura 2Figura 3 apresentam-se excertos do aterro entre o PK 15+500 e 16+568 com particular para ênfase para a extensão crítica do aterro (onde $h_{\text{eixo}} > 15$ m), em planta sobre ortofotomapa, em planta sobre a cartografia geológica à escala 1:1.000 e em perfil longitudinal.

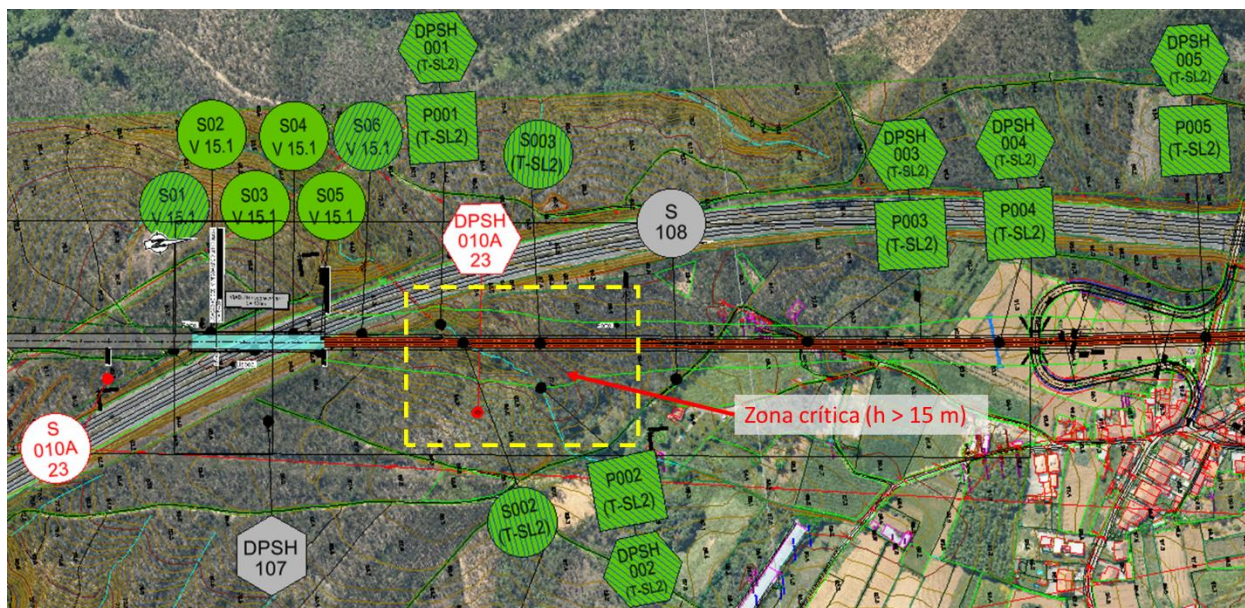


Figura 1 - Representação do aterro entre os PK 15+500 e 16+569 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)

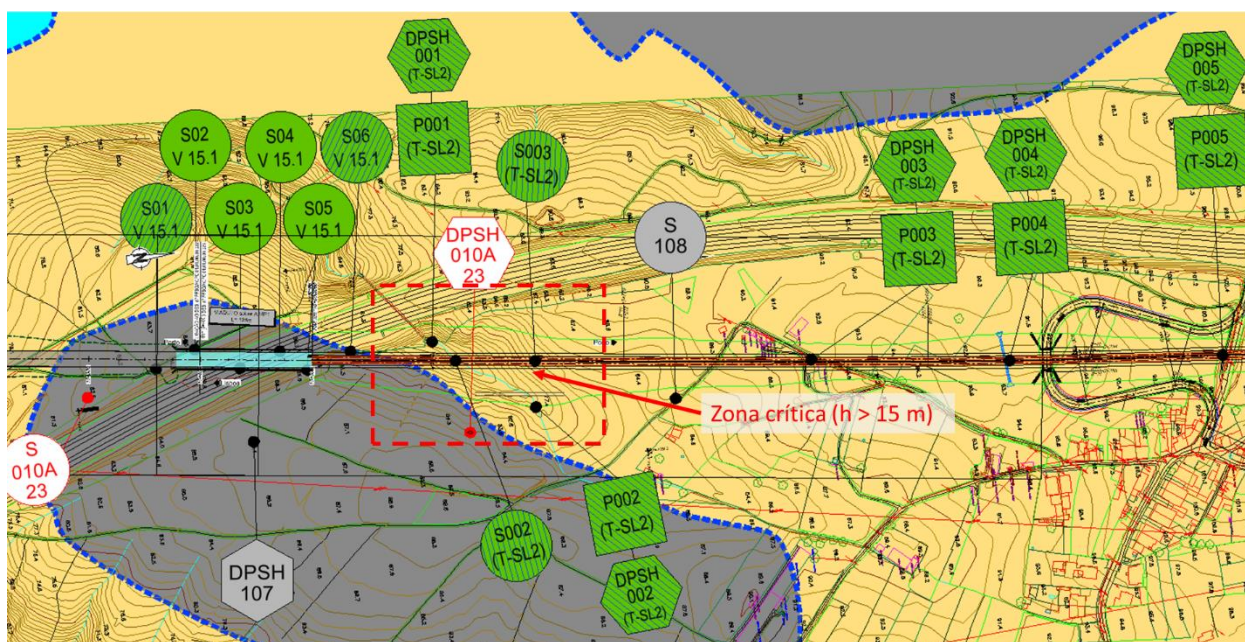


Figura 2 - Representação do aterro entre os PK 15+500 e 16+569 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)

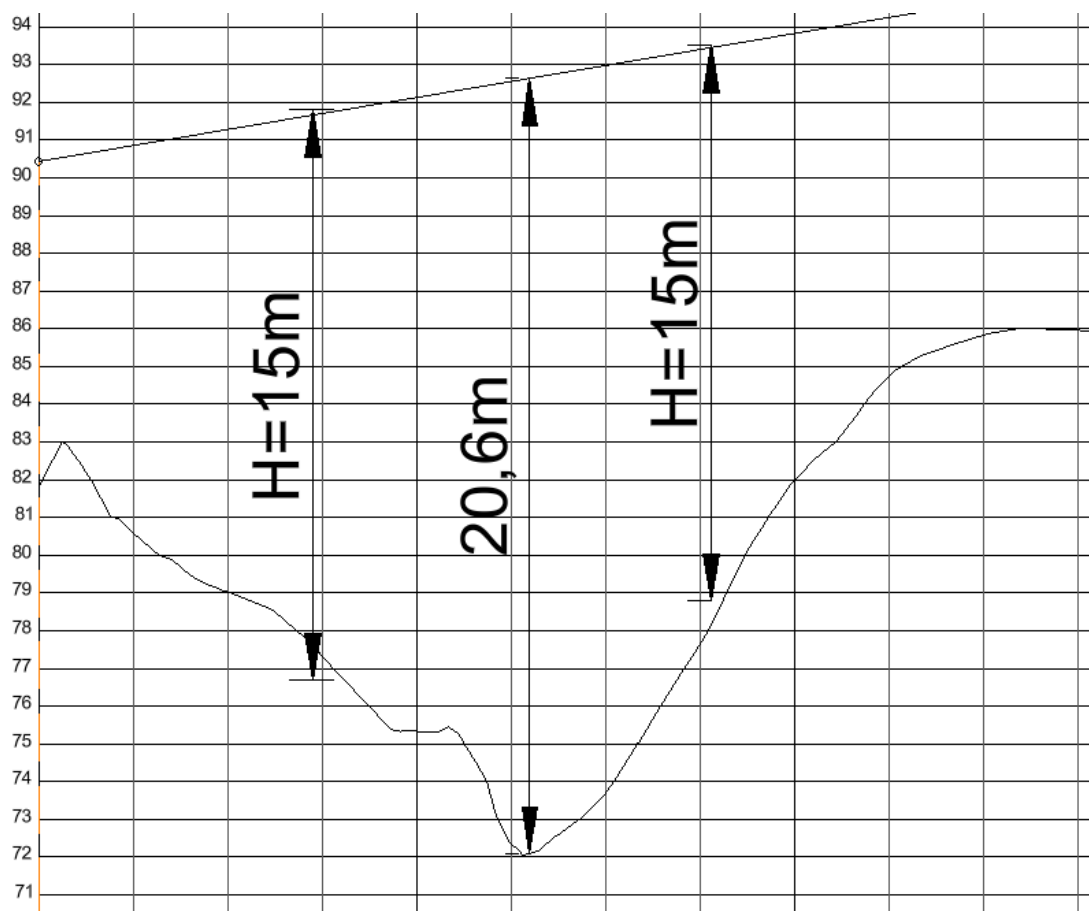


Figura 3 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).

A zona mais crítica do aterro encontra-se situada entre os PK 15+581 e 15+681 (100m), sendo esta designado por A15_1 (100 m), onde a altura ao eixo varia entre 15,0 e 20,6 m, sendo este valor máximo atingido ao PK 15+628.

Esta zona crítica ocorre no atravessamento de viés de uma linha de água muito encaixada, cujo fluxo se dá de NE para SW. A altura máxima do aterro é atingida num local onde o terreno configura uma depressão, estando o aterro confinado pelo vale para N, S e E, enquanto do lado W o seu confinamento é obtido pelo aterro da A1 ao km $\approx$ 245+550, cujo pano aparenta altura entre 9 a 10 m.

A linha de água referida é captada por uma PH associada à A1, sendo crucial que, na fundação do aterro ferroviário, se garanta a canalização desta linha de água e adequada ligação à estrutura existente do aterro rodoviário.

4.1.1.2 Considerações Geológicas e geotécnicas

A formação geológica sobre a qual se desenvolve este aterro corresponde à Unidade de Arada, sendo esta uma formação de cariz metamórfico, representada, essencialmente, por filitos negros e esverdeados constituídos por xistos argilo-quartzo-sericíticos, quartzo-sericito-cloríticos, clorito-sericito-moscovíticos, geralmente físseis, que se apresentam mais ou menos ondulados e contêm intercalações quartzosas lenticulares

Relativamente à prospeção geotécnica existente, destacam-se os seguintes elementos:

- S010A-23 (Estudo Prévio, IP): Esta sondagem situa-se ao PK 15+300, estando situada a curta distância do eixo de traçado. No entanto, situa-se a mais de 250 m da zona que interessa caracterizar. Não obstante, a informação contida nesta sondagem é útil para caracterizar, de um modo geral, os materiais expetáveis de intersetar na fundação do aterro.
- DPSH010A-23 (Estudo Prévio, IP): Situado, sensivelmente, ao km 15+640, este DPSH aparenta ter intersetado depósitos de terraços fluviais (Q). No entanto, dado que foi executado a cerca de 65 m do eixo de traçado e a uma cota de terreno superior à do aterro, os seus resultados não serão representativos das suas condições de fundação.
- S108 (Ex-Rave): A sondagem S108 foi executada, sensivelmente ao PK 15+825. Não se dispõe do log desta sondagem, mas, no entanto, é possível inferir alguma informação a partir do diagrama patente nos desenhos de planta-perfil longitudinal do tomo de geologia e geotecnia. Esta sondagem é representativa das condições de fundação do aterro imediatamente 150 m para N do final do trecho mais crítico.

Síntese dos resultados da S010A-23: A sondagem S010A-23 intersetou a Unidade de Arada em todo o seu comprimento, a qual manifestou-se na forma de grauvaques decompostos até aos 5,7 m de profundidade. Abaixo deste horizonte, transita-se para xistos grauvacóides decompostos, com xistosidade sub-vertical. Ambos os materiais ocorrem na forma de solos residuais argilosos a silto-argilosos de cor castanha alaranjada, contendo fragmentos rochosos de grauvaques e/ou de xistos. Obtiveram-se “negas” em ensaios SPT desde os 3,0 m de profundidade, tendo a sondagem terminado aos 10,73 m de profundidade. Não se refere a deteção de nenhum nível de água durante os trabalhos de furação. Não houve qualquer recuperação de amostra (exceto a resultante dos ensaios SPT), potencialmente devido à xistosidade encontrar-se vertical.

Síntese dos resultados do DPSH010A-23: O DPSH010A-23 revela que o horizonte superficial de terreno (primeiros 2,0 m) tem resistência de ponta dinâmica sempre superior a 10 MPa. A “nega” foi obtida aos 2,6 m de profundidade.

Síntese dos resultados da sondagem S108: A sondagem S108 detetou, até à profundidade de 2 m, maciço decomposto (W5). Abaixo da referida profundidade, dá-se a passagem a maciço rochoso com grau de alteração W3 e grau de fracturação F5-4 a F3-2. Atendendo ao facto de não se dispor do *log* desta sondagem, não é possível aferir as características geotécnicas do solo, reconhecendo-se, apenas, que se obteve uma “nega” em ensaio SPT.

Em suma, embora a prospeção existente permita uma avaliação preliminar das condições de fundação do aterro, não existem elementos que permitam caracterizar, especificamente, as condições de fundação na sua zona mais crítica.

4.1.1.3 Caracterização da fundação do aterro

Como referido anteriormente, não existem dados de prospeção geotécnica que permitam uma caracterização específica das condições de fundação do aterro no seu trecho mais crítico. No entanto, é possível referir os seguintes aspetos.

- Apesar de não se encontrar ainda cartografada à escala 1:1.000, é plausível a existência de aluviões/coluviões ao longo do alinhamento da linha de água, embora seja expetável que estas não possuam possança nem desenvolvimento significativo. A prospeção proposta permitirá confirmar a existência (ou inexistência) de aluviões.

- Não obstante o referido no ponto anterior, será sempre exetável a existência de um horizonte superficial de material mais descomprimido/alterado, passível de ser saneado.
- Fora da zona mais baixa, é exetável que a fundação do aterro assente sobre solos residuais silto-argilosos rijos, com alguma componente pedregosa.
- No trecho mais crítico deste aterro, observa-se que o pano esquerdo irá sobrepor-se ao aterro existente da A1/IP1 ($\approx$ km 243+550), situação que acarreta implicações geotécnicas significativas, exigindo a criação de endentamentos e a avaliação da capacidade de suporte dos materiais de aterro existentes.

4.1.1.4 Caracterização de empréstimos

As escavações que deverão produzir maiores volumes mais próximas do aterro em análise são as seguintes:

$\approx$ 13+520 – 13+850 (SL1): A sondagem S008A-23, embora algo afastada do eixo de traçado ($\approx$ 110 m), permite alguma caracterização desta escavação, indicando esta que os materiais a escavar compreendem:

- Resultados da sondagem S008A-23:
 - Depósitos de Terraço (até 12 m de profundidade): Areia de granulometria variável, algo siltosa, com seixo disperso. Tratam-se de solos classificados, geralmente, como medianamente compactos e, pontualmente, compactos (obtiveram-se NSPT entre 14 e 32 pancadas);
 - Arenitos de Eirol (a partir dos 12 m de profundidade) Solo residual areno-siltoso, de granulometria variável, extremamente compacto, de cor avermelhada a arroxeada, descrito como um “grés intensamente friável”. Geralmente caracterizado por “negas” de primeira fase.

$\approx$ 14+075 – 14+810 (SL1): Nesta escavação consideram-se os dados patentes nas sondagens S009A-23, S405 e S107.

- Resultados da sondagem S009A-23:
 - Depósitos de Terraço (até 4,8 m de profundidade): Areias de granulometria variável, siltosas, com seixo disperso na base. Caracterizadas por “negas” em ensaios SPT.
 - Arenitos de Eirol: Solo residual silto-arenoso a areno-siltoso, pontualmente com componente argilosa, descrito como um “grés intensamente friável”. Geralmente caracterizado por “negas” de primeira.
- Resultados da sondagem S405:
 - Depósitos de Terraço (até 20 m de profundidade): Areias de grão médio a grosseiro, levemente argilosas nos horizontes superiores, apresentando compacidade muito variável (NSPT entre 17 e 60).
 - Arenitos de Eirol: Solo residual argilo-arenoso com abundantes fragmentos de quartzo de dimensão variável. Material caracterizado por “negas” de primeira fase.
- Resultados da sondagem S107:

- Depósitos de Terraço (até 7,2 m de profundidade): Areia argilosa de cor alaranjada a acastanhada com seixo e calhau de quartzo rolado a subrolado. Materiais caracterizados por NSPT de 18 a 38;
- Unidade de Arada: Xistos luzentes, com xistosidade subvertical, com superfícies de descontinuidade ligeiramente onduladas, pouco rugosas, com óxidos negros e, por vezes, preenchimento argiloso. Nesta sondagem, o maciço foi intersetado com grau de alteração W4-3 a W3 e grau de fracturação F5 a F3.

Tratam-se de dois trechos em escavação consecutivos onde os taludes de escavação irão atingir alturas máximas bastante significativas e que deverão intersear Depósitos de Terraços Fluviais (Q) e os Arenitos de Eirol (T). No caso específico do segundo trecho de escavação, deverá verificar-se uma transição, ao nível do maciço subjacente aos Depósitos Quaternários, da Unidade Arenitos de Eirol (T) para a Unidade de Arada (X).

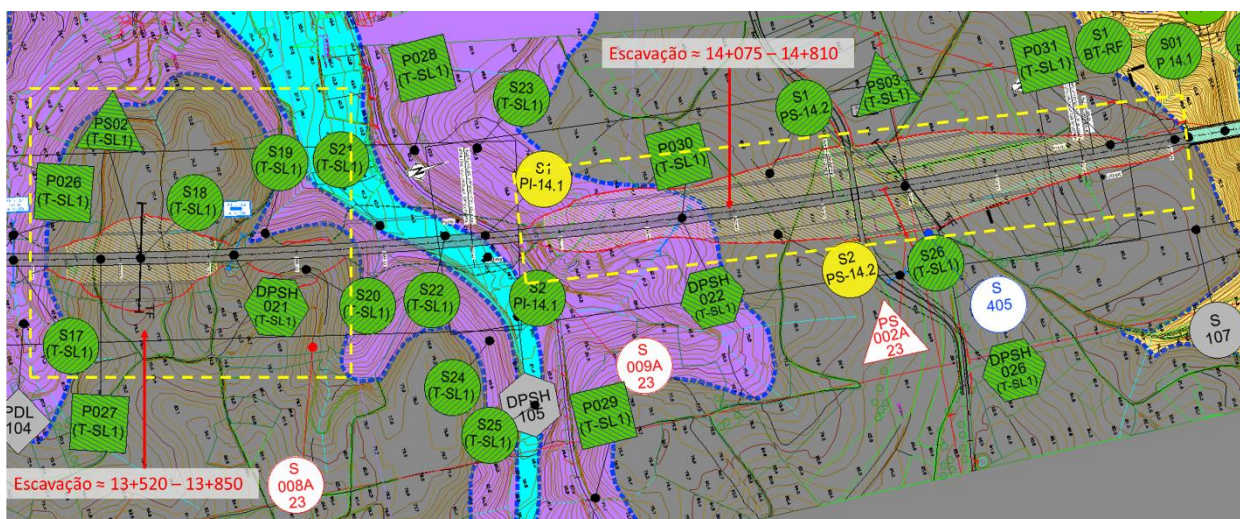


Figura 4 - Localização esquemática dos empréstimos na linha mais próximos do aterro em análise

Em suma, os resultados disponíveis até ao momento revelam que estas escavações têm potencial para produzir materiais de boa qualidade geotécnica, pese embora esta conclusão tenha de ser suportada por ensaios laboratoriais que o demonstrem inequivocamente. Adicionalmente, constata-se que ao nível da Unidade de Arada exista a possibilidade de se obter materiais mais heterogêneos, podendo tratar-se de solos finos com raros fragmentos rochosos, materiais tipo solo-enrocamento de matriz fina ou rocha xistenta. Também no caso dos Arenitos de Eirol poderá verificar-se alguma heterogeneidade, nomeadamente no que se refere ao teor de finos.

Os solos a obter dos depósitos de terraço e dos Arenitos de Eirol, dado serem maioritariamente granulares, deverão ter características adequadas para produzir soluções de solo-cimento. Neste sentido, é importante uma criteriosa gestão dos materiais escavados, de modo a reservar os melhores materiais para a fundação, o espaldar e a parte superior do aterro.

Já os materiais a obter da Unidade de Arada e, em situações particulares, dos Arenitos de Eirol, corresponderão a materiais de matriz fina, que, potencialmente, poderão ser utilizados no corpo do aterro sem limitações. No entanto, a sua matriz fina, deverá inviabilizá-los de serem alvo de tratamento com cimento.

A eventual aplicação de enrocamentos na fundação dos aterros estará dependente da sua obtenção em empréstimo já que, mesmo que possam ser obtidos materiais rochosos na base das escavações, estes não têm características para serem aplicados com esta finalidade (materiais excessivamente friáveis e alteráveis)

4.1.2 Solução de reforço proposta

Como possíveis soluções para este aterro, preconizam-se (preliminarmente) as seguintes:

- Fundação do aterro:
 - Saneamento numa espessura mínima de 1,5 m e substituição por enrocamento envolto em geotêxtil (camada drenante);
 - Escavação de endentamentos no terreno natural, devido à sua elevada pendente;
- Parte inferior do aterro:
 - Aplicação de materiais insensíveis à água (enrocamento) - A aplicação de enrocamento deverá ser considerada até 0,5 m acima do nível máximo de cheia, o qual deverá ser determinado pela especialidade de hidrologia.
- Corpo do aterro:
 - Execução do aterro com materiais de características equiparáveis à classe QS2 ou QS1 (IRS70719), desde que o material seja caracterizado com valores de CBR > 10%, aplicados em camadas com espessura máxima de 30 cm e compactados a 95 % da baridade seca máxima (a aferir com o ensaio Proctor modificado). No caso de se aplicarem materiais xistentos, de características evolutivas, deverá assegurar-se que a compactação é realizada com cilindros pé-de-carneiro.
- Espaldar do aterro:
 - Aplicação de materiais com características idênticas ao corpo do aterro, mas tratados com cimento (teor estimado de 3 a 4 %, a validar com estudo de formulação específico). O tratamento com cimento deverá ser executado com uma largura de 7 a 10 m (pano superior e pano inferior do aterro, respetivamente). Estes espaldares podem também ser executados com materiais granulares britados do tipo ABGE, devendo ser assegurada a drenagem para o exterior do aterro.
- Parte superior do aterro / coroamento
 - Atendendo aos exigentes critérios de deformabilidade a que os Projetos têm de atender, considera-se que também o coroamento e a parte superior do aterro devem ser alvo de tratamento com cimento, nos mesmos termos que o indicado para os espaldares do aterro. Nesta fase preconiza-se uma espessura de 3 m para o coroamento / PSA tratado com cimento. Tal como referido para os espaldares do aterro, também neste caso admite-se a possibilidade de se considerar uma solução equivalente com aplicação de ABGE.

As soluções propostas foram definidas em função da altura do aterro, estando a sua distribuição ao longo do traçado sintetizada na tabela seguinte.

Quadro 3 - Solução de reforço detalhada entre os PK 15+581 a 15+681

Aterro Geral				Zona de tratamento				
Km inicial	Km final	Extensão Total (m)	H _{máx} (eixo) (m)	Km inicial	Km final	Extensão(m)	H(eixo) (m)	Tipo do Solução
15+500	16+568	1068,1	20,6	15+581	15+614	33	15 < Heixo < 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 5m pano superior: e = 8 m Coroamento: e = 3m
				15+614	15+663	49	Heixo > 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 7m pano superior: e = 10 m Coroamento: e = 3m
				15+663	15+681	18	15 < Heixo < 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 5m pano superior: e = 8 m Coroamento: e = 3m

4.1.3 Faseamento construtivo

No que se refere ao processo construtivo, a execução dos aterros propostos, deve obedecer ao estipulado no Caderno de Encargos da Obra. Não obstante, importa referir que:

- Deverá promover-se a utilização de materiais com a mesma origem, e bem assim com comportamento uniforme, ao longo da mesma camada, em particular nos espaldares, não sendo permitida a alternância entre materiais xistosos e graníticos. Também em altura, a alternância destes materiais só é permitida no mínimo a cada 5 camadas (2m);
- Os materiais devem ser dispostos em “cordão”, a cerca de 5 metros da frente da camada, sendo depois espalhados pelo “Buldozer”, com a sua lâmina progressivamente mais baixa, por forma a permitir a boa envolvimento dos materiais mais grossos com os mais finos, que se reveste de fundamental importância, em particular, nos materiais xistosos dada a sua forte anisotropia e heterogeneidade conferida pela xistosidade. Com este procedimento consegue-se ainda uma fragmentação secundária, provocada pela passagem das lagartas do “Buldozer”, bastante benéfica, atendendo ao carácter evolutivo dos xistos; e,
- As camadas não deverão ter espessura superior a 0,40 m e deverão ser sujeitas a uma compactação intensa.

A execução de solo-cimento in situ pressupõe que as camadas dos espaldares sejam feitas em simultâneo com o restante aterro, não havendo diferenciação dessa parte do aterro relativamente ao restante até ao início do processo de enriquecimento do solo com cimento, que ocorre após a compactação da camada (que deverá estar minimamente desempenada).

O cimento deve ser adicionado na proporção ponderal de 3 a 4% (esta percentagem de cimento, por ser relativamente diminuta, mas claramente suficiente, não deverá conduzir a fenómenos de fissuração das camadas tratadas).

As camadas devem ser tratadas em toda a sua espessura (0,40 m), nas larguras apresentadas anteriormente, o que implica, a sua execução por faixas adjacentes de largura limitada à do tambor misturador da recicladora (usualmente com 2,5 m).

A execução de solo-cimento in situ pressupõe a realização sequencial das seguintes etapas construtivas, após a compactação inicial da cada camada:

- Espalhamento do cimento pelo camião-silo;
- Execução da mistura com adição de água, pela recicladora acoplada à cisterna. Quando decorra mais de 4 horas entre a realização de camadas consecutivas de solo-cimento, a recicladora deverá proceder à escarificação da camada abaixo da que se pretende tratar, em 1-2 cm, para que, desta forma, se promova a adequada ligação entre camadas;
- Compactação final com cilindro; e,
- Espalhamento, até um máximo de 4 horas após a compactação final, de uma nova camada, para execução imediata de solo-cimento ou apenas para cobertura, o que permitirá reduzir a exposição da camada tratada e funcionar como cura (substituindo a rega betuminosa que se utiliza usualmente para esse fim).

A construção dos aterros deve ser antecedida da realização de um trecho experimental de aterro corrente e de outro em solo-cimento, que permitirão confirmar os pressupostos de projeto, aferir a gama de valores de teor em água dos materiais mais adequada à construção dos aterros, e no que se refere ao trecho em solo-cimento, avaliar as resistências obtidas para a percentagem de cimento adicionada e a sua evolução temporal, em particular nos primeiros tempos.

4.1.4 Plano de Instrumentação e Observação

O plano de Instrumentação e Observação permitirá avaliar o desempenho das estruturas durante as fases construtiva e de exploração, mediante o reconhecimento de critérios de alerta, traduzindo diferentes níveis de gravidade, suscitados por medições anómalas das grandezas monitorizadas, os quais poderão indiciar a necessidade de intervenções com vista a garantir a segurança e economia das Obras em causa.

Este Plano foi concebido com base nos condicionamentos próprios da Obra, atendendo aos riscos a eles associados.

Por forma a caracterizar o comportamento das estruturas, no que se refere às suas deformações internas e superficiais, o Plano de Instrumentação e Observação contempla a instalação de dispositivos de observação e de instrumentação, a saber:

- Marcas topográficas, para medição das grandezas deslocamento horizontal e deslocamento vertical, na superfície dos aterros;
- Extensómetros, para medição da grandeza deslocamento vertical, no interior dos aterros; e,
- Inclínómetros, para medição da grandeza deslocamento horizontal, no interior dos aterros.

Os dispositivos de observação previstos serão instalados nos coroamentos, nas banquetas e nas saias dos aterros, de acordo com o descritivo seguinte e representado nas peças desenhadas do projeto.

- Coroamento: Marcas topográficas, inclínómetros e extensómetros;

- Banquetas: Marcas topográficas e inclinómetros;
- Pé do aterro: Marcas topográficas;

4.2 Solução de reforço A19_1 (PK 19+944 a PK 20+002)

4.2.1 Descrição do trecho em análise

4.2.1.1 Descrição Geral

Nas figuras Figura 5, Figura 6 e Figura 7 apresentam-se excertos do aterro entre o PK 19+611 e 20+179, com particular para ênfase para a extensão crítica do aterro (onde $h_{\text{eixo}} > 15$ m), em planta sobre ortofotomapa, em planta sobre a cartografia geológica à escala 1:1.000 e em perfil longitudinal.

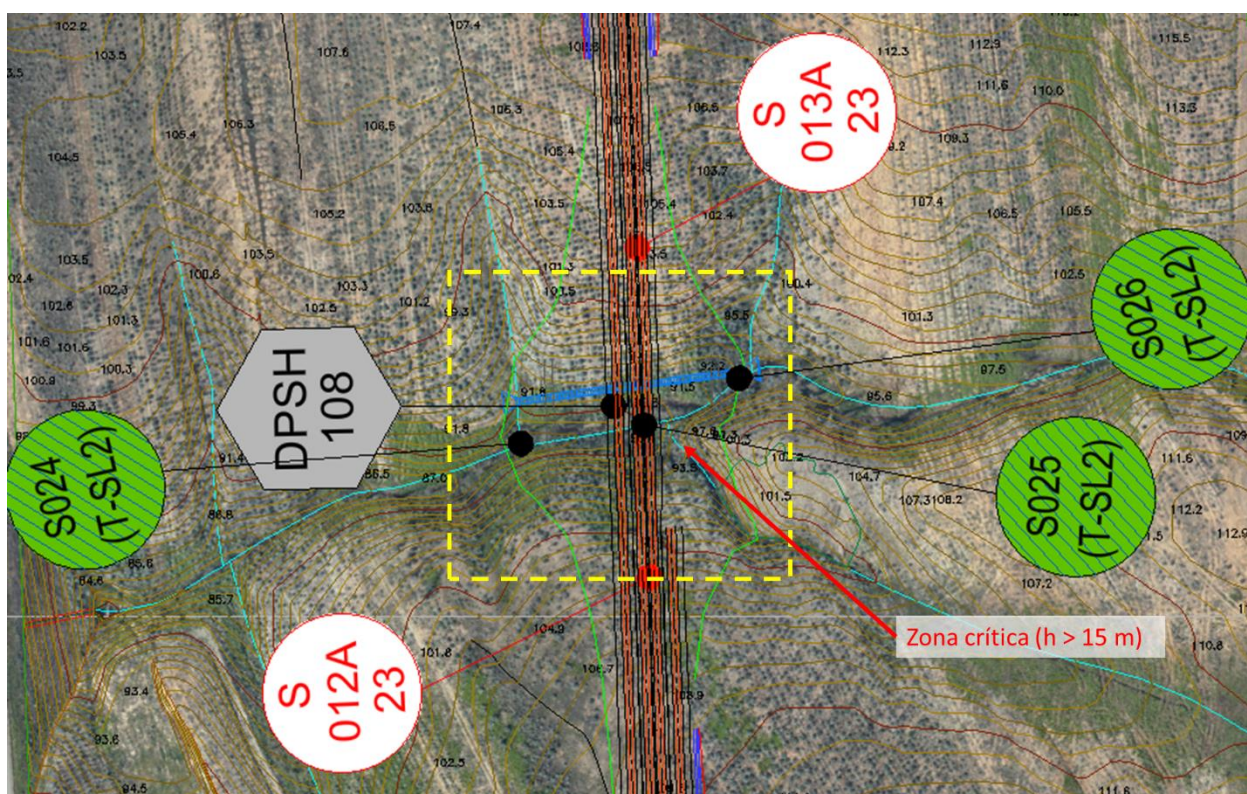


Figura 5 - Representação do aterro entre os PK 19+611 e 20+179 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)

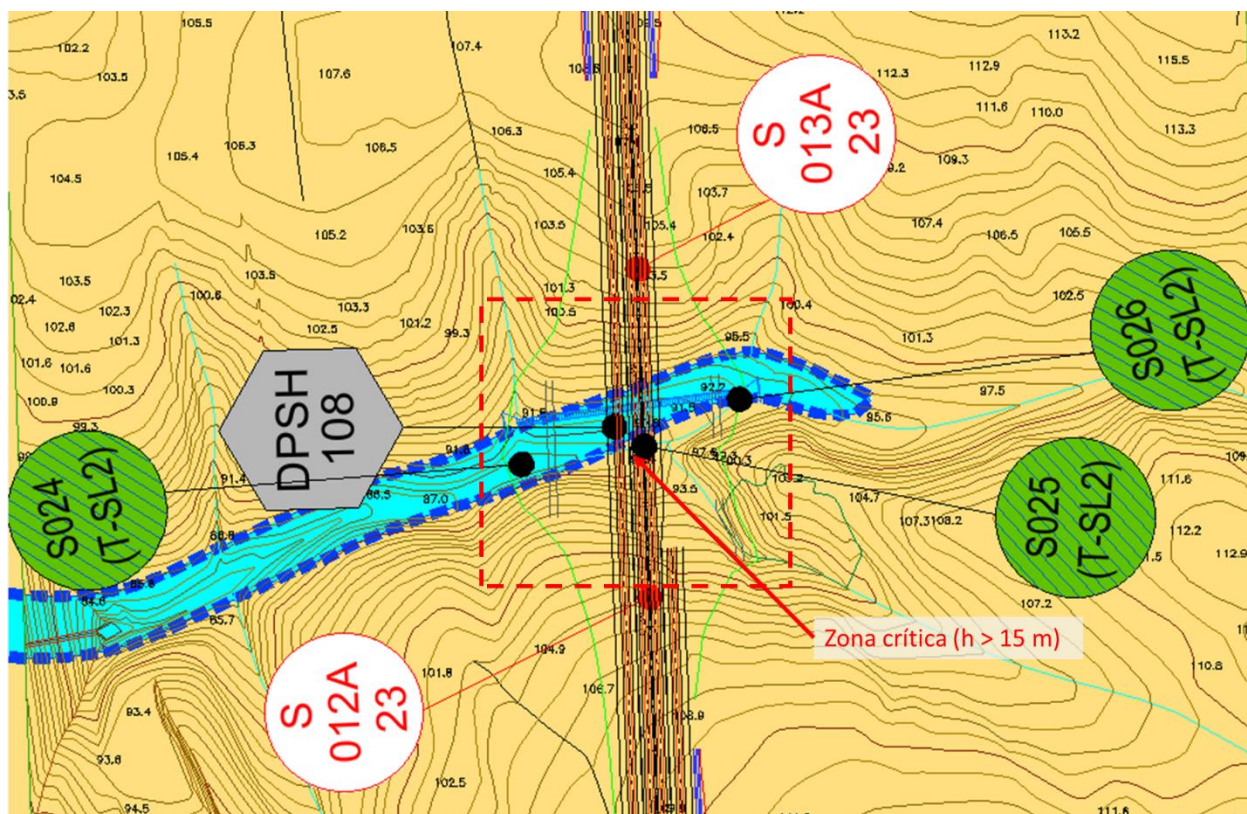


Figura 6 - Representação do aterro entre os PK 19+611 e 20+179 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)

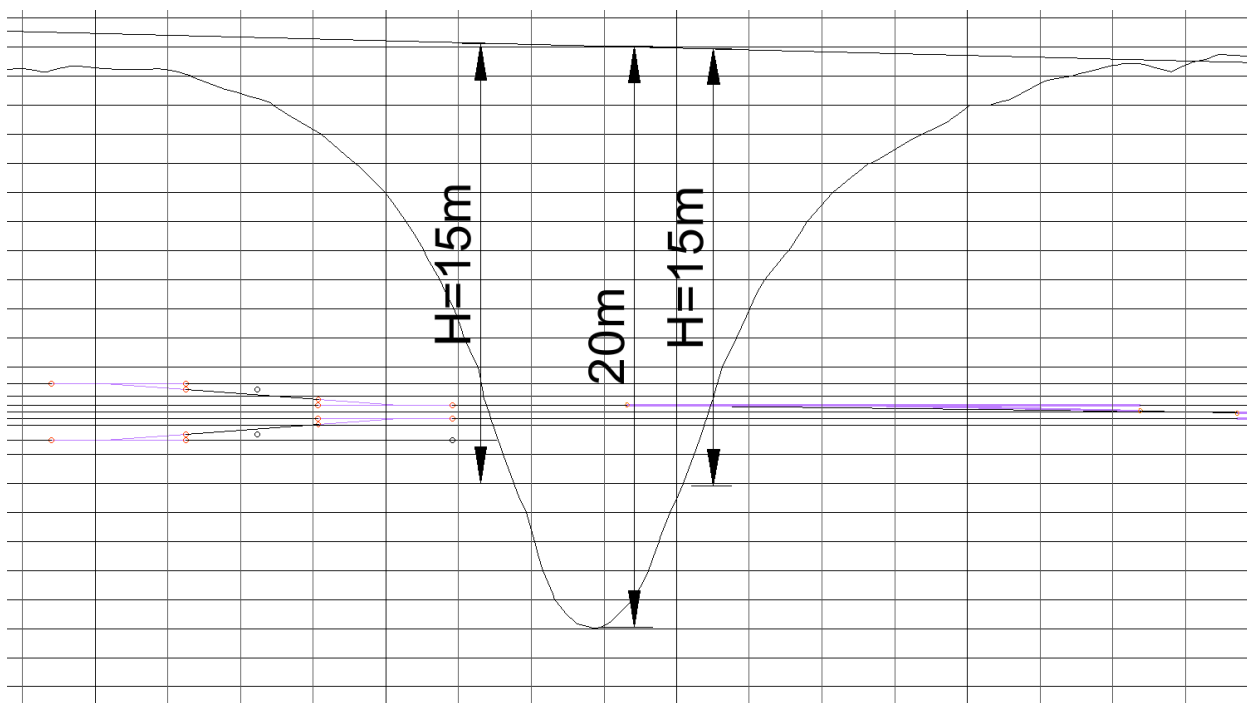


Figura 7 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).

A zona mais crítica do aterro encontra-se situada entre os PK 19+944 e 20+002 (58 m), correspondendo ao troço A19_1, onde a altura ao eixo varia entre 15,0 e 20,0 m, sendo este valor máximo atingido ao PK 19+971.

A zona mais crítica do aterro interessado ocorre no atravessamento de uma linha de água muito encaixada, cujo fluxo se dá de E para W, sendo esta intersetada perpendicularmente. A altura máxima do aterro é atingida ao eixo da linha de água, estando o aterro confinado pelo a N e a S pelos flancos do vale.

Para W do aterro, a linha de água é canalizada por uma PH associada ao terço da A1/IP1, distando a boca de entrada cerca de 175 m do pé do aterro, pelo que este aspeto não terá influência na obra ferroviária. Pela análise da topografia e da fotografia aérea, observa-se que a linha de água já referida é alimentada por várias outras linhas de água de reduzida extensão, com disposição paralela ao traçado.

Entre as linhas de água secundárias mencionadas, destacam-se duas, em particular, dado que interseitam a área de implantação do aterro (ver imagem infra). Estas linhas de água deverão ser alvo de intervenção, de modo a impedir a sua circulação sob a fundação do aterro.

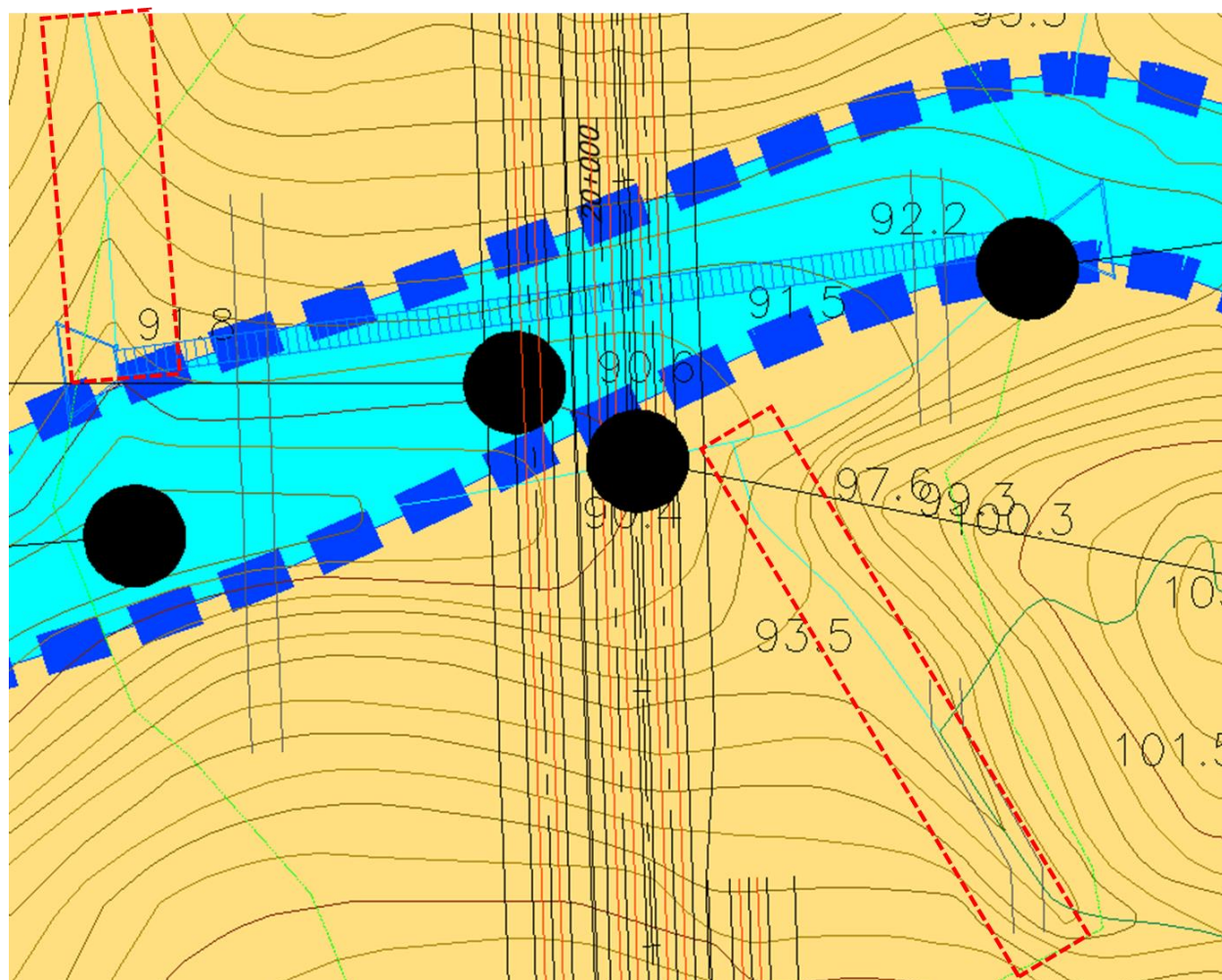


Figura 8 - Excerto da planta geológica, onde é visível a existência de duas linhas de água secundárias que interseitam a área de implantação do aterro

4.2.1.2 Considerações Geológicas e geotécnicas

A formação geológica sobre a qual se desenvolve este aterro corresponde à Unidade de Arada, sendo esta uma formação de cariz metamórfico, representada, essencialmente, por filitos negros e esverdeados constituídos por xistos argilo-quartzo-sericíticos, quartzo-sericito-cloríticos, clorito-sericito-moscovíticos, geralmente físseis, que se apresentam mais ou menos ondulados e contêm intercalações quartzosas lenticulares.

No que respeita à prospeção geotécnica existente, destacam-se os seguintes elementos:

- S012A-23 (Estudo Prévio, IP): Esta sondagem situa-se ao PK 19+010 e encontra-se ao eixo de traçado, sendo representativa dos terrenos que antecedem o troço mais crítico do aterro.
- DPSH0108 (Ex-RAVE): Situado, sensivelmente, ao km 19+980, este DPSH situa-se sobre uma mancha de aluviões (Al), pelo que poderá permitir estimar a espessura das aluviões na envolvente da linha de água.
- S013A-23 (Estudo Prévio, IP): A sondagem S013A-23 foi executada, sensivelmente, ao PK 20+045, sendo representativa dos terrenos imediatamente a norte do trecho mais crítico do aterro.

Síntese dos resultados da S012A-23: A sondagem S012A-23 interseitou a Unidade de Arada em todo o seu comprimento, a qual manifestou-se na forma de xistos grauvacóides com grau de alteração de W4 a W3 e grau de fracturação F5 a F4-3. As superfícies de descontinuidade podem apresentar preenchimento silto-argiloso (solos residuais) e a rocha manifesta xistosidade vertical.

Síntese dos resultados do DPSH0108: O DPSH0108 revela que o horizonte superficial de terreno (primeiros 1,4 m) encontra-se mais descomprimido, podendo corresponder à possança do nível aluvionar cartografado. A “nega” foi obtida aos 1,8 m de profundidade.

Síntese dos resultados da sondagem S013A-23: A sondagem S013A-23 detetou, até à profundidade de 1,6 m, maciço decomposto (W5), na forma de solos residuais silto-argilosos com fragmentos rochosos, de origem xistenta. Abaixo da referida profundidade, dá-se a passagem a maciço rochoso (xistos luzentes) com grau de alteração W3 e grau de fracturação F5-4 a F3, apresentando-se fracturação sub-vertical e a xistosidade orientada, sensivelmente, a 45° com o eixo da sondagem.

Em suma, a prospeção existente revela que, na proximidade dos limites do trecho mais alto do aterro, a fundação é constituída por rocha aflorante a sub-aflorante (sendo que, quando não aflora diretamente, interseita uma fina camada de solo residual muito consistente). O DPSH0108 permite estimar a espessura de aluviões em cerca de 1,0 m. A prospeção disponível não permite caracterizar a Unidade de Arada no fundo do vale, local onde o aterro atingirá altura máxima.

4.2.1.3 Caracterização da fundação do aterro

Ao nível da fundação do aterro interessado, é possível aferir o seguinte:

- As aluviões são intersetadas com ligeiro viés, entre os PK 19+975 e 20+000. O DPSH0108 sugere baixa possança aluvionar ($\approx 1,4$ m), a qual será verificada pelo trio de sondagens propostas.

- Desconhecem-se as características da Unidade de Arada no fundo do vale, embora seja expetável que esta se manifeste, pelo menos, na forma de solos residuais de elevada consistência.
- Atendendo ao referido, é expetável que haja necessidade de efetuar saneamentos das aluviões numa espessura de 1,0 a 1,5 m com substituição por enrocamento.

4.2.1.4 Caracterização de empréstimos

As escavações que deverão produzir maiores volumes mais próximas do aterro em análise são as seguintes:

≈ 20+900 – 21+500 (SL2): Os elementos de prospeção existentes mais próximos do traçado incluem o poço P111 e o perfil sísmico PS003A-23

- Resultados do poço P111 (ensaios laboratoriais):
 - Este poço (da fase da Ex-RAVE) foi realizado ao PK ≈22+325, intersetou a Unidade de Arada e revelou a presença de solos classificados como A-1-b (0) / GM – Cascalho siltoso com areia / C1-B5 (classificações AASHTO / ASTM / LCPC, respetivamente). Os dados disponíveis indicam que o solo analisado tem teor de finos de 18 %, limite de liquidez de 42 %, Limite de plasticidade NP, teor em água de 15,5 % e equivalente de areia de 17 %. Não obstante a classificação de solos sugerir solos de excelente qualidade, este material seria classificado como QS1 ao abrigo da classificação de solos patente no normativo IRS70719;
- Resultados do perfil sísmico PS003A-23:
 - Este perfil sísmico (Estudo Prévio, 2023) foi executado ao PK ≈21+400, com disposição transversal ao traçado, revelando que o maciço rochoso deverá ocorrer de modo subaflorante, a profundidades estimadas entre os 2 e os 4 m, tornando-se mais compacto em profundidade ((atingindo-se VP > 3000 m/s a partir dos 6,5 a 10 m de profundidade)).

Além dos elementos acima elencados, refere-se, ainda, a sondagens S074A-23, que embora esteja bastante afastada do eixo de traçado (ca. 170 m), auxilia na caracterização do maciço interessado. Como efeito, os dados desta sondagem estão coerentes com o perfil sísmico PS003A-23, revelando a presença de solos residuais argilo-siltosos rijos ($N_{SPT} \geq 60$), de origem xisto-grauvacóide, passando a maciço rochoso com grau de alteração W4 a W3 e grau de fracturação F5-4 a F4-3, caracterizado por xistosidade sub-vertical, possuindo as superfícies das descontinuidades fortes sinais de oxidação.

≈ 21+600 – 22+350 (SL2): Nesta escavação consideram-se os dados patentes nas sondagens S075A-23, S014A-23 e S015A-23.

- Resultados da sondagem S075A-23:
 - Unidade de Arada: intersetada na forma de maciço rochoso desde a superfície, apresentando-se os 1,60 m superficiais na forma de maciço muito alterado a decomposto (solo residual silto-argiloso com abundantes fragmentos grauvacóides), passando, seguidamente, a xistos grauvacóides, algo luzentes, com grau de alteração W3 e grau de fracturação F4. Observa-se intensa oxidação nas paredes das descontinuidades e alguns filonetes de quartzo;

- Resultados da sondagem S014A-23:
 - Unidade de Arada: intersetada na forma de grauvaques xistentos até aos 5,5 m de profundidade, a partir de onde indica-se a passagem a xistos grauvacóides, com xistosidade orientada a 45° com o eixo da sondagem, verticalizando em profundidade e frequentes filonetes quartzíticos. O maciço rochoso apresenta grau de fracturação compreendido entre W4 e W3 e grau de fracturação entre F5 e F4-3.
- Resultados da sondagem S015A-23:
 - Unidade de Arada: Intersectada na forma de xistos grauvacóides, por vezes algo luzentes, com grau de alteração compreendido entre W4 e W3-2, verificando-se melhoria progressiva da qualidade do maciço em profundidade. O grau de fracturação varia entre F5 e F4. Observam-se vários filonetes de quartzo e fortes indícios de oxidação nas superfícies das descontinuidades.
- PS004A-23:
 - Este perfil sísmico (Estudo Prévio, 2023) foi executado ao PK ≈22+115, com disposição aproximadamente transversal ao traçado, revelando que o maciço rochoso deverá ocorrer de modo aflorante a subaflorante, a profundidades estimadas inferiores a 3 m, tornando-se mais compacto em profundidade. O perfil sísmico sugere que o maciço rochoso torna-se aflorante de W para E.

≈ 22+475 – 23+000 (SL2): Nesta escavação consideram-se os dados obtidos nas sondagens S304 e S305 (mais representativas da transição aterro/escavação do que da escavação em análise) e do perfil sísmico PS005B-23.

- Resultados da sondagem S304:
 - Unidade de Arada: intersetada na forma de maciço rochoso muito alterado a decomposto (W4-5), com algumas passagens menos alteradas (W4-3). Quando exhibe aspeto rochoso, esta unidade materializa-se na forma de xisto com passagens argilosas e frequentes filonetes de quartzo. Foram realizados ensaios SPT em toda a profundidade desta sondagem, tendo-se obtido “negas” em todos os ensaios;
- Resultados da sondagem S305:
 - Unidade de Arada: intersetada, também, na forma de um maciço muito alterado a decomposto, em tudo idêntico ao descrito na sondagem S304.
- Resultados da sondagem PS005B-23:
 - Este perfil sísmico (Estudo Prévio, 2023) foi executado ao PK ≈22+715, com disposição aproximadamente transversal ao traçado, revelando que o maciço rochoso deverá ocorrer de modo subaflorante, a profundidades estimadas entre os 3 e os 4 m, tornando-se mais compacto em profundidade (atingindo-se VP > 3000 m/s a partir dos 8-9 m de profundidade).

Tratam-se de três trechos em escavação consecutivos que irão interseccionar a Unidade de Arada e onde é expectável obter um volume significativo de geomateriais. Importa referir que estas escavações estão referenciadas, apenas, ao eixo principal da LAV, importando mencionar que paralelamente desenvolvem-se as escavações correspondentes às vias ascendente e descendente da Ligação de Canelas, o que se traduz em escavações bastante largas.

Os materiais a obter da Unidade de Arada, quando espalhados e compactados, corresponderão a materiais de matriz fina, que, potencialmente, poderão ser utilizados no corpo do aterro sem limitações. No entanto, a sua matriz fina deverá torna-los inviáveis de serem tratados com cimento.

A eventual aplicação de enrocamentos na fundação dos aterros estará dependente da sua obtenção em empréstimo já que, mesmo que possam ser obtidos materiais rochosos na base das escavações, estes não têm características para serem aplicados com esta finalidade (materiais excessivamente friáveis e alteráveis).

4.2.2 Solução de reforço proposta

Como possíveis soluções para este aterro, no seu trecho crítico, preconizam-se (preliminarmente) as seguintes:

- Fundação do aterro:
 - Saneamento numa espessura mínima de 1,5 m e substituição por enrocamento envolto em geotêxtil (camada drenante), ao longo de toda a linha de água e mancha aluvionar;
 - Escavação de endentamentos no terreno natural, devido à sua elevada pendente;
- Parte inferior do aterro:
 - Aplicação de materiais insensíveis à água (enrocamento) - A aplicação de enrocamento deverá ser considerada até 0,5 m acima do nível máximo de cheia, o qual deverá ser determinado pela especialidade de hidrologia.
- Corpo do aterro:
 - Execução do aterro com materiais de características equiparáveis à classe QS2 ou QS1 (IRS70719), desde que o material seja caracterizado com valores de CBR > 10%, aplicados em camadas com espessura máxima de 30 cm e compactados a 95 % da baridade seca máxima (a aferir com o ensaio Proctor modificado). No caso de se aplicarem materiais xistentos, de características evolutivas, deverá assegurar-se que a compactação é realizada com cilindros pé-de-carneiro.
- Espaldar do aterro:
 - Aplicação de materiais com características idênticas ao corpo do aterro, mas tratados com cimento (teor estimado de 3 a 4 %, a validar com estudo de formulação específico). O tratamento com cimento deverá ser executado com uma largura de 7 a 10 m (pano superior e pano inferior do aterro, respetivamente). Estes espaldares podem também ser executados com materiais granulares britados do tipo ABGE, devendo ser assegurada a drenagem para o exterior do aterro.
- Parte superior do aterro / coroamento
 - Atendendo aos exigentes critérios de deformabilidade a que os Projetos têm de atender, considera-se que também o coroamento e a parte superior do aterro devem ser alvo de tratamento com cimento, nos mesmos termos que o indicado para os espaldares do aterro. Nesta fase preconiza-se uma espessura de 3 m para o coroamento / PSA tratado com cimento. Tal como referido para os espaldares do aterro, também neste caso admite-se a possibilidade de se considerar uma solução equivalente com aplicação de ABGE.

Apesar de se tratar de um assunto do domínio hidrológico, alerta-se para a presença de outras linhas de água ao nível da área de ocupação do aterro, as quais deverão, eventualmente, ser devidamente encaminhadas e canalizadas.

As soluções propostas foram definidas em função da altura do aterro, estando a sua distribuição ao longo do traçado sintetizada na tabela seguinte.

Quadro 4 - Solução de reforço detalhada entre os PK 19+944 a 20+002

Km inicial	Km final	Extensão Total (m)	H _{máx} (eixo) (m)	Km inicial	Km final	Extensão(m)	H(eixo) (m)	Tipo do Solução
19+611	20+179	567,4	20,0	19+944	19+992	48	Heixo > 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 7m pano superior: e = 10 m Coroamento: e = 3m
				19+992	20+002	10	15 < Heixo < 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 5m pano superior: e = 8 m Coroamento: e = 3m

4.2.3 Faseamento construtivo

No que se refere ao processo construtivo, a execução dos aterros propostos, deve obedecer ao estipulado no Caderno de Encargos da Obra. Não obstante, importa referir que:

- Deverá promover-se a utilização de materiais com a mesma origem, e bem assim com comportamento uniforme, ao longo da mesma camada, em particular nos espaldares, não sendo permitida a alternância entre materiais xistosos e graníticos. Também em altura, a alternância destes materiais só é permitida no mínimo a cada 5 camadas (2m);
- Os materiais devem ser dispostos em “cordão”, a cerca de 5 metros da frente da camada, sendo depois espalhados pelo “Buldozer”, com a sua lâmina progressivamente mais baixa, por forma a permitir a boa envolvimento dos materiais mais grossos com os mais finos, que se reveste de fundamental importância, em particular, nos materiais xistosos dada a sua forte anisotropia e heterogeneidade conferida pela xistosidade. Com este procedimento consegue-se ainda uma fragmentação secundária, provocada pela passagem das lagartas do “Buldozer”, bastante benéfica, atendendo ao carácter evolutivo dos xistos; e,
- As camadas não deverão ter espessura superior a 0,40 m e deverão ser sujeitas a uma compactação intensa.

A execução de solo-cimento in situ pressupõe que as camadas dos espaldares sejam feitas em simultâneo com o restante aterro, não havendo diferenciação dessa parte do aterro relativamente ao restante até ao início do processo de enriquecimento do solo com cimento, que ocorre após a compactação da camada (que deverá estar minimamente desempenada).

O cimento deve ser adicionado na proporção ponderal de 3 a 4% (esta percentagem de cimento, por ser relativamente diminuta, mas claramente suficiente, não deverá conduzir a fenómenos de fissuração das camadas tratadas).

As camadas devem ser tratadas em toda a sua espessura (0,40 m), nas larguras apresentadas anteriormente, o que implica, a sua execução por faixas adjacentes de largura limitada à do tambor misturador da recicladora (usualmente com 2,5 m).

A execução de solo-cimento in situ pressupõe a realização sequencial das seguintes etapas construtivas, após a compactação inicial da cada camada:

- Espalhamento do cimento pelo camião-silo;
- Execução da mistura com adição de água, pela recicladora acoplada à cisterna. Quando decorra mais de 4 horas entre a realização de camadas consecutivas de solo-cimento, a recicladora deverá proceder à escarificação da camada abaixo da que se pretende tratar, em 1-2 cm, para que, desta forma, se promova a adequada ligação entre camadas;
- Compactação final com cilindro; e,
- Espalhamento, até um máximo de 4 horas após a compactação final, de uma nova camada, para execução imediata de solo-cimento ou apenas para cobertura, o que permitirá reduzir a exposição da camada tratada e funcionar como cura (substituindo a rega betuminosa que se utiliza usualmente para esse fim).

A construção dos aterros deve ser antecedida da realização de um trecho experimental de aterro corrente e de outro em solo-cimento, que permitirão confirmar os pressupostos de projeto, aferir a gama de valores de teor em água dos materiais mais adequada à construção dos aterros, e no que se refere ao trecho em solo-cimento, avaliar as resistências obtidas para a percentagem de cimento adicionada e a sua evolução temporal, em particular nos primeiros tempos.

4.2.4 Plano de Instrumentação e Observação

O plano de Instrumentação e Observação permitirá avaliar o desempenho das estruturas durante as fases construtiva e de exploração, mediante o reconhecimento de critérios de alerta, traduzindo diferentes níveis de gravidade, suscitados por medições anómalas das grandezas monitorizadas, os quais poderão indiciar a necessidade de intervenções com vista a garantir a segurança e economia das Obras em causa.

Este Plano foi concebido com base nos condicionamentos próprios da Obra, atendendo aos riscos a eles associados.

Por forma a caracterizar o comportamento das estruturas, no que se refere às suas deformações internas e superficiais, o Plano de Instrumentação e Observação contempla a instalação de dispositivos de observação e de instrumentação, a saber:

- Marcas topográficas, para medição das grandezas deslocamento horizontal e deslocamento vertical, na superfície dos aterros;
- Extensómetros, para medição da grandeza deslocamento vertical, no interior dos aterros; e,
- Inclínómetros, para medição da grandeza deslocamento horizontal, no interior dos aterros.

Os dispositivos de observação previstos serão instalados nos coroamentos, nas banquetas e nas saias dos aterros, de acordo com o descritivo seguinte e representado nas peças desenhadas do projeto.

- Coroamento: Marcas topográficas, inclinómetros e extensómetros;
- Banquetas: Marcas topográficas e inclinómetros;
- Pé do aterro: Marcas topográficas;

4.3 Solução de reforço A29_1 (PK 29+032 a PK29+597)

4.3.1 Descrição do trecho em análise

4.3.1.1 Descrição Geral

Nas figuras Figura 11, Figura 12 e Figura 13 apresentam-se excertos do aterro entre o PK 28+238 e 29+721, com particular para ênfase para a extensão crítica do aterro (onde $h_{\text{eixo}} > 15$ m), em planta sobre ortofotomapa, em planta sobre a cartografia geológica à escala 1:1.000 e em perfil longitudinal.

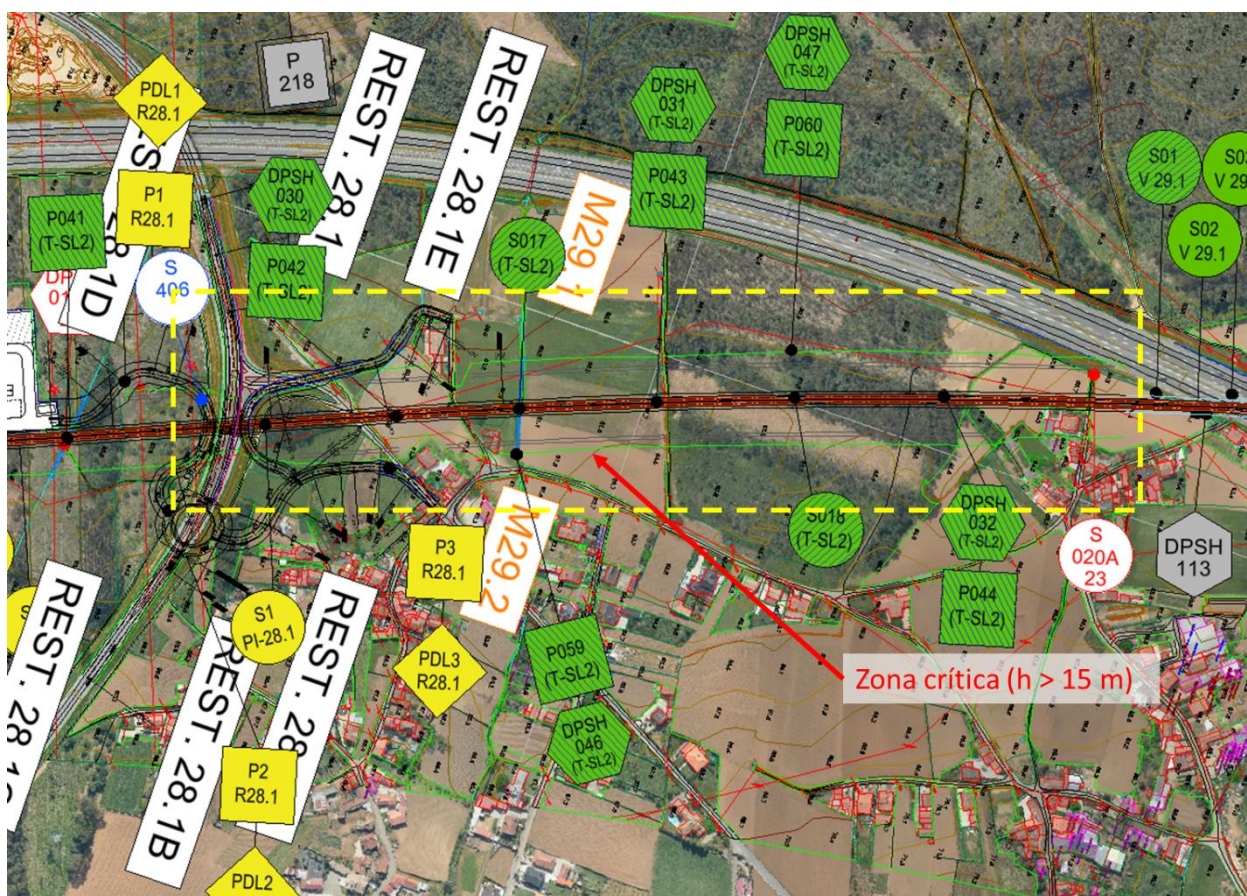


Figura 11 - Representação do aterro entre os PK 28+238 e 29+721 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)

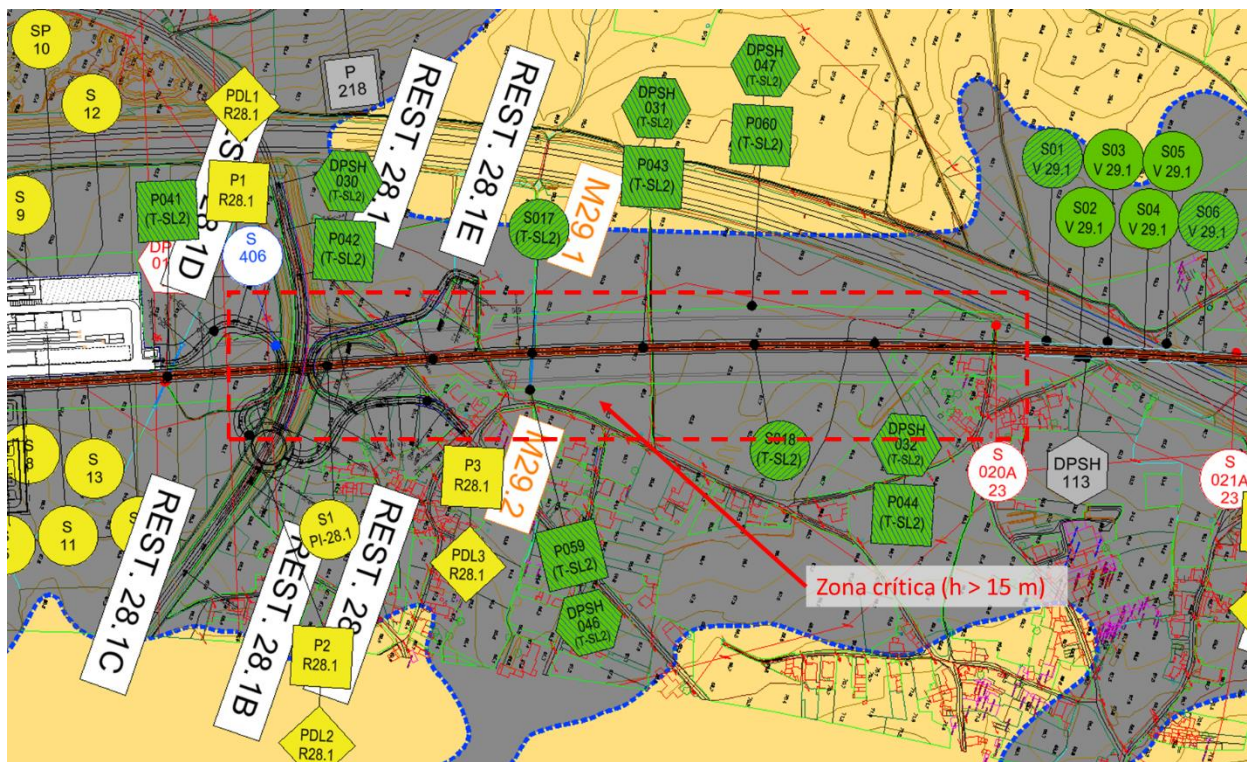


Figura 12 - Representação do aterro entre os PK 28+238 e 29+721 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)

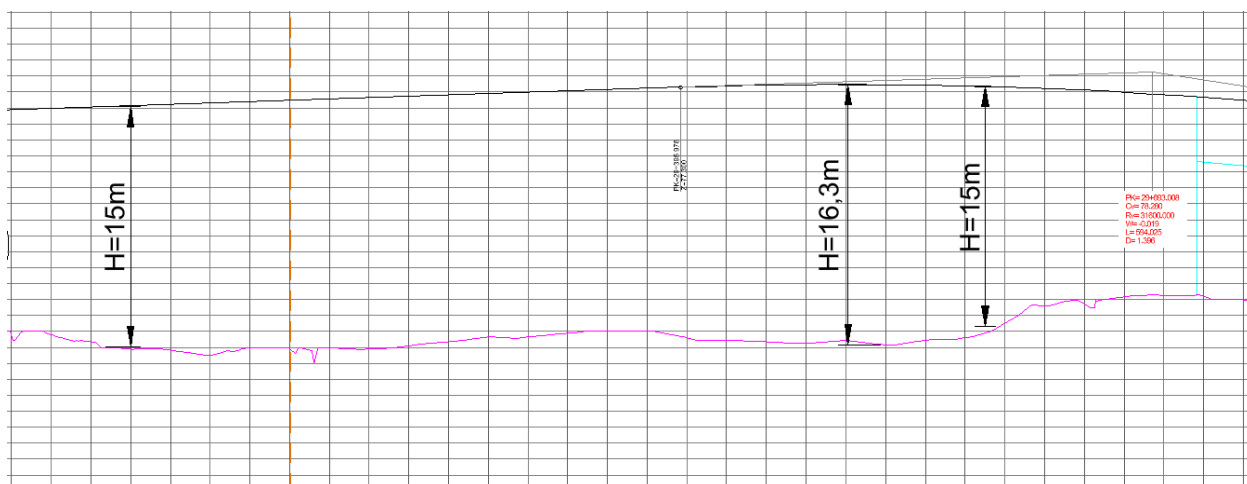


Figura 13 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).

A zona mais crítica do aterro localiza-se entre os PK 29+032 e 29+597 (565 m), identificada como A29_1, onde a altura ao eixo varia entre 15,0 m e 16,3 m, atingindo o valor máximo ao PK 29+525.

Este troço ocorre no atravessamento de uma extensa zona aplanada, cuja ocupação superficial do terreno inclui áreas de cultivo e áreas florestais. Ao PK 29+165 ocorre o atravessamento de uma linha de água de muito reduzido encaixe, com escoamento de E para W (sendo captada por uma PH associada a um aterro da A1/IP1. Atendendo ao relevo do terreno e à posição da rasante, resulta, no presente caso, que este aterro possui uma extensão crítica muito significativa (> 500 m).

4.3.1.2 Considerações Geológicas e geotécnicas

O aterro em análise desenvolve-se sobre uma extensa mancha de depósitos de terraço (Q), a qual encontra-se sobreposta à Unidade de Arada, que corresponde a uma formação de cariz metamórfico, representada, essencialmente, por filitos negros e esverdeados constituídos por xistos argilo-quartzo-sericíticos, quartzo-sericito-cloríticos, clorito-sericito-moscovíticos, geralmente físeis, que se apresentam mais ou menos ondulados e contêm intercalações quartzosas lenticulares

Entre os elementos de prospeção geotécnica existente referem-se os seguintes:

- S406 (Fase de concurso): Esta sondagem situa-se ao PK 28+900, estando situada a curta distância do eixo de traçado. No entanto, situa-se a cerca de 130 m para sul da zona que interessa caracterizar. Não obstante, a informação contida nesta sondagem é útil para caracterizar, de um modo geral, os materiais expetáveis de intersetar na fundação do aterro.
- S020A-23 (Estudo Prévio, IP - 2023): Esta sondagem foi executada, sensivelmente ao PK 29+650, estando situada imediatamente a N do fim da zona mais crítica do aterro, sendo representativa das suas condições de fundação

Síntese dos resultados da S406: A sondagem S406 intersetou, superficialmente, 1,5 m de aterros. Subjacentemente, ocorreu passagem à Unidade de Arada, a qual manifestou-se na forma de xistos decompostos até aos 4,5 m de profundidade. Abaixo deste horizonte, transita-se para xistos muito alterados (W4) e muito fraturados (F4-5). Estes materiais foram caracterizados com “negas” em ensaios SPT em todo o comprimento da sondagem.

Síntese dos resultados da sondagem S020A-23: A sondagem S020 detetou, até à profundidade de 1 m, depósitos de aterro heterogéneos. Abaixo da referida profundidade, dá-se a passagem para a Unidade de Arada, que toma a forma de solos residuais argilo-siltosos até aos 9 m de profundidade. Estes solos residuais apresentam NSPT compreendido entre 28 e 60 maciço, sendo o menor valor atingindo a 1,5 m de profundidade. O maciço rochoso intersetado a partir dos 9 m toma a forma de grauvaque xistento, rico em filonetes quartzíticos, com grau de alteração W4-3 a W3-2 e grau de fracturação F4.

Em suma, embora a prospeção existente permita uma avaliação preliminar das condições de fundação do aterro nos limites da sua extensão mais crítica, esta é manifestamente insuficiente para assegurar uma correta caracterização das condições de fundação na referida extensão.

4.3.1.3 Caracterização da fundação do aterro

Com base nas sondagens disponíveis, refere-se o seguinte:

- Não foi detetada a presença de depósitos de terraço quaternários, verificando-se, em ambas as sondagens, a presença de uma camada de aterro, a qual deverá ser saneada. Tal não deve ser interpretado como evidência de que a mancha quaternária cartografada não existe, mas sim que os limites desta deverão ser verificados em função dos dados de prospeção geotécnica a obter e de novos reconhecimentos de superfície;

- Caso os novos dados de prospeção venham a confirmar os cenários geotécnicos observados nas sondagens S406 e S020A-23, então é exetável que o aterro assente sobre solos residuais argilo-siltosos, pedregosos, de elevada consistência;

4.3.1.4 Caracterização de empréstimos

Não existem escavações de dimensão significativa muito próximas do aterro interessado. Com efeito, as escavações com maiores dimensões mais próximas deste aterro são as seguintes:

PK 27+102 – 27+609: Sem dados de prospeção geotécnica de fases anteriores. Escavação com altura máxima da ordem dos 6,8 m que interseta a Unidade de Arada e, pontualmente, depósitos de terraço (de acordo com a cartografia geológica disponível);

PK 27+870 – 28+238: Refere-se apenas o poço P115, cuja amostra que foi alvo de ensaios laboratoriais é representativa dos depósitos de terraço. Os ensaios conduzidos nesta amostra indicam a presença de solos A-2-7 (1) / SC / B2, com 24 % de finos, LL = 42 % e IP = 18 % (o que deverá corresponder a um solo QS1 – IRS70719). Escavação com altura máxima da ordem dos 4,5 m que.

PK ≈ 33+550 – 34+400: Sem dados de prospeção geotécnica de fases anteriores. Escavação com altura máxima da ordem dos 7,5 m que interseta a Unidade de Arada e, pontualmente, depósitos de terraço (de acordo com a cartografia geológica disponível).

PK ≈ 34+575 – 35+400: Nesta escavação refere-se, a sondagem S407 e o poço P119.

- Na sondagem referida intersetaram-se:
 - Depósitos de terraço até aos 4 m de profundidade, correspondendo estes a solos silto-argilosos com pequenos seixos rolados, níveis arenosos e fragmentos de xisto, sendo caracterizados por N_{SPT} de 37 a 49 pancadas.
 - Unidade de Arada, descrita como migmatitos muito alterados a decompostos até aos 8,5 m de profundidade, passando-se a migmatitos medianamente alterados e muito fraturados até ao fim da sondagem (15 m).
- No poço P119, ensaiou-se uma amostra representativa dos depósitos de terraço, no qual foi obtida uma classificação de A-2-6 (0) / SC / C1-B2. Outros parâmetros ensaiados indicam % de finos de 22 %, LL = 38 %, IP = 19 %, teor em água de 8 %, equivalente de areia de 19 %, Azul de Metileno de 1,3 g/100g e CBR de 23 %

Os trechos de escavação referidos deverão intersetar, nalguns casos e de modo superficial, os depósitos de terraços fluviais e os xistos da Unidade de Arada. Não obstante a informação geotécnica disponível ser muito escassa, é exetável que nestes empréstimos não se obtenham materiais com classificação superior a QS1 (sejam solos, ou rochas). O poço P115 revela que os terraços, apesar de serem solos predominantemente arenosos, possuem fração fina de comportamento plástico, enquanto, no caso da sondagem S407, é aparente que os mesmos depósitos são, predominantemente, de grão fino. Já a rocha, quando intersetada, deverá ocorrer, maioritariamente, na forma de maciço decomposto a muito alterado, apresentando um aspeto notoriamente evolutivo. Não obstante, o poço P119, situado a curta distância da sondagem S407, revela um cenário bastante mais favorável à caracterização dos depósitos de terraço, tendo-se ensaiado solos areno-

cascalheiros com CBR de 23 %. Sobre este último poço, importa referir que, embora o CBR obtido seja típico de solos QS3, o teor em finos e a sua plasticidade relegam-nos para a classe QS1.

A eventual aplicação de enrocamentos na fundação dos aterros estará dependente da sua obtenção em empréstimo já que, mesmo que possam ser obtidos materiais rochosos na base das escavações, estes não têm características para serem aplicados com esta finalidade (materiais excessivamente friáveis e alteráveis).

Prevê-se que este trecho da LAV venha a requerer maior volume de terras, sendo provável a necessidade de recorrer a empréstimos afastados deste trecho (podendo, inclusivamente, não vir a ser obtidos das escavações na linha).

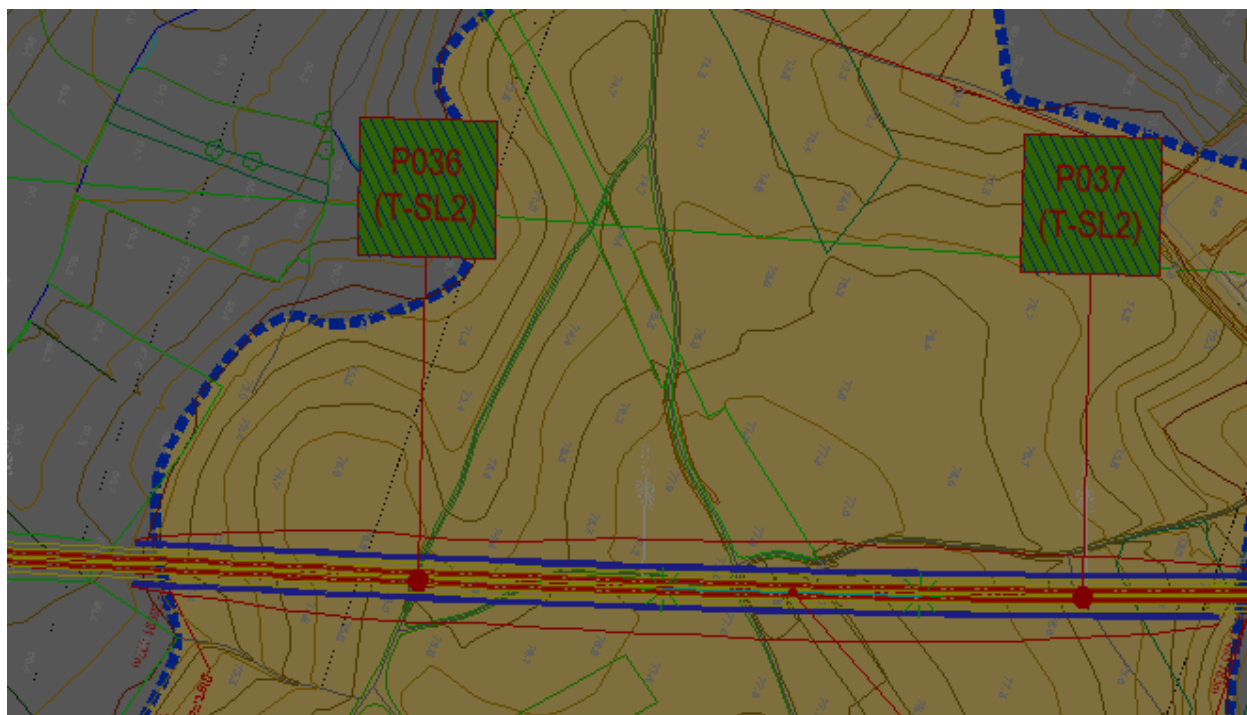


Figura 14 - Localização esquemática do empréstimo situado ≈ entre os PK 27+102 – 27+609



Figura 15 - Localização esquemática do empréstimo situado ≈ entre os PK 27+870 – 28+238



Figura 16 - Localização esquemática do empréstimo situado ≈ entre os PK 33+550 – 34+400

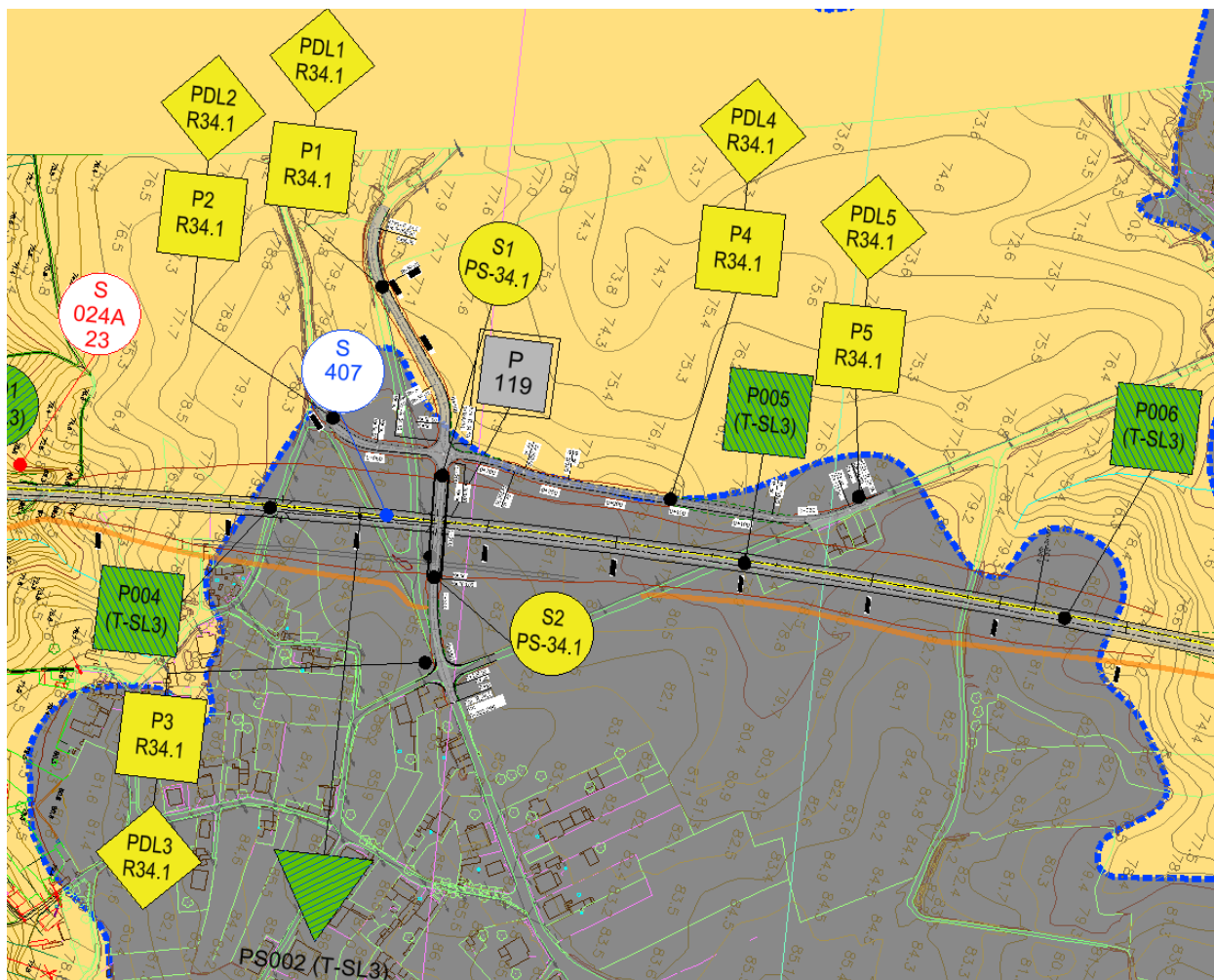


Figura 17 - Localização esquemática do empréstimo situado ≈ entre os PK 34+575 – 35+400

4.3.2 Solução de reforço proposta

Como possíveis soluções para este aterro, no seu trecho crítico, preconizam-se (preliminarmente) as seguintes:

- Fundação do aterro:
 - Saneamento numa espessura mínima de 1,0 a 1,5 m e substituição por enrocamento envolto em geotêxtil (camada drenante), ao longo da extensão do aterro, em particular onde se detetarem depósitos de aterro, solos orgânicos ou outros materiais impróprios ao nível da fundação;
 - No caso particular da envoltória da linha de água ocorrente ao PK 29+165, deverá considerar-se um saneamento da ordem dos 2,0 m e substituição por enrocamento envolto em geotêxtil (camada drenante);
 - Observa-se ainda que os terrenos a interseção são utilizados, em parte, para fins agrícolas, pelo que é exetável que a espessura de decapagem na fundação deste aterro seja, em alguns locais, significativa.
- Parte inferior do aterro:

- Aplicação de materiais insensíveis à água (enrocamento) - A aplicação de enrocamento deverá ser considerada até 0,5 m acima do nível máximo de cheia, o qual deverá ser determinado pela especialidade de hidrologia.
- Corpo do aterro:
 - Execução do aterro com materiais de características equiparáveis à classe QS2 ou QS1 (IRS70719), desde que o material seja caracterizado com valores de CBR > 10%, aplicados em camadas com espessura máxima de 30 cm e compactados a 95 % da baridade seca máxima (a aferir com o ensaio Proctor modificado). No caso de se aplicarem materiais xistentos, de características evolutivas, deverá assegurar-se que a compactação é realizada com cilindros pé-de-carneiro.
- Espaldar do aterro:
 - Aplicação de materiais com características idênticas ao corpo do aterro, mas tratados com cimento (teor estimado de 3 a 4 %, a validar com estudo de formulação específico). O tratamento com cimento deverá ser executado com uma largura de 7 a 10 m (pano superior e pano inferior do aterro, respetivamente). Estes espaldares podem também ser executados com materiais granulares britados do tipo ABGE, devendo ser assegurada a drenagem para o exterior do aterro.
- Parte superior do aterro / coroamento
 - Atendendo aos exigentes critérios de deformabilidade a que os Projetos têm de atender, considera-se que também o coroamento e a parte superior do aterro devem ser alvo de tratamento com cimento, nos mesmos termos que o indicado para os espaldares do aterro. Nesta fase preconiza-se uma espessura de 3 m para o coroamento / PSA tratado com cimento. Tal como referido para os espaldares do aterro, também neste caso admite-se a possibilidade de se considerar uma solução equivalente com aplicação de ABGE.

As soluções propostas foram definidas com base na altura do aterro e nas condições observadas ao longo do traçado, conforme sintetizado na tabela seguinte.

Quadro 5 - Solução de reforço detalhada entre os PK 29+032 a 29+597

Aterro Geral				Zona de tratamento				
Km inicial	Km final	Extensão Total (m)	H _{máx} (eixo) (m)	Km inicial	Km final	Extensão(m)	H(eixo) (m)	Tipo do Solução
28+238	29+721	1482,9	16,5	29+032	29+597	565	15 < Heixo < 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 5m pano superior: e = 8 m Coroamento: e = 3m

4.3.3 Faseamento construtivo

No que se refere ao processo construtivo, a execução dos aterros propostos, deve obedecer ao estipulado no Caderno de Encargos da Obra. Não obstante, importa referir que:

- Deverá promover-se a utilização de materiais com a mesma origem, e bem assim com comportamento uniforme, ao longo da mesma camada, em particular nos espaldares, não sendo permitida a alternância entre materiais xistosos e graníticos. Também em altura, a alternância destes materiais só é permitida no mínimo a cada 5 camadas (2m);
- Os materiais devem ser dispostos em “cordão”, a cerca de 5 metros da frente da camada, sendo depois espalhados pelo “Buldozer”, com a sua lâmina progressivamente mais baixa, por forma a permitir a boa envolvimento dos materiais mais grossos com os mais finos, que se reveste de fundamental importância, em particular, nos materiais xistosos dada a sua forte anisotropia e heterogeneidade conferida pela xistosidade. Com este procedimento consegue-se ainda uma fragmentação secundária, provocada pela passagem das lagartas do “Buldozer”, bastante benéfica, atendendo ao carácter evolutivo dos xistos; e,
- As camadas não deverão ter espessura superior a 0,40 m e deverão ser sujeitas a uma compactação intensa.

A execução de solo-cimento in situ pressupõe que as camadas dos espaldares sejam feitas em simultâneo com o restante aterro, não havendo diferenciação dessa parte do aterro relativamente ao restante até ao início do processo de enriquecimento do solo com cimento, que ocorre após a compactação da camada (que deverá estar minimamente desempenada).

O cimento deve ser adicionado na proporção ponderal de 3 a 4% (esta percentagem de cimento, por ser relativamente diminuta, mas claramente suficiente, não deverá conduzir a fenómenos de fissuração das camadas tratadas).

As camadas devem ser tratadas em toda a sua espessura (0,40 m), nas larguras apresentadas anteriormente, o que implica, a sua execução por faixas adjacentes de largura limitada à do tambor misturador da recicladora (usualmente com 2,5 m).

A execução de solo-cimento in situ pressupõe a realização sequencial das seguintes etapas construtivas, após a compactação inicial da cada camada:

- Espalhamento do cimento pelo camião-silo;
- Execução da mistura com adição de água, pela recicladora acoplada à cisterna. Quando decorra mais de 4 horas entre a realização de camadas consecutivas de solo-cimento, a recicladora deverá proceder à escarificação da camada abaixo da que se pretende tratar, em 1-2 cm, para que, desta forma, se promova a adequada ligação entre camadas;
- Compactação final com cilindro; e,
- Espalhamento, até um máximo de 4 horas após a compactação final, de uma nova camada, para execução imediata de solo-cimento ou apenas para cobertura, o que permitirá reduzir a exposição da camada tratada e funcionar como cura (substituindo a rega betuminosa que se utiliza usualmente para esse fim).

A construção dos aterros deve ser antecedida da realização de um trecho experimental de aterro corrente e de outro em solo-cimento, que permitirão confirmar os pressupostos de projeto, aferir a gama de valores de teor em água dos materiais mais adequada à construção dos aterros, e no que se refere ao trecho em solo-cimento, avaliar as resistências obtidas para a percentagem de cimento adicionada e a sua evolução temporal, em particular nos primeiros tempos.

4.3.4 Plano de Instrumentação e Observação

O plano de Instrumentação e Observação permitirá avaliar o desempenho das estruturas durante as fases construtiva e de exploração, mediante o reconhecimento de critérios de alerta, traduzindo diferentes níveis de gravidade, suscitados por medições anómalas das grandezas monitorizadas, os quais poderão indiciar a necessidade de intervenções com vista a garantir a segurança e economia das Obras em causa.

Este Plano foi concebido com base nos condicionamentos próprios da Obra, atendendo aos riscos a eles associados.

Por forma a caracterizar o comportamento das estruturas, no que se refere às suas deformações internas e superficiais, o Plano de Instrumentação e Observação contempla a instalação de dispositivos de observação e de instrumentação, a saber:

- Marcas topográficas, para medição das grandezas deslocamento horizontal e deslocamento vertical, na superfície dos aterros;
- Extensómetros, para medição da grandeza deslocamento vertical, no interior dos aterros; e,
- Inclínómetros, para medição da grandeza deslocamento horizontal, no interior dos aterros.

Os dispositivos de observação previstos serão instalados nos coroamentos, nas banquetas e nas saias dos aterros, de acordo com o descritivo seguinte e representado nas peças desenhadas do projeto.

- Coroamento: Marcas topográficas, inclínómetros e extensómetros;
- Banquetas: Marcas topográficas e inclínómetros;
- Pé do aterro: Marcas topográficas;

4.4 Solução de reforço A30_1 (PK 30+420 a PK30+511)

4.4.1 Descrição do trecho em análise

4.4.1.1 Descrição Geral

Nas figuras Figura 18, Figura 19 e Figura 20 apresentam-se excertos do aterro entre o PK 29+856 e 32+197, com particular para ênfase para a extensão crítica do aterro (onde $h_{\text{eixo}} > 15$ m), em planta sobre ortofotomapa, em planta sobre a cartografia geológica à escala 1:1.000 e em perfil longitudinal.

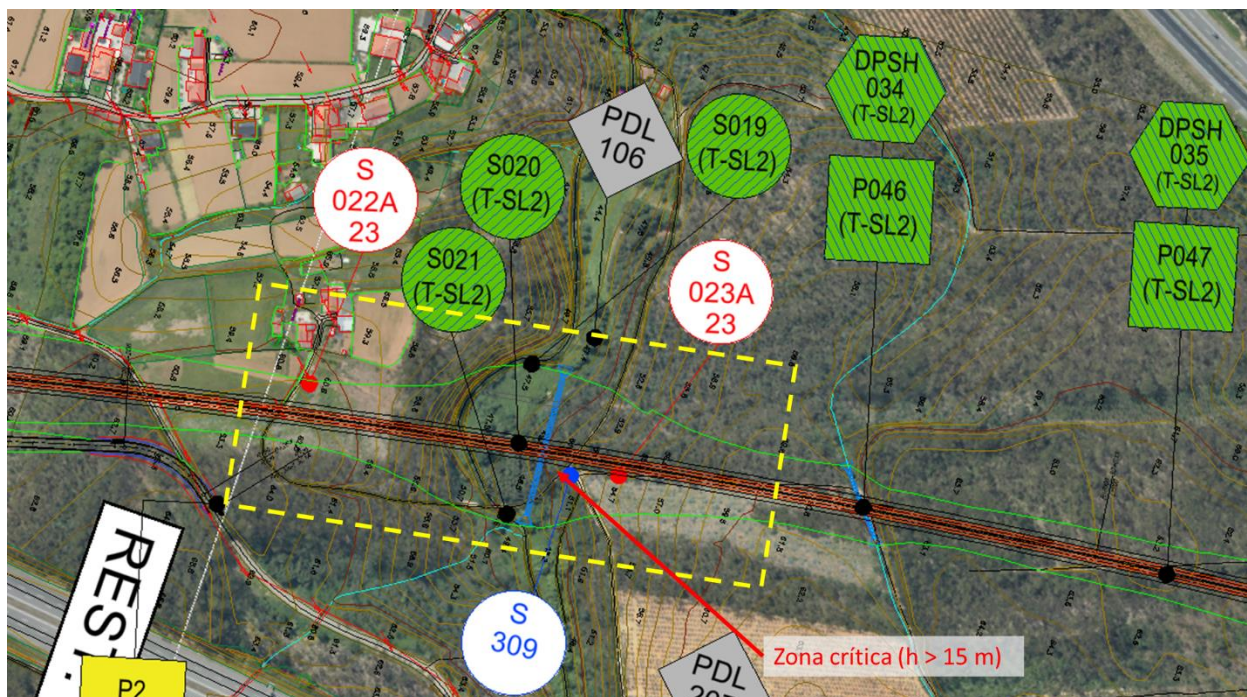


Figura 18 - Representação do aterro entre os PK 29+856 e 32+197 sobre ortofotomapa. Enfâse para a zona crítica ($h > 15$ m)

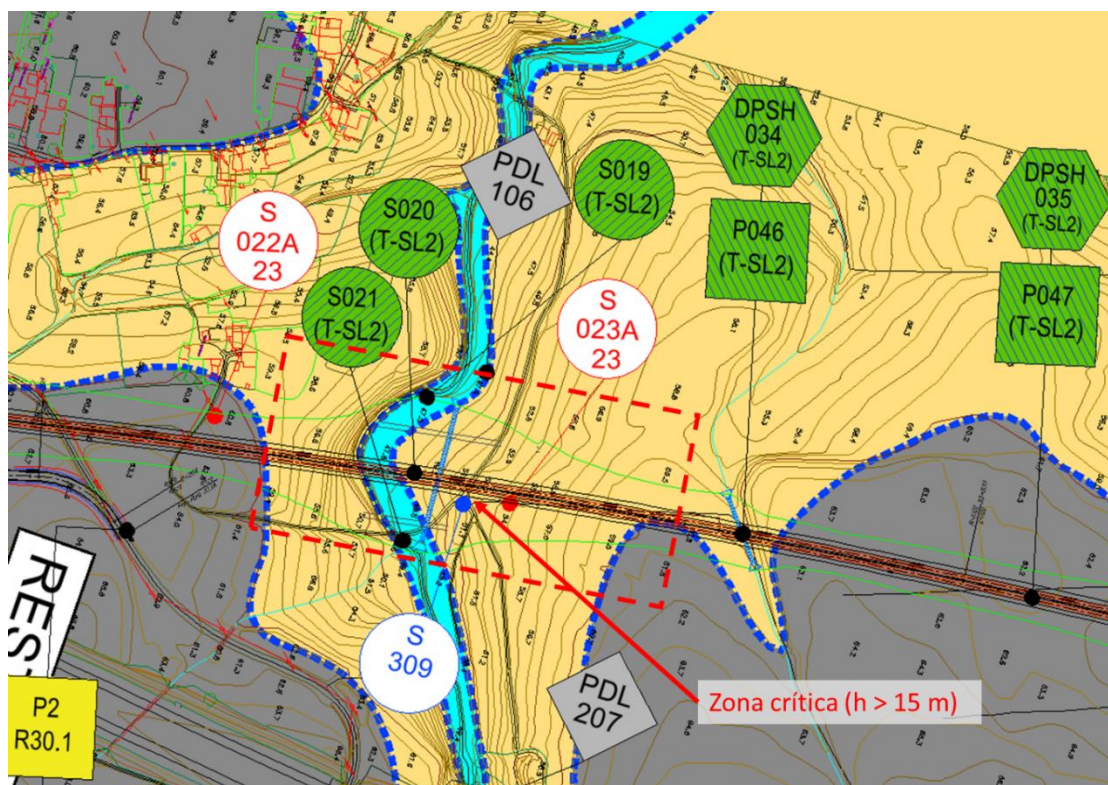


Figura 19 - Representação do aterro entre os PK 29+856 e 32+197 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Enfâse para a zona crítica ($h > 15$ m)

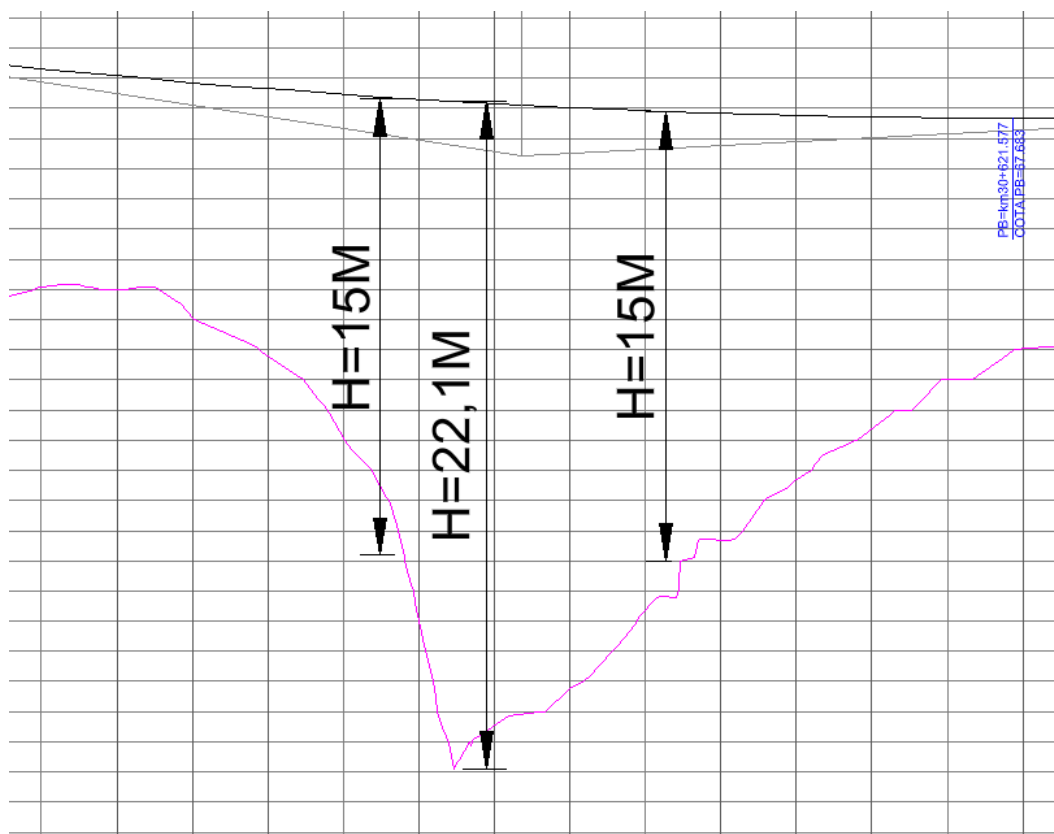


Figura 20 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).

A zona mais crítica do aterro encontra-se situada entre os PK 30+420 e 30+511 (91 m), sendo esta designado por A30_1 onde a altura ao eixo varia entre 15,0 e 22,1 m, sendo este valor máximo atingido ao PK 30+437.

A zona mais crítica do aterro interessado ocorre no atravessamento de um vale francamente assimétrico, em que o flanco sul configura um desnível brusco, por oposição com o flanco norte, que apresenta pendor mais suave (Figura 20).

No fundo do vale dá-se o atravessamento do Rio Gonde, que flui de leste para oeste e que é interetado de viés pelo traçado da LAV. Este curso de água será canalizado por uma passagem hidráulica (PH 30.2 – 2,5 x 2,5 m).

4.4.1.2 Considerações Geológicas e geotécnicas

A formação geológica sobre a qual se desenvolve este aterro corresponde à Unidade de Arada, sendo esta uma formação de cariz metamórfico, representada, essencialmente, por filitos negros e esverdeados constituídos por xistos argilo-quartzo-sericíticos, quartzo-sericito-cloríticos, clorito-sericito-moscovíticos, geralmente físseis, que se apresentam mais ou menos ondulados e contêm intercalações quartzosas lenticulares.

No fundo do vale encontram-se cartografas aluviões, desconhecendo-se a sua natureza. Atendendo ao encaixe do Rio Gonde, e também à morfologia do vale que o ladeia, não é exetável que estas aluviões possuam possança significativa.

Relativamente à prospeção geotécnica existente, destacam-se os seguintes elementos:

- S022A-23 (Estudo Prévio, IP): Esta sondagem situa-se ao PK 30+345, estando situada a curta distância do eixo de traçado, a 100 m para S da zona que interessa caracterizar. Não obstante, a informação contida nesta sondagem é útil para caracterizar, de um modo geral, os materiais expetáveis de interetar na fundação do aterro.
- PDL106 (Ex-RAVE): Situado, sensivelmente, ao km 30+500, este PDL aparenta ter interetado depósitos aluviões (AI). No entanto, a sua execução deu-se a cerca de 75 m do eixo de traçado.
- S309 (Fase de concurso, 2024): Sondagem situada ao km 30+510, junto ao eixo do traçado. É representativa do limite N da zona mais crítica do aterro.
- S023A-23 (Estudo Prévio, IP): A sondagem S023A-23 foi executada, sensivelmente ao PK 30+535, sendo esta sondagem representativa das condições de fundação do aterro imediatamente a N do trecho mais crítico.

Síntese dos resultados da S022A-23: A sondagem S022A-23 interetou a Unidade de Arada em todo o seu comprimento, a qual manifestou-se na forma de grauvaques decompostos (solo residual silto-argiloso com N_{SPT} de 47 a 60) até aos 3,3 m de profundidade. Abaixo deste horizonte, transita-se para grauvaques W4/3 e F4/3 até aos 5,6 m de profundidade, a partir de onde dá-se a passagem para xistos luzentes W3 a W3/2 e F4/3 a F3.

Síntese dos resultados do PDL106: O PDL106 revela que os primeiros 2 m do terreno são constituídos por terrenos muito moles/soltos, com N_{10} inferior a 5 pancadas. Este resultado sugere aluviões com ≈ 2 m de espessura. A “nega” foi atingida imediatamente abaixo das aluviões.

Síntese dos resultados da sondagem S309: A sondagem S309 detetou, até à profundidade de 2,25 m, solo residual argiloso de origem xistenta. Abaixo da referida profundidade, dá-se a passagem a maciço rochoso (xisto clorítico argiloso) com grau de alteração W3 a W4 e grau de fracturação F5 a F3/4. O maciço apresenta fracturação subvertical (direção da xistosidade) a subhorizontal. Os planos de descontinuidade apresentam-se decompostos a muito alterados, por vezes medianamente alterados, contendo preenchimento argiloso e indícios de oxidação. Presença de filonetes quartzíticos.

Síntese dos resultados da sondagem S023A-23: Na sondagem S023A-23 obtiveram-se, até à profundidade de 1,7 m, maciço grauvacóide decomposto (W5). Abaixo da referida profundidade, dá-se a passagem a maciço rochoso (Grauvaque xistento a xisto grauvacóide) com grau de alteração W4/3 a W3 e grau de fracturação F5 a F4/3. Atendendo ao facto de não se dispor do *log* desta sondagem, não é possível aferir as características geotécnicas do solo, reconhecendo-se, apenas, que se obteve uma “nega” em ensaio SPT.

Os elementos de prospeção existente permitem uma avaliação preliminar das condições de fundação do aterro, embora permitam caracterizar, especificamente, as condições de fundação no seu ponto mais baixo.

4.4.1.3 Caracterização da fundação do aterro

Ao nível da fundação do aterro é possível referir o seguinte:

- É expetável a presença de aluviões com possança da ordem dos 2 m de espessura na envolvência da linha de água. A prospeção proposta permitirá confirmar a espessura aluvionar ao longo do alinhamento transversal do aterro.
- Fora da envolvência da linha de água, junto aos limites da zona crítica, observa-se que a Unidade de Arada é composta por um horizonte superficial de solos residuais silto-argilosos pedregosos, com NSPT mínimo de 44, o qual não deverá exceder os $\approx 3 - 3,5$ m de espessura. Não é expetável a necessidade de realizar saneamentos de modo generalizado embora, localmente, possa verificar-se a sua necessidade;

4.4.1.4 Caracterização de empréstimos

Para este capítulo aplicam-se as considerações apresentadas no subcapítulo 4.3.1.4

4.4.2 Solução de reforço proposta

Como possíveis soluções para este aterro, no seu trecho crítico, preconizam-se (preliminarmente) as seguintes:

- Fundação do aterro:
 - Saneamento com substituição por enrocamento (envolto em geotêxtil com características de separação e filtro), numa espessura de 2,0 m, na travessia das aluviões;
 - Eventual escavação de endentamentos no terreno natural, se a pendente transversal do terreno natural for superior a 1/5 (v/h);
- Parte inferior do aterro:
 - Aplicação de materiais insensíveis à água (enrocamento) - A aplicação de enrocamento deverá ser considerada até 0,5 m acima do nível máximo de cheia, o qual deverá ser determinado pela especialidade de hidrologia.
- Corpo do aterro:
 - Execução do aterro com materiais de características equiparáveis à classe QS2 ou QS1 (IRS70719), desde que o material seja caracterizado com valores de CBR > 10%, aplicados em camadas com espessura máxima de 30 cm e compactados a 95 % da baridade seca máxima (a aferir com o ensaio Proctor modificado). No caso de se aplicarem materiais xistentos, de características evolutivas, deverá assegurar-se que a compactação é realizada com cilindros pé-de-carneiro.
- Espaldar do aterro:
 - Aplicação de materiais com características idênticas ao corpo do aterro, mas tratados com cimento (teor estimado de 3 a 4 %, a validar com estudo de formulação específico). O tratamento com cimento deverá ser executado com uma largura de 7 a 10 m (pano superior e pano inferior do aterro, respetivamente). Estes espaldares podem também ser executados com materiais granulares britados do tipo ABGE, devendo ser assegurada a drenagem para o exterior do aterro.
- Parte superior do aterro / coroamento

- Atendendo aos exigentes critérios de deformabilidade a que os Projetos têm de atender, considera-se que também o coroamento e a parte superior do aterro devem ser alvo de tratamento com cimento, nos mesmos termos que o indicado para os espaldares do aterro. Nesta fase preconiza-se uma espessura de 3 m para o coroamento / PSA tratado com cimento. Tal como referido para os espaldares do aterro, também neste caso admite-se a possibilidade de se considerar uma solução equivalente com aplicação de ABGE.

As soluções propostas foram definidas em função da altura do aterro, estando a sua distribuição ao longo do traçado sintetizada na tabela seguinte:

Quadro 6 - Solução de reforço detalhada entre os PK 29+032 a 29+597

Aterro Geral				Zona de tratamento				
Km inicial	Km final	Extensão Total (m)	H _{máx} (eixo) (m)	Km inicial	Km final	Extensão(m)	H(eixo) (m)	Tipo do Solução
29+856	32+197	2341,6	22,1	30+420	30+493	73	Heixo > 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 7m pano superior: e = 10 m Coroamento: e = 3m
				30+493	30+511	18	15 < Heixo < 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 5m pano superior: e = 8 m Coroamento: e = 3m

4.4.3 Faseamento construtivo

No que se refere ao processo construtivo, a execução dos aterros propostos, deve obedecer ao estipulado no Caderno de Encargos da Obra. Não obstante, importa referir que:

- Deverá promover-se a utilização de materiais com a mesma origem, e bem assim com comportamento uniforme, ao longo da mesma camada, em particular nos espaldares, não sendo permitida a alternância entre materiais xistosos e graníticos. Também em altura, a alternância destes materiais só é permitida no mínimo a cada 5 camadas (2m);
- Os materiais devem ser dispostos em “cordão”, a cerca de 5 metros da frente da camada, sendo depois espalhados pelo “Buldozer”, com a sua lâmina progressivamente mais baixa, por forma a permitir a boa envolvimento dos materiais mais grossos com os mais finos, que se reveste de fundamental importância, em particular, nos materiais xistosos dada a sua forte anisotropia e heterogeneidade conferida pela xistosidade. Com este procedimento consegue-se ainda uma fragmentação secundária, provocada pela passagem das lagartas do “Buldozer”, bastante benéfica, atendendo ao carácter evolutivo dos xistos; e,
- As camadas não deverão ter espessura superior a 0,40 m e deverão ser sujeitas a uma compactação intensa.

A execução de solo-cimento in situ pressupõe que as camadas dos espaldares sejam feitas em simultâneo com o restante aterro, não havendo diferenciação dessa parte do aterro relativamente ao

restante até ao início do processo de enriquecimento do solo com cimento, que ocorre após a compactação da camada (que deverá estar minimamente desempenada).

O cimento deve ser adicionado na proporção ponderal de 3 a 4% (esta percentagem de cimento, por ser relativamente diminuta, mas claramente suficiente, não deverá conduzir a fenómenos de fissuração das camadas tratadas).

As camadas devem ser tratadas em toda a sua espessura (0,40 m), nas larguras apresentadas anteriormente, o que implica, a sua execução por faixas adjacentes de largura limitada à do tambor misturador da recicladora (usualmente com 2,5 m).

A execução de solo-cimento in situ pressupõe a realização sequencial das seguintes etapas construtivas, após a compactação inicial da cada camada:

- Espalhamento do cimento pelo camião-silo;
- Execução da mistura com adição de água, pela recicladora acoplada à cisterna. Quando decorra mais de 4 horas entre a realização de camadas consecutivas de solo-cimento, a recicladora deverá proceder à escarificação da camada abaixo da que se pretende tratar, em 1-2 cm, para que, desta forma, se promova a adequada ligação entre camadas;
- Compactação final com cilindro; e,
- Espalhamento, até um máximo de 4 horas após a compactação final, de uma nova camada, para execução imediata de solo-cimento ou apenas para cobertura, o que permitirá reduzir a exposição da camada tratada e funcionar como cura (substituindo a rega betuminosa que se utiliza usualmente para esse fim).

A construção dos aterros deve ser antecedida da realização de um trecho experimental de aterro corrente e de outro em solo-cimento, que permitirão confirmar os pressupostos de projeto, aferir a gama de valores de teor em água dos materiais mais adequada à construção dos aterros, e no que se refere ao trecho em solo-cimento, avaliar as resistências obtidas para a percentagem de cimento adicionada e a sua evolução temporal, em particular nos primeiros tempos.

4.4.4 Plano de Instrumentação e Observação

O plano de Instrumentação e Observação permitirá avaliar o desempenho das estruturas durante as fases construtiva e de exploração, mediante o reconhecimento de critérios de alerta, traduzindo diferentes níveis de gravidade, suscitados por medições anómalas das grandezas monitorizadas, os quais poderão indiciar a necessidade de intervenções com vista a garantir a segurança e economia das Obras em causa.

Este Plano foi concebido com base nos condicionamentos próprios da Obra, atendendo aos riscos a eles associados.

Por forma a caracterizar o comportamento das estruturas, no que se refere às suas deformações internas e superficiais, o Plano de Instrumentação e Observação contempla a instalação de dispositivos de observação e de instrumentação, a saber:

- Marcas topográficas, para medição das grandezas deslocamento horizontal e deslocamento vertical, na superfície dos aterros;
- Extensómetros, para medição da grandeza deslocamento vertical, no interior dos aterros; e,
- Inclínómetros, para medição da grandeza deslocamento horizontal, no interior dos aterros.

Os dispositivos de observação previstos serão instalados nos coroamentos, nas banquetas e nas saias dos aterros, de acordo com o descritivo seguinte e representado nas peças desenhadas do projeto.

- Coroamento: Marcas topográficas, inclínómetros e extensómetros;
- Banquetas: Marcas topográficas e inclínómetros;
- Pé do aterro: Marcas topográficas;

5 VERIFICAÇÃO DE ASSENTAMENTOS EM ATERROS TIPO DE GRANDE ALTURA

5.1 Estados Limites de Utilização (Assentamentos)

De acordo com o definido na GR.IT.GEO.011 deve ser feita uma estimativa, devidamente justificada, do valor dos assentamentos esperados a longo prazo e propostas soluções que garantam as condições de funcionalidade da superestrutura ferroviária nos aterros com alturas da ordem dos 10 m ou superiores, constituídos por materiais coesivos e/ou evolutivos e com alturas da ordem dos 15 m ou superiores nos aterros com soluções de reforço, no âmbito da verificação aos Estados Limites de Utilização

Os assentamentos totais a longo prazo (s_t) deverão ser obtidos pela soma das seguintes parcelas:

- Assentamento imediato (s_i) correspondente à fase de construção
- Assentamento por consolidação primária (s_c) após construção
- Assentamento por consolidação secundária ou fluência (s_d)

Deverão ser tidos em consideração os assentamentos por consolidação ao nível do material de fundação, os assentamentos por consolidação do próprio aterro e os assentamentos induzidos pelo tráfego ferroviário. Neste caso foram analisados os assentamentos por fluência do próprio aterro.

Segundo o CE os assentamentos imediatos que ocorram nas vias em exploração, durante os trabalhos de terraplenagem para alargamento de aterros existentes, deverão cumprir com as tolerâncias de ação imediata dos valores de nivelamento longitudinal previstos na **GR.IT.VIA.018**.

Os assentamentos nos aterros, para o período de vida útil atribuído à plataforma de via, deverão ser limitados a 10 cm em plena via, ao valor admissível para a estrutura no início do bloco técnico e no final do bloco técnico às tolerâncias de intervenção estabelecidas na GR.IT.VIA.018 para nivelamento longitudinal em função da velocidade.

Como valores de referência/comparativo temos:

- Systra, guidelines 2023 - Como referência, devem considera-se como valores máximos de assentamento total dos aterros 30mm a 100mm, com uma taxa anual de deformação inferior a 5-10 mm/ano.
- NT.IP. infraestruturas. v03 - Os assentamentos totais calculados após entrada em exploração da obra, não deverão exceder nunca os 25 mm junto a obras de arte e hidráulicas e os 10 cm em plena via

5.1.1 Cálculo dos assentamentos imediatos (s_i)

O valor do assentamento imediato pode ser estimado, em termos simplificados supondo para a fundação um comportamento elástico linear isotrópico e meio semi-infinito a volume constante. Assim, este pode ser calculado assimilando a ação da fundação a uma tensão vertical uniforme (q) atuando sobre uma determinada área, assim como as características elásticas do maciço, constantes em

profundidade. Com base na lei de Hooke, o assentamento imediato (s_i) à superfície pode ser obtido a partir da equação 2-8, definida em Matos Fernandes (2008):

$$s_i = q \cdot (B(1-v^2)/E_s \cdot I_p$$

Onde:

q – pressão aplicada no terreno;

B – menor dimensão do elemento de fundação;

v – coeficiente de Poisson;

E_s – módulo de deformabilidade do solo;

I_p – valor adimensional, função da geometria da área carregada, profundidade da fundação e do ponto sob o qual se pretende obter o assentamento.

5.1.2 Cálculo dos assentamentos por consolidação primária (s_c)

A consolidação primária (ou hidrodinâmica) está associada à expulsão de água dos vazios do solo saturado, sendo particularmente relevante em solos argilosos de baixa permeabilidade. O cálculo é feito com base na “Teoria da Consolidação” de Terzaghi, utilizando-se a equação referente a solos normalmente consolidados (NC):

$$s_c = h_0 / (1+e_0) \cdot C_c \cdot \text{Log}_{10} ((\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v)/\sigma'_{v0})$$

Onde,

h_0 – espessura inicial da camada;

e_0 – índice de vazios inicial;

C_c – índice de compressibilidade;

σ'_p – tensão de pré-consolidação;

σ'_{v0} – tensão efetiva vertical de repouso;

$\Delta\sigma'_v$ – acréscimo da tensão efetiva vertical, devido ao carregamento;

Para a avaliação do tempo de consolidação, pode recorrer-se à equação do fator tempo, admitindo o excesso de pressão neutra inicial constante ao longo da espessura do estrato.

$$T = (C_v \cdot t) / H^2$$

onde,

T – fator tempo;

H – maior distância que uma partícula de água tem de percorrer para abandonar o estrato em consolidação em direção a uma fronteira drenante;

Cv – valor do coeficiente de consolidação;

t – instante ao fim do qual se pretende determinar o assentamento.

Assume-se que uma taxa de consolidação de 90%, é suficiente para estimar o tempo necessário para o assentamento por consolidação.

5.1.3 Cálculo dos assentamentos por consolidação secundária (fluência) (s_d)

Após o término da consolidação primária, o solo continua a sofrer deformações ao longo do tempo, mesmo sob tensão constante. Esse processo é conhecido como consolidação secundária ou "creep", especialmente significativo em argilas orgânicas e solos altamente compressíveis. A estimativa desse assentamento é dada por:

$$\Delta h = C_\alpha / (1+e_0) \cdot H \cdot \log (t/t_p)$$

Onde,

C_α – Coeficiente de fluência;

e_0 – índice de vazios do solo;

H – espessura da camada de solo;

t, t_p – tempos inicial e final do período considerado. Tempo inicial coincide com o término da consolidação primária.

O valor de C_α pode ser determinado diretamente através de ensaios edométricos de longa duração, que permitem medir a deformação associada à compressão secundária sob carga constante. Alternativamente, este parâmetro pode ser estimado por correlações empíricas com base no índice de compressibilidade C_c .

Neste contexto, é comum assumir uma relação proporcional entre o coeficiente de fluência e o índice de compressibilidade, expressa pela razão C_α/C_c , cujo intervalo típico varia entre 0,025 e 0,10, consoante a natureza e a sensibilidade do solo. Esta gama de valores tem sido observada para uma variedade de solos naturais, incluindo argilas altamente sensíveis, conforme documentado por vários autores.

5.2 Modelos Numéricos

Neste capítulo, apresenta-se a análise numérica de tensão-deformação para uma abordagem global estática para situações a longo prazo, de forma a estimar a magnitude dos assentamentos por consolidação secundária (fluência) do corpo do aterro, considerando diferentes cenários em função da altura dos aterros e com e sem implementação de soluções de reforço de zonas tratadas. As análises foram realizadas com o software PLAXIS 2D (versão 2016), utilizando o método dos elementos finitos.

Foram considerados diferentes cenários de dimensionamento para os aterros ferroviários, avaliando-se situações com taludes de 20, 15 e 10 metros de altura sem qualquer solução de reforço com solo-cimento, bem como cenários com taludes de 20 e 15 metros de altura com inclusão de reforço por meio de zonas tratadas com solo-cimento nos espaldares.

A sobrecarga ferroviária foi definida com base no modelo de cargas LM71, aplicável à combinação frequente de ações nos Estados Limites de Serviço, tendo sido afetada por um coeficiente de classificação das cargas $\alpha=1,33$ e por um fator de segurança do modelo de carga de 1,50, de forma a refletir adequadamente os efeitos do tráfego ferroviário de alta intensidade e velocidade.

Relativamente aos materiais utilizados, o corpo do aterro será modelado com solos da classe QS2 ou superior, de acordo com as especificações técnicas do LNEC (IRS 70719). A fundação dos aterros é composta por materiais de elevada resistência e baixa deformabilidade, representando uma fundação de natureza rochosa de boa qualidade. Nos cenários com reforço, prevê-se a utilização de solo tratado com cimento nos espaldares, com o objetivo de melhorar o desempenho mecânico e a estabilidade global da estrutura.

Quanto à geometria dos taludes, foi adotada uma inclinação geral de 1V:2H (vertical:horizontal). Para os aterros com alturas superiores a 10 metros, prevê-se a introdução de uma banqueteta com 3,0 metros de largura, com a finalidade de facilitar a execução faseada e garantir condições adequadas de estabilidade durante e após a construção.

5.2.1 ATERROS H≤10,0M

No caso dos aterros com alturas iguais ou inferiores a 10,0 não está previsto a implementação de soluções de reforço. Por isso, foi simulado para um único cenário, aterro sem solução de reforço.

5.2.1.1 Descrição do modelo de cálculo

O modelo de cálculo é constituído pelos seguintes elementos:

- Elementos finitos triangulares com 15 nós utilizados na simulação do solo;
- Carga uniformemente distribuída vertical na superfície do topo do talude de 50 kN/m (25x1,33x1.5);
- As condições de fronteira do modelo foram definidas de forma a ter um conjunto de apoios fixos na base, e apoios móveis nas zonas laterais, permitindo os deslocamentos verticais na zona lateral.

O solo de fundação foi modelado com o modelo constitutivo Mohr-Coulomb, os materiais constituintes da superestrutura foram modelados com o modelo constitutivo Elástico-linear, em regime drenado. Enquanto que o material de aterro foi modelado com o modelo constitutivo Soft Soil Creep (SSC), que consiste numa extensão do modelo constitutivo Soft Soil (SS) com a característica adicional de conseguir reproduzir o comportamento do solo quando este se encontra no estado elástico, ou seja, tem em consideração o efeito da fluência ao longo do tempo. A rotura do solo foi avaliada com base no critério de Mohr-Coulomb.

No quadro seguinte apresentam-se os valores característicos dos parâmetros geotécnicos de cada uma das camadas do solo.

Quadro 7 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	E_{v2} (MPa)	C_c	C_α	$C_\alpha/(1+e_0)$
Corpo Aterro (SSC)	18	5	32	60	0,03	0,0015	0,0023
Fundação (MC)	19	200	500	200	-	-	-

De forma a reproduzir o faseamento construtivo previsto em fase de construção e de serviço, este foi modelado através de várias fases de construção do aterro, seguidas da ativação da sobrecarga estática ferroviária prevista para cálculo da consolidação, sendo considerado o seguinte faseamento genérico simplificado:

Quadro 8 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS

Faseamento Construtivo PLAXIS	
Fases	Descrição
Inicial	Ativação do estado de tensão inicial instalado do maciço
1-2	Construção do aterro (Camadas com espessura de 5,0m com duração de 30 dias por fase)
3	Construção do aterro (Superestrutura com duração de 30 dias)
4	Construção do aterro (em repouso com duração de 30 dias)
5	Ativação da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 1 dia)
6	Permanecia da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 100 anos)

Optou-se por uma altura máxima de construção do aterro de 5,0 m por fase, com uma duração de 30 dias, onde se assume que a magnitude dos assentamentos dos aterros que ocorrem nesta fase são compensados no final da construção.

A análise na fase de serviço foi realizada para uma duração de 100 anos, correspondente à duração da vida útil da estrutura.

Na figura seguinte apresenta-se a malha de elementos finitos adotada no final da fase de serviço (Fase 6).

AVANTE
NORTE

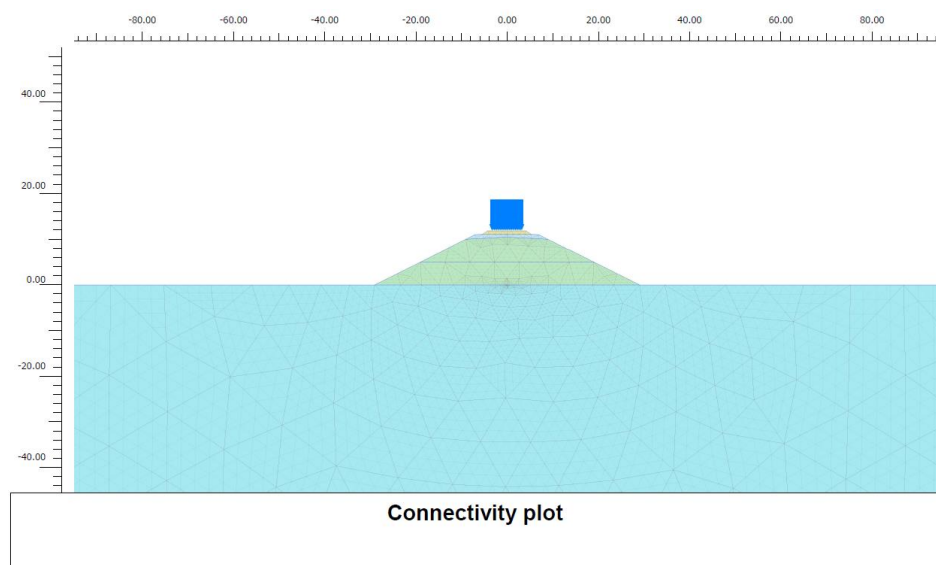


Figura 21 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase6)

5.2.1.2 Resultados obtidos

Apresentam-se as figuras com os deslocamentos horizontais e verticais verificados, valores acumulativos obtidos na última fase, após os 100 anos (Fase 6).

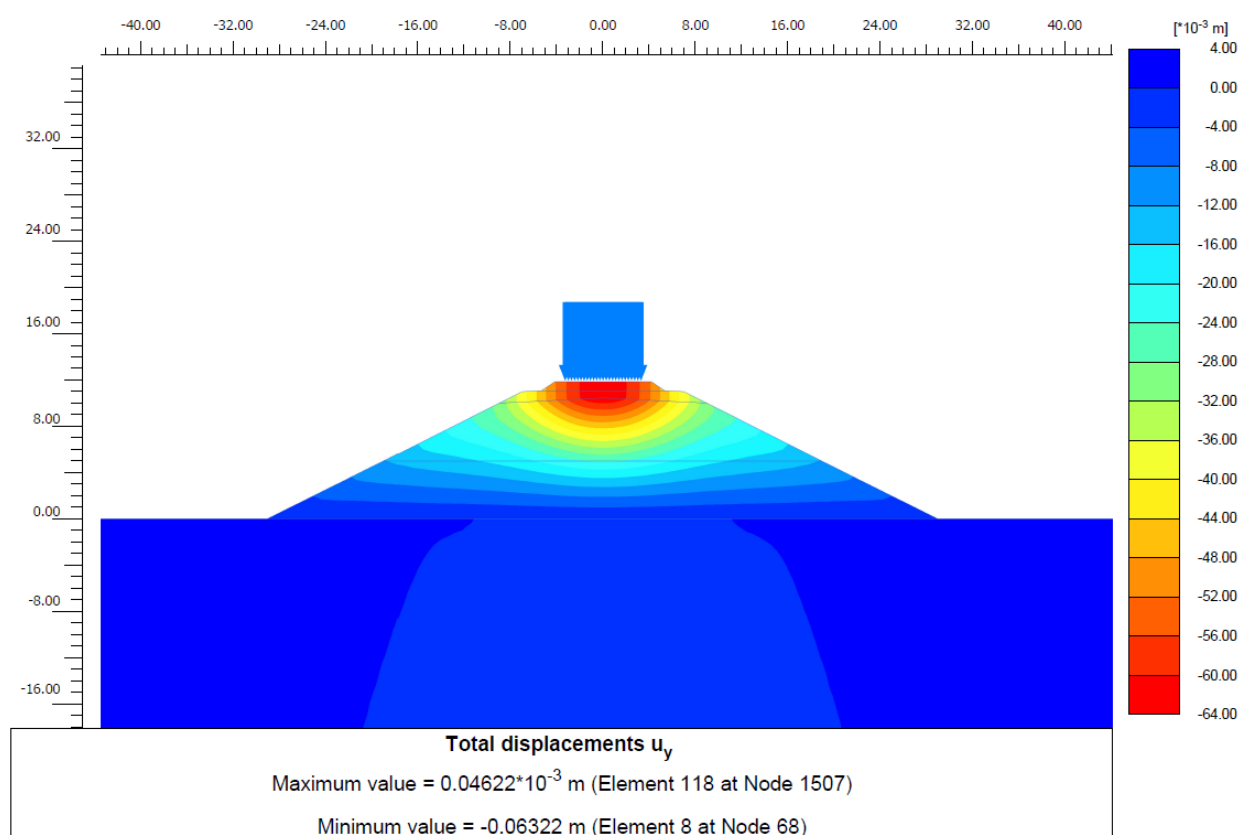


Figura 22 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 6)

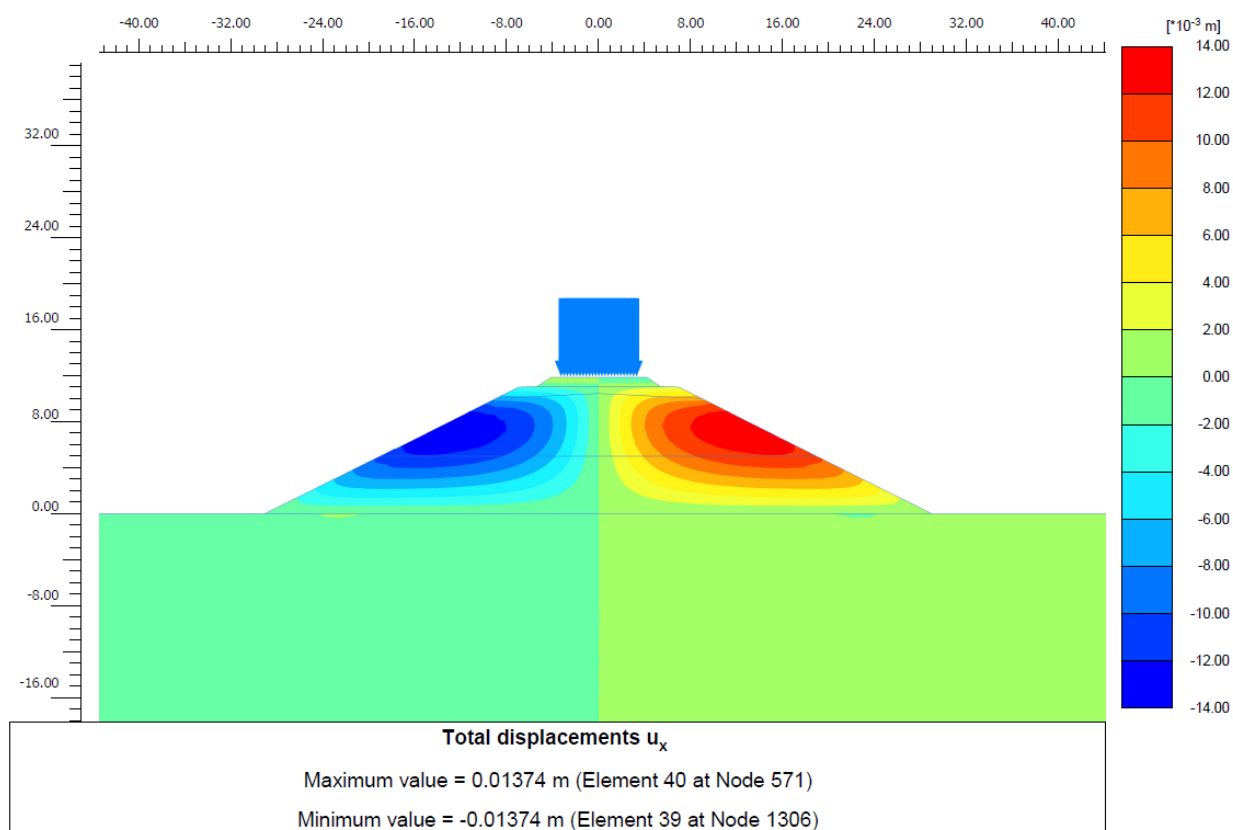


Figura 23 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 6)

De seguida apresentam-se os gráficos da estimativa dos assentamentos em função do tempo após entrada de serviço da linha, bem como as taxas de deformação referentes a 0-6 meses, anuais nos primeiros 5 anos, entre 5-10 anos, 10-50 anos e entre 50-100 anos.

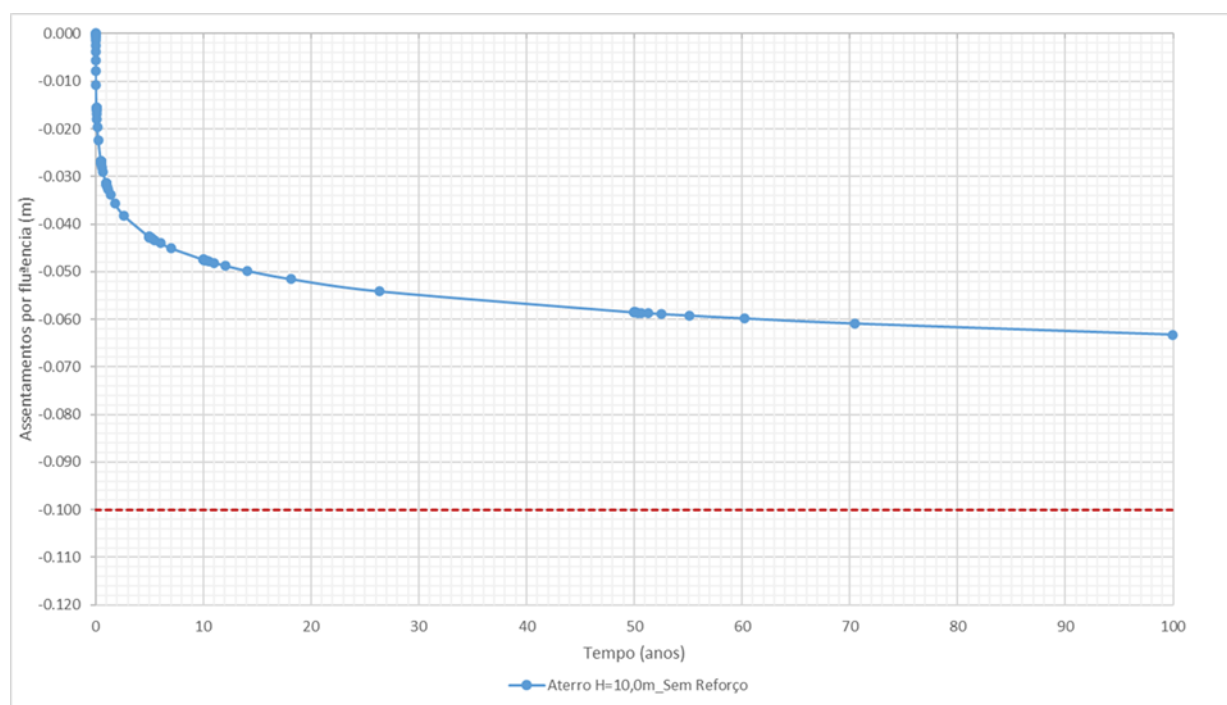


Figura 24 – Aterro H≤10,0 - Gráfico dos assentamentos em função do tempo

Quadro 9 – Aterro H≤10,0 – Taxas de Deformação

H=10m s/ Reforço	
Ano	Taxa de deformação (mm/ano)
1	32 (>10)
2	5
3	3
4	3
5	2
10	1
50	0
100	0

5.2.2 ATERROS H≤15,0M

No caso dos aterros com alturas iguais ou inferiores a 15,0 m foram considerados dois cenários, nomeadamente o aterro sem e com a implementação da solução de reforço.

5.2.2.1 Descrição do modelo de cálculo

O modelo de cálculo é constituído pelos seguintes elementos:

- Elementos finitos triangulares com 15 nós utilizados na simulação do solo;
- Carga uniformemente distribuída vertical na superfície do topo do talude de 50 kN/m (25x1,33x1.5);
- As condições de fronteira do modelo foram definidas de forma a ter um conjunto de apoios fixos na base, e apoios móveis nas zonas laterais, permitindo os deslocamentos verticais na zona lateral.

O solo de fundação foi modelado com o modelo constitutivo Mohr-Coulomb, os materiais constituintes da superestrutura foram modelados com o modelo constitutivo Elástico-linear, e o solo-cimento com o modelo constitutivo Hardening Soil (HS), em regime drenado. Enquanto que o material de aterro foi modelado com o modelo constitutivo Soft Soil Creep (SSC), que consiste numa extensão do modelo constitutivo Soft Soil (SS) com a característica adicional de conseguir reproduzir o comportamento do solo quando este se encontra no estado elástico, ou seja, tem em consideração o efeito da fluência ao longo do tempo. A rotura do solo foi avaliada com base no critério de Mohr-Coulomb.

No quadro seguinte apresentam-se os valores característicos dos parâmetros geotécnicos de cada uma das camadas do solo.

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	E_{v2} (MPa)	C_c	C_α	$C_\alpha/(1+e_0)$
Corpo Aterro (SSC)	18	5	32	60	0,03	0,0015	0,0023
Fundação (MC)	19	200	500	200	-	-	-
Solo-cimento (HS)	21	200	38	1000	-	-	-

Quadro 10 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos

De forma a reproduzir o faseamento construtivo previsto em fase de construção e de serviço, este foi modelado através de várias fases de construção do aterro, seguidas da ativação da sobrecarga estática ferroviária prevista para cálculo da consolidação secundária, sendo considerado o seguinte faseamento genérico simplificado.

Faseamento Construtivo PLAXIS	
Fases	Descrição
Inicial	Ativação do estado de tensão inicial instalado do maciço
1-3	Construção do aterro (Camadas com espessura de 5,0m com duração de 30 dias por fase)
4	Construção do aterro (Superestrutura com duração de 30 dias)
5	Construção do aterro (em repouso com duração de 30 dias)
6	Ativação da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 1 dia)
7	Permanecia da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 100 anos)

Quadro 11 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS

Optou-se por uma altura máxima de construção do aterro de 5,0 m por fase, com uma duração de 30 dias, onde se assume que a magnitude dos assentamentos dos aterros que ocorrem nesta fase são compensados no final da construção.

A análise na fase de serviço foi realizada para uma duração de 100 anos, correspondente à duração da vida útil da estrutura.

Na figura seguinte apresenta-se a malha de elementos finitos adotada no final da fase de serviço (Fase 7).

AVANTE
NORTE

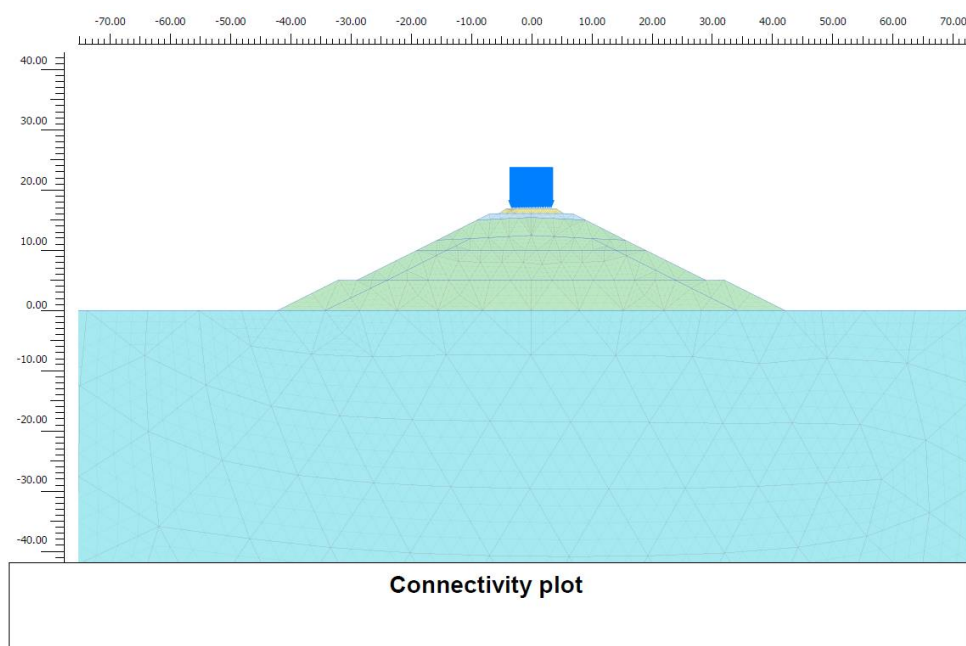


Figura 25 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase7)

5.2.2.2 Resultados obtidos

Apresentam-se as figuras com os deslocamentos horizontais e verticais verificados, valores acumulativos obtidos na última fase, após os 100 anos (Fase 7).

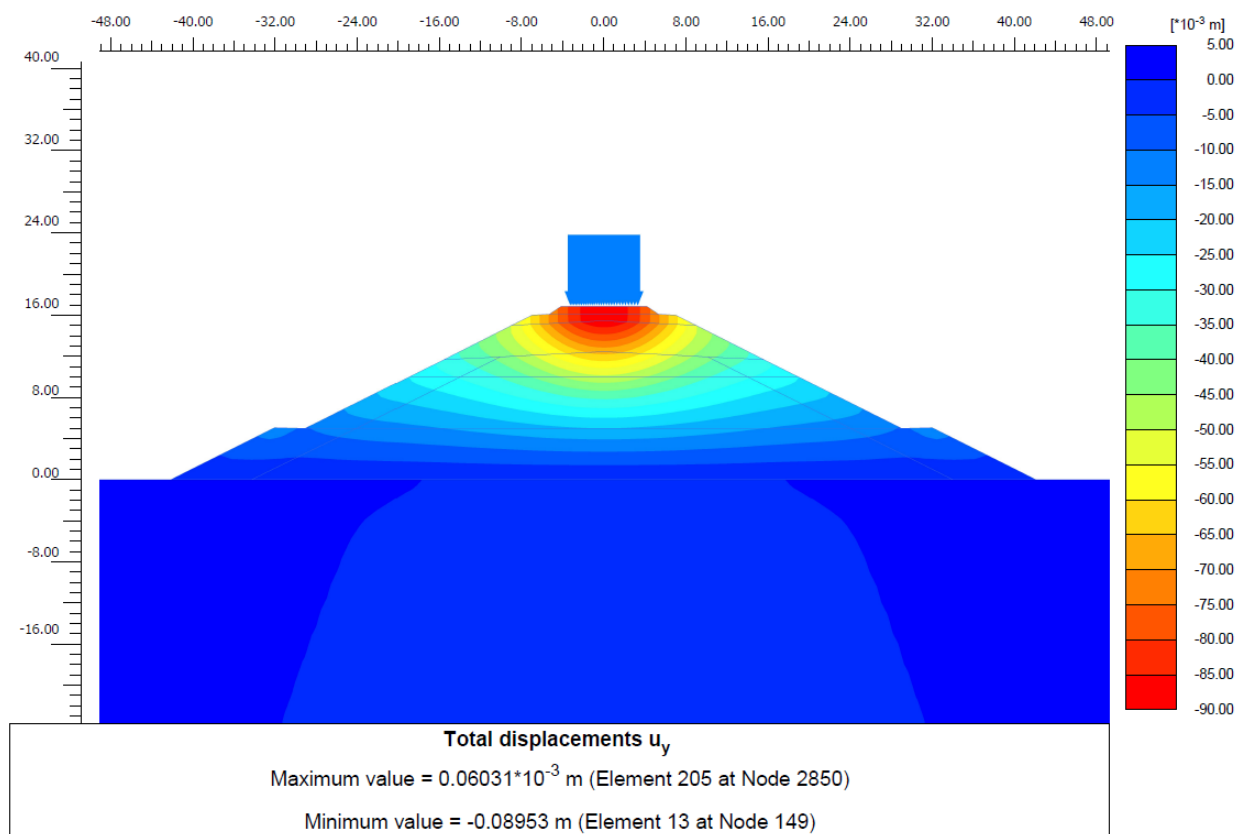


Figura 26 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Sem Reforço

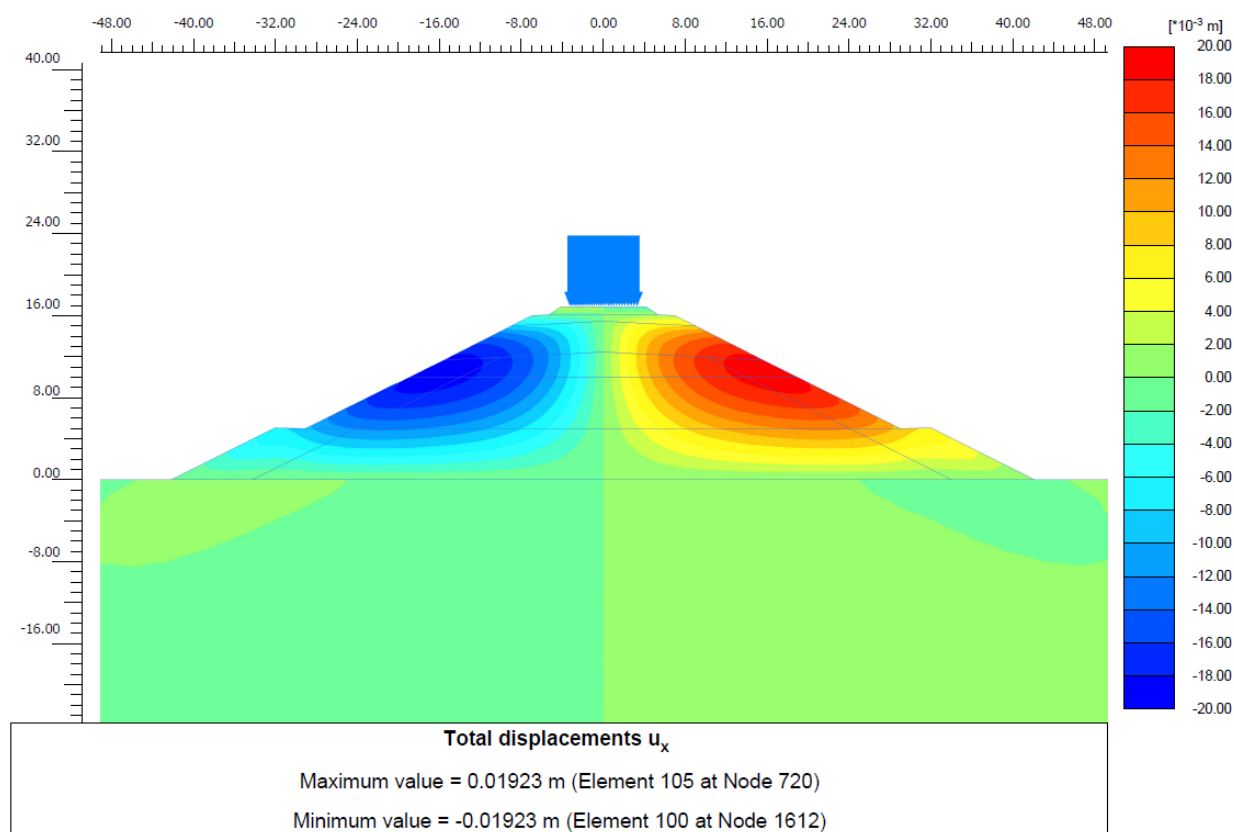


Figura 27 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Sem Reforço

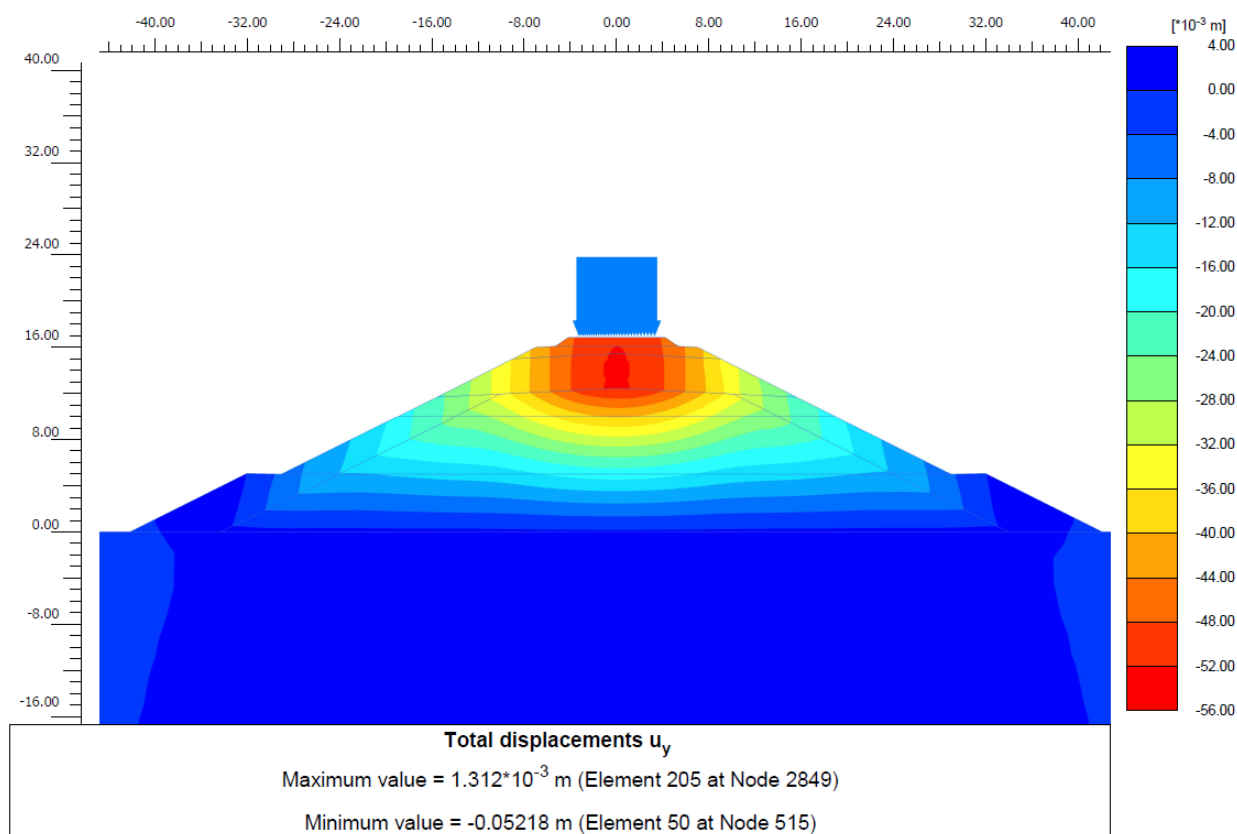


Figura 28 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Com Reforço

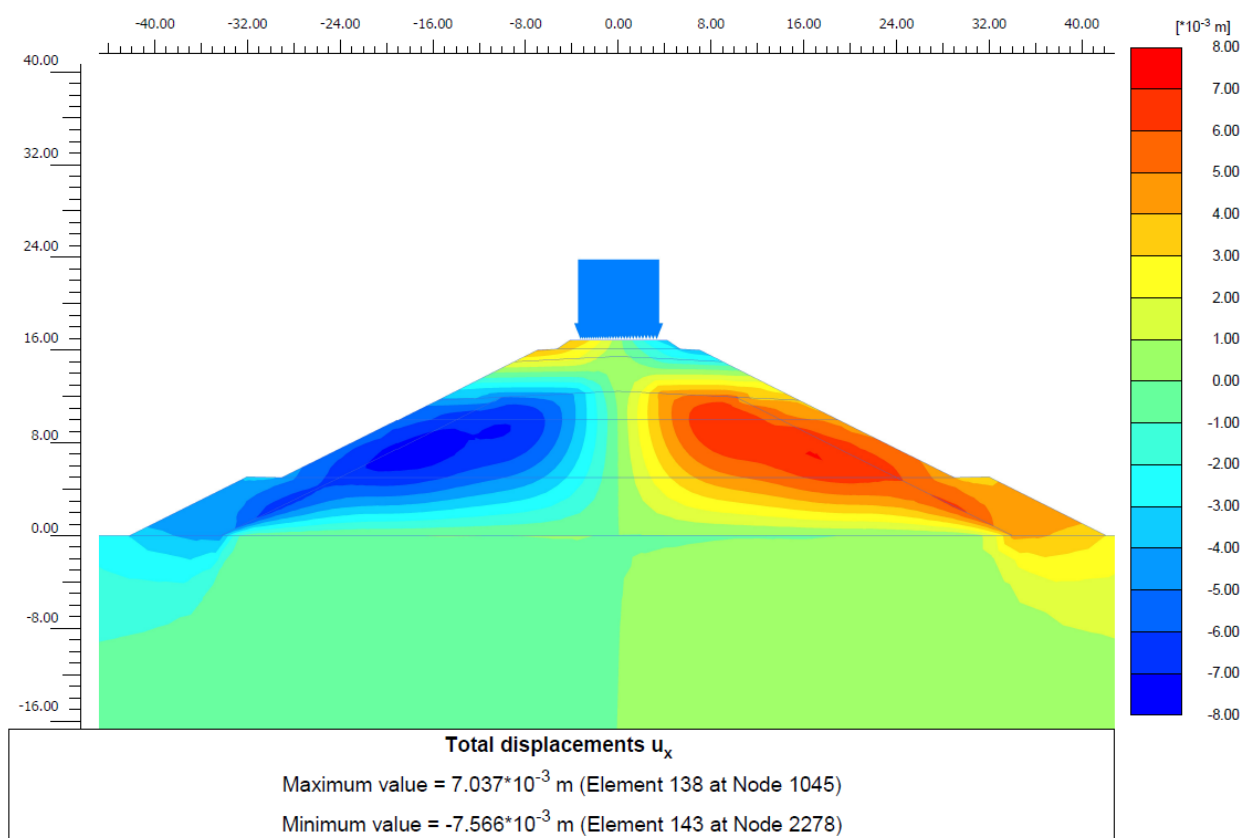


Figura 29 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Com Reforço

De seguida apresentam-se os gráficos da estimativa dos assentamentos em função do tempo após entrada de serviço da linha, bem como as taxas de deformação referentes a 0-6 meses, anuais nos primeiros 5 anos, entre 5-10 anos, 10-50 anos e entre 50-100 anos.

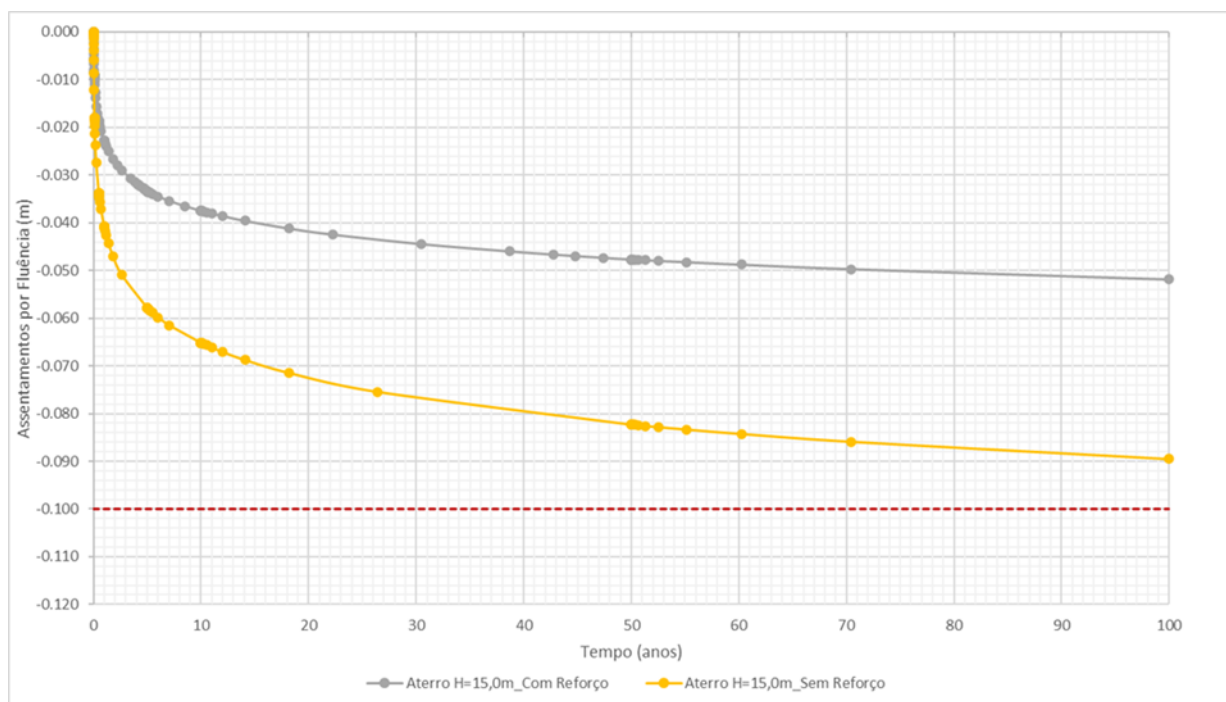


Figura 30 – Aterro H≤15,0 - Gráfico dos assentamentos em função do tempo

Quadro 12 – Aterro H≤15,0 – Taxas de Deformação

H=15m s/ Reforço		H=15m c/ Reforço	
Ano	Taxa de deformação (mm/ano)	Ano	Taxa de deformação (mm/ano)
1	41 (>10)	1	23 (>10)
2	8	2	5
3	5	3	3
4	5	4	2
5	3	5	2
10	1	10	1
50	0	50	0
100	0	100	0

5.2.3 ATERROS H≤20,0M

No caso dos aterros com alturas iguais ou inferiores a 20,0 m foram considerados dois cenários, nomeadamente o aterro sem e com a implementação da solução de reforço.

5.2.3.1 Descrição do modelo de cálculo

O modelo de cálculo é constituído pelos seguintes elementos:

- Elementos finitos triangulares com 15 nós utilizados na simulação do solo;
- Carga uniformemente distribuída vertical na superfície do topo do talude de 50 kN/m (25x1,33x1.5);
- As condições de fronteira do modelo foram definidas de forma a ter um conjunto de apoios fixos na base, e apoios móveis nas zonas laterais, permitindo os deslocamentos verticais na zona lateral.

O solo de fundação foi modelado com o modelo constitutivo Mohr-Coulomb, os materiais constituintes da superestrutura foram modelados com o modelo constitutivo Elástico-linear, e o solo-cimento com o modelo constitutivo Hardening Soil (HS), em regime drenado. Enquanto que o material de aterro foi modelado com o modelo constitutivo Soft Soil Creep (SSC), que consiste numa extensão do modelo constitutivo Soft Soil (SS) com a característica adicional de conseguir reproduzir o comportamento do solo quando este se encontra no estado elástico, ou seja, tem em consideração o efeito da fluência ao longo do tempo. A rotura do solo foi avaliada com base no critério de Mohr-Coulomb.

No quadro seguinte apresentam-se os valores característicos dos parâmetros geotécnicos de cada uma das camadas do solo.

Quadro 13 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	E_{v2} (MPa)	C_c	C_α	$C_\alpha/(1+e_0)$
Corpo Aterro (SSC)	18	5	32	60	0,03	0,0015	0,0023
Fundação (MC)	19	200	500	200	-	-	-
Solo-cimento (HS)	21	200	38	1000	-	-	-

De forma a reproduzir o faseamento construtivo previsto em fase de construção e de serviço, este foi modelado através de várias fases de construção do aterro, seguidas da ativação da sobrecarga estática ferroviária prevista para cálculo da consolidação secundária, sendo considerado o seguinte faseamento genérico simplificado.

Quadro 14 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS

Faseamento Construtivo PLAXIS	
Fases	Descrição
Inicial	Ativação do estado de tensão inicial instalado do maciço
1-4	Construção do aterro (Camadas com espessura de 5,0m com duração de 30 dias por fase)
5	Construção do aterro (Superestrutura com duração de 30 dias)
6	Construção do aterro (em repouso com duração de 30 dias)
7	Ativação da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 1 dia)
8	Permanência da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 100 anos)

Optou-se por uma altura máxima de construção do aterro de 5,0 m por fase, com uma duração de 30 dias, onde se assume que a magnitude dos assentamentos dos aterros que ocorrem nesta fase são compensados no final da construção.

A análise na fase de serviço foi realizada para uma duração de 100 anos, correspondente à duração da vida útil da estrutura.

Na figura seguinte apresenta-se a malha de elementos finitos adotada no final da fase de serviço (Fase 8).

AVANTE
NORTE

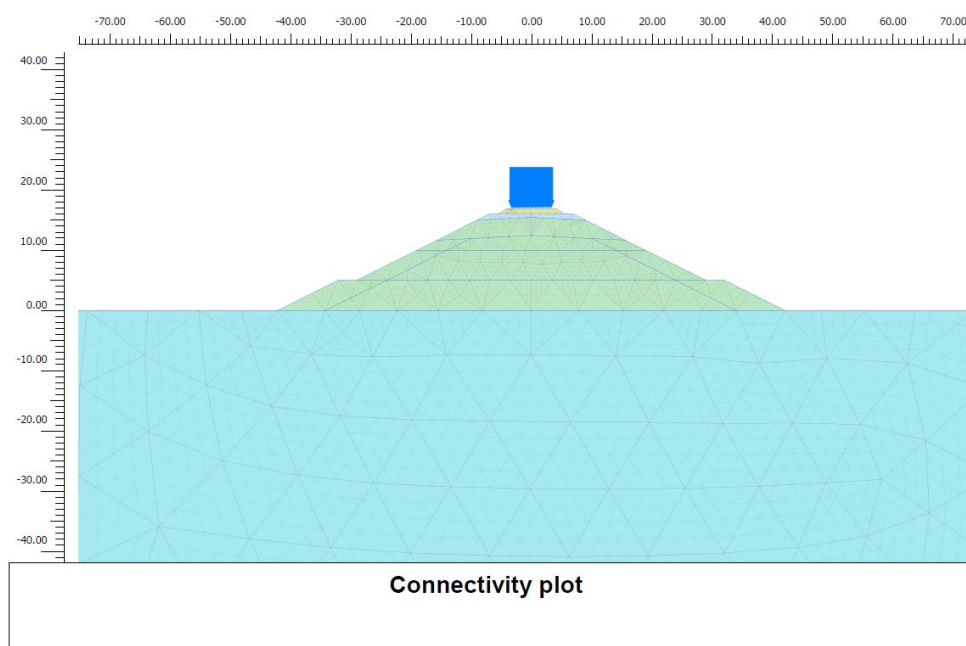


Figura 31 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase8)

5.2.3.2 Resultados obtidos

Apresentam-se as figuras com os deslocamentos horizontais e verticais verificados, valores acumulativos obtidos na última fase, após os 100 anos (Fase 8).

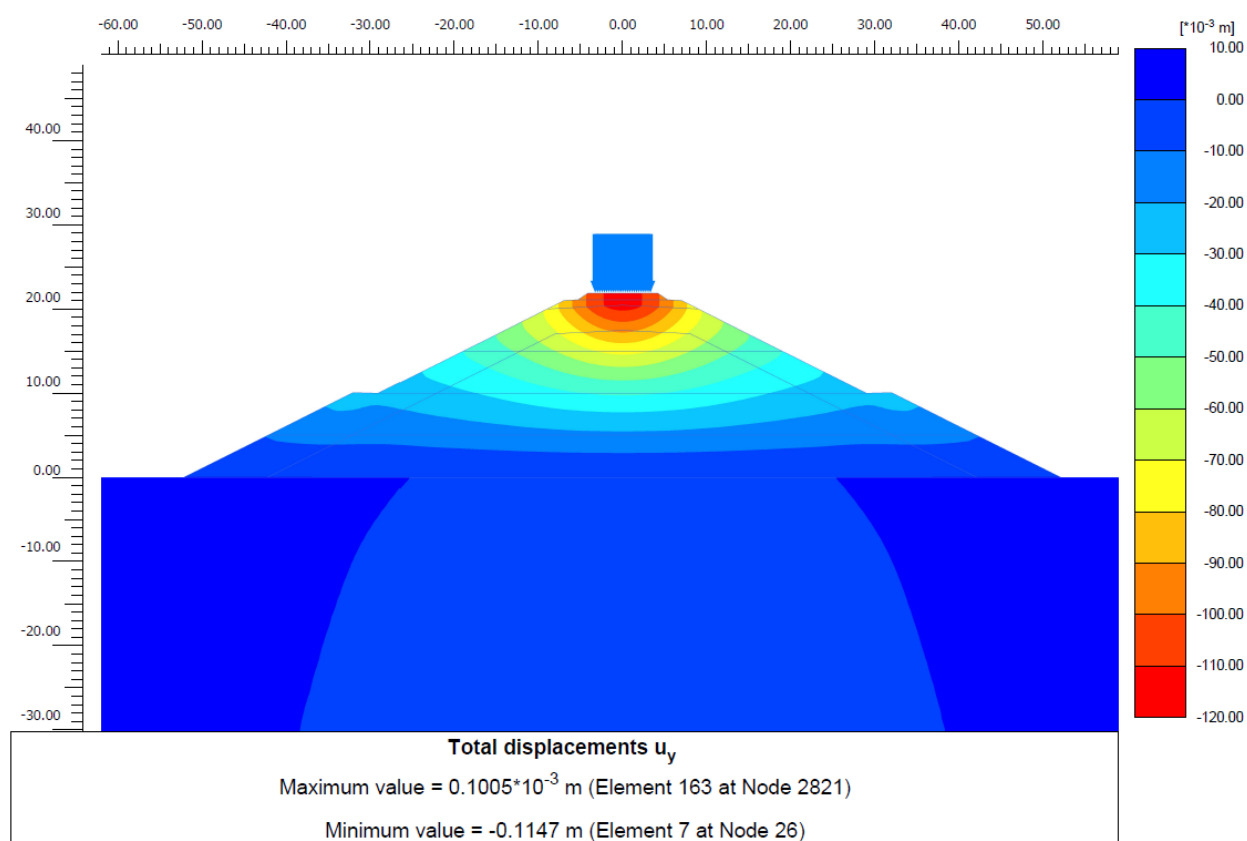


Figura 32 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Sem Reforço

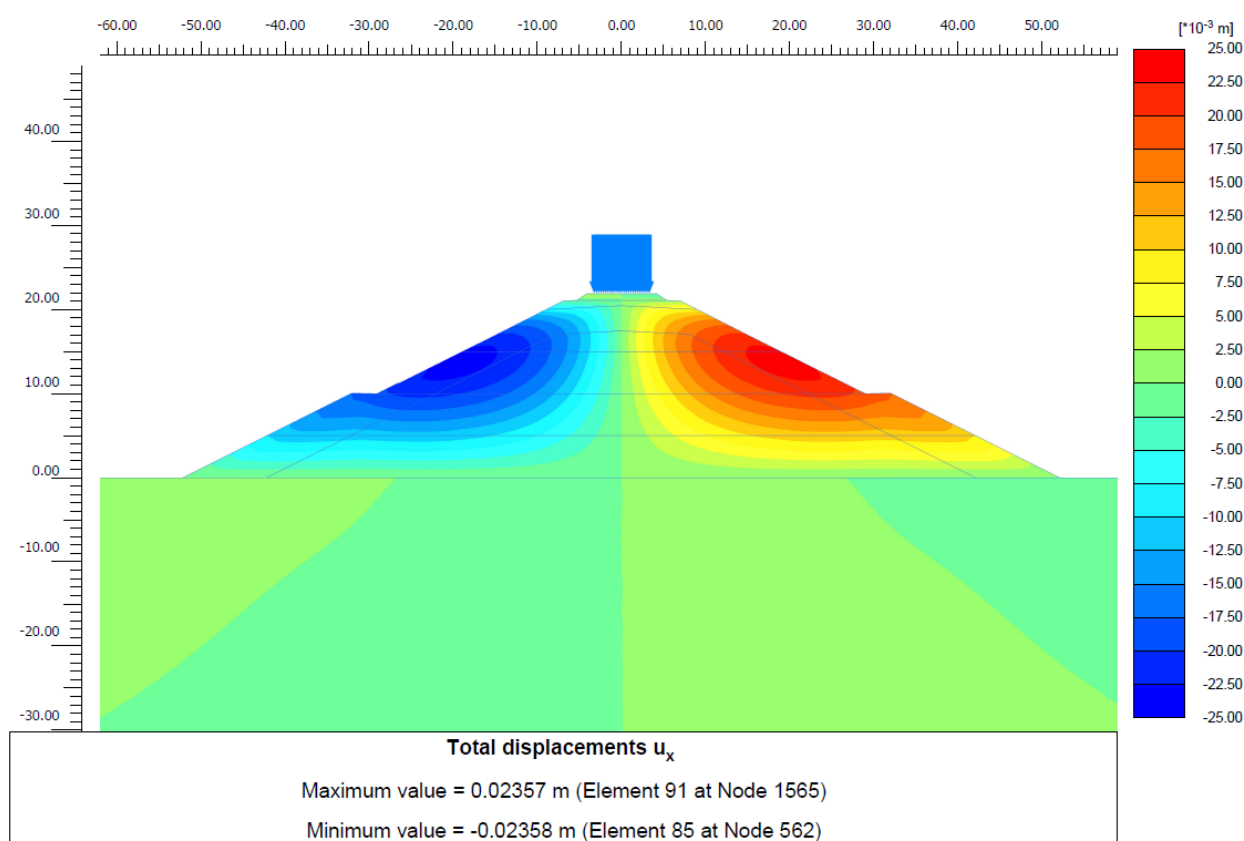


Figura 33 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Sem Reforço

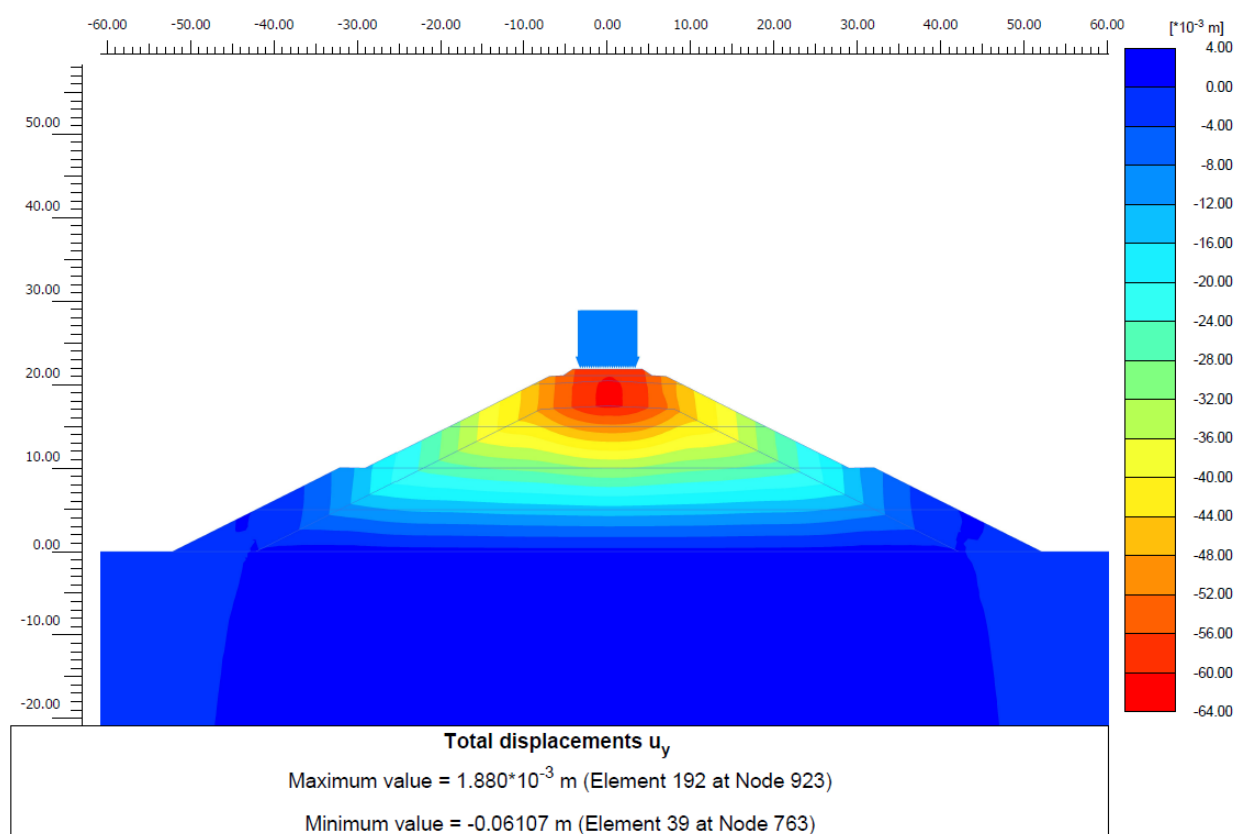


Figura 34 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Com Reforço

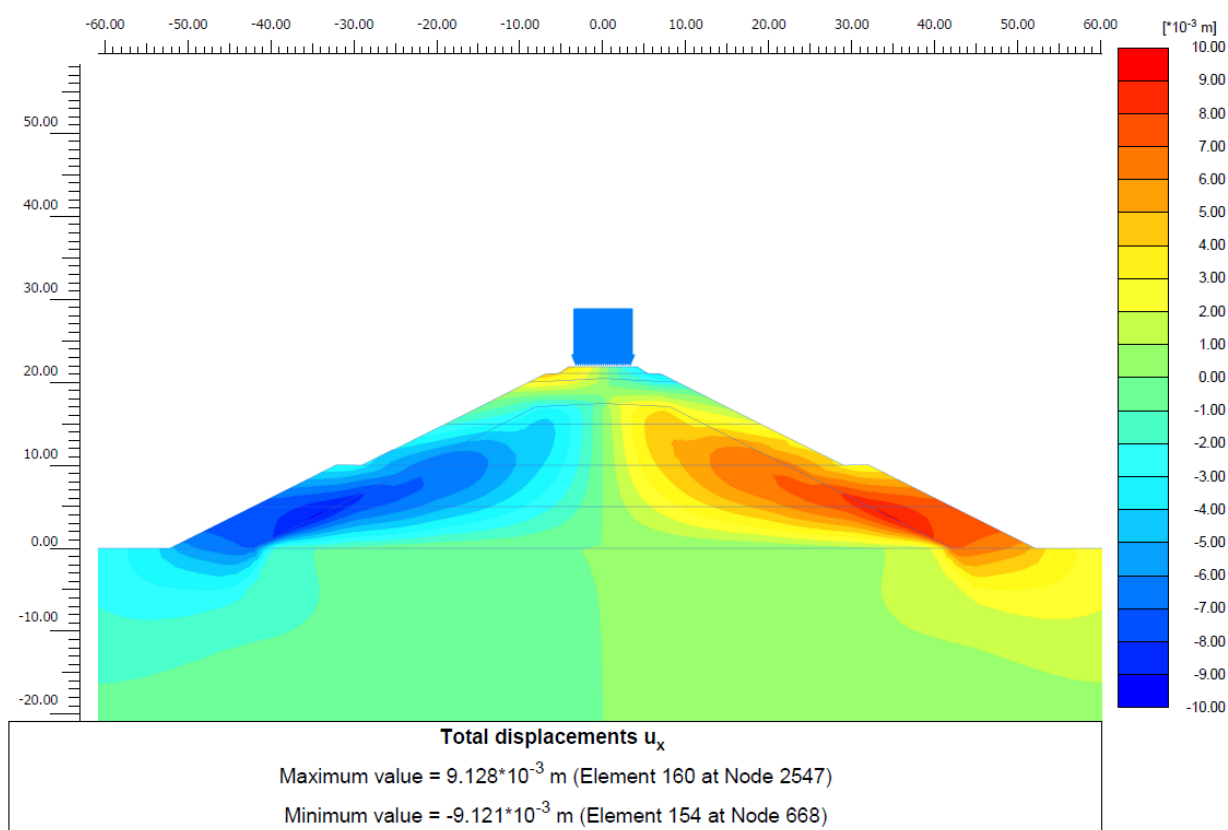


Figura 35 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Com Reforço

De seguida apresentam-se os gráficos da estimativa dos assentamentos em função do tempo após entrada de serviço da linha, bem como as taxas de deformação referentes a 0-6 meses, anuais nos primeiros 5 anos, entre 5-10 anos, 10-50 anos e entre 50-100 anos.

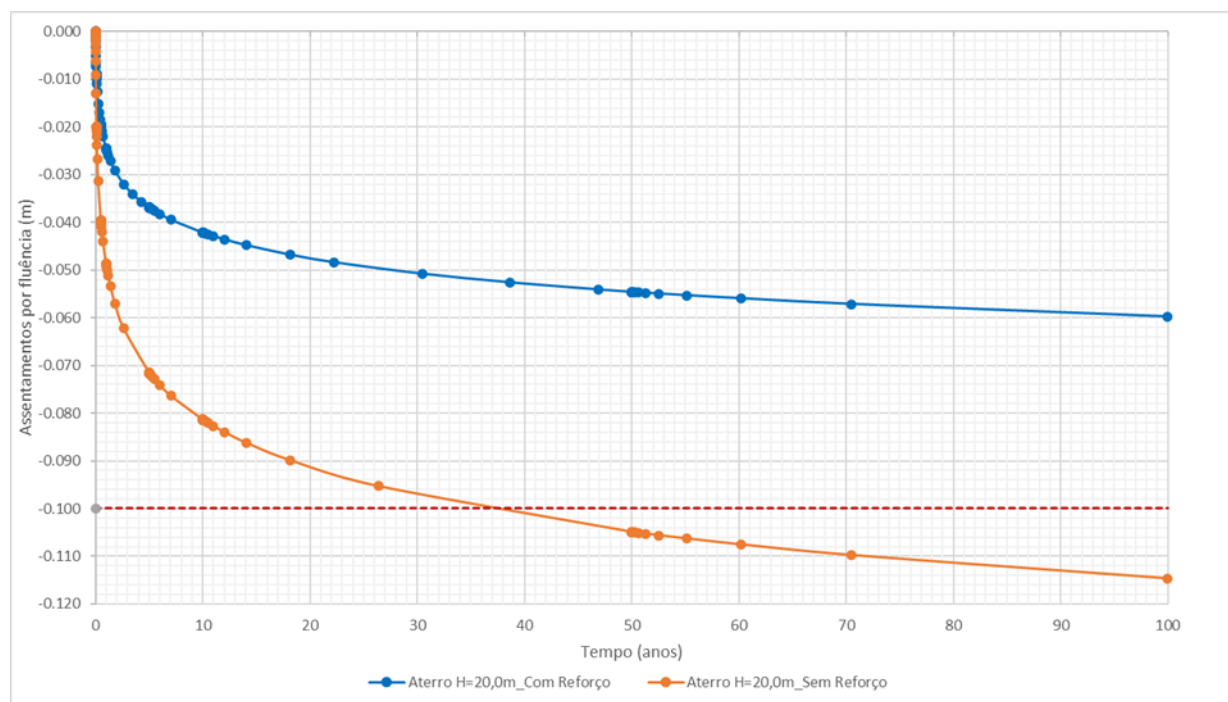


Figura 36 – Aterro H≤20,0 - Gráfico dos assentamentos em função do tempo

Quadro 15 – Aterro H≤20,0 – Taxas de Deformação

H=20m s/ Reforço		H=20m c/ Reforço	
Ano	Taxa de deformação (mm/ano)	Ano	Taxa de deformação (mm/ano)
1	49 (>10)	1	25 (>10)
2	10	2	6
3	6	3	3
4	6	4	2
5	4	5	2
10	2	10	1
50	1	50	0
100	0	100	0

5.2.4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Com base nos resultados podemos tecer as seguintes conclusões:

- Na análise dos assentamentos por fluência do próprio aterro não foram considerados os efeitos da presença do nível freático e os assentamentos do material de fundação;
- Para os cenários sem aplicação do reforço foram obtidos assentamentos no topo do aterro inferiores a 100 mm, exceto no caso do aterro com H=20m, onde foi obtido um assentamento de 115 mm. Foram determinadas taxas de deformação inferiores aos limites estabelecidos de 5-10 mm/ano para os assentamentos totais, exceto no primeiro ano onde foram obtidas taxas entre 49 e 32 mm/ano (no 1º semestre, entre 80 e 54mm/semestre; no 2º semestre, entre 18 e 9mm/semestre);
- Para os cenários com aplicação do reforço foram obtidos assentamentos no topo do aterro inferiores a 100mm, entre 60 (H=20m) e 52mm (H=15m). Foram determinadas taxas de deformação inferiores aos limites estabelecidos de 5-10 mm/ano para os assentamentos totais, exceto no primeiro ano onde foram obtidas taxas de 25 e 23 mm/ano (no 1º semestre, de 40mm/semestre; no 2º semestre, de 10 e 9mm/semestre);
- Manutenção mais cuidada nos aterros com altura iguais ou superiores a 10m durante no primeiro semestre após entrada em serviço;
- Validação da necessidade de reforçar os taludes com alturas superiores a 15 m.

6 ESCAVAÇÕES

A inclinação dos taludes de escavação é determinada por vários fatores como a altura das escavações/taludes, as características geomecânicas dos maciços, a integração paisagística, as limitações de ocupação ou o balanço de terras.

Levando em conta esses aspetos e face à informação da caracterização geotécnica disponível até ao momento, considera-se para a generalidade dos taludes inclinações de 1/1,5 (V/H).

As escavações na linha interessarão sobretudo materiais terrosos, das formações Xistos de Arada e Depósitos de Praias Antigas, bem como maciço rochoso normalmente muito alterado a alterado e com intensa faturação, da primeira unidade.

Os materiais terrosos, em especial quando mais granulares são suscetíveis a ravinamentos, enquanto os rochosos poderão desenvolver especialmente quedas de blocos ou outros tipos de instabilidade típicos de maciços rochosos.

Para evitar problemas desse tipo preconiza-se o revestimento com uma espessura de 0,15 m de terra vegetal e a introdução de vegetação adequada em todos os taludes de escavação com inclinação compatível com essa medida, não superior a 1:1,5 (V:H). O crescimento da vegetação e do reticulado de raízes permitirá diminuir a escorrência superficial e a velocidade de escorrimento além agregar a terra vegetal de recobrimento.

No caso dos taludes rochosos, com inclinações mais acentuadas, até à inclinação máxima estabelecida de 1:1 (V:H), deverá prever-se a necessidade de implementação de outras medidas, de forma pontual ou mais sistemática, sempre que a compartimentação do maciço seja favorável à queda de blocos ou de massas rochosas.

De forma preliminar, considera-se para estes casos o revestimento de taludes com betão projetado, reforçado com malha electrossoldada ou com fibras metálicas, associado a malha de pregagens e a geodrenos transversais (subhorizontais), sendo esta medida apropriada para reforçar e proteger taludes constituídos por materiais evolutivos, suscetíveis à ação erosiva dos agentes atmosféricos.

De forma ilustrativa na figura seguinte é apresentado um exemplo de aplicação de betão projetado num talude junto a uma linha Férrea.



Figura 37 - Aplicação de betão projetado num talude (Fonte: IP)

Entre outras possibilidades de tratamentos incluem-se:

- Instalação de redes metálicas na face dos taludes, fixadas ao maciço com pregagens, com o intuito de acautelar a queda de blocos, em maciços fraturados;
- Execução de pregagens nos taludes, mais ou menos pontuais, em zonas potencialmente mais perigosas devido à elevada altura dos taludes e/ou pela conjugação favorável ao desenvolvimento de roturas planares, por cunha ou de outro tipo;
- Recalçamento de zonas de blocos em consola que não possam ser reperfilados (com recurso a, por exemplo, betão ciclópico, betão levemente armado, betão projetado, ou outra solução que se considere apropriada).

Nos taludes com exurgências de água, deverá proceder-se ao revestimento com enrocamento (conforme abordado no Volume 01, Tomo 1.1), ou com betão projetado associado a pregagens e a geodrenos transversais subhorizontais.

6.1 Solução de reforço E22_1 (PK 22+175 a PK22+325)

6.1.1 Descrição do trecho em análise

No troço de escavação sensivelmente entre o km 22+175 e o km 22+325 (E22_1), que interessa a unidade geológica Xistos de Arada, verifica-se que a inclinação do talude esquerdo apresenta um agravamento gradual de 1/1,5 (V/H) para 1:1 (V:H), devido à necessidade de o compatibilizar com a implantação da via do sentido ascendente da Ligação a Canelas, prevendo-se assim a necessidade de reforço para estabilização do talude a longo prazo.

O talude de escavação a tratar atinge uma altura máxima de cerca de 10 m, e devido às restrições de espaço para implantação não haverá recurso a banquetas.

6.1.2 Solução de reforço proposta

Os problemas de instabilidade associados ao talude esquerdo decorrem do estado de alteração do maciço rochoso, o que potencia a ocorrência de escorregamentos com principal impacto no pano mais próximo da via-férrea.

Para controlar estes riscos, está prevista a execução de uma camada de betão projetado com 20 cm de espessura, armada com malha eletrosoldada do tipo AQ50. Esta solução será complementada por uma malha de pregagens dispostas em grelha de 2,0 x 2,0 m, com varões de Ø32 mm, comprimento entre 6 e 9 metros, e inclinados a 25° em relação à horizontal, com o objetivo de estabilizar o maciço e contrariar eventuais deslocamentos.

Em conjunto com os elementos de reforço estrutural, será implementado um sistema de drenagem composto por geodrenos, com a função de captar e escoar as águas subterrâneas.

6.1.3 Faseamento construtivo

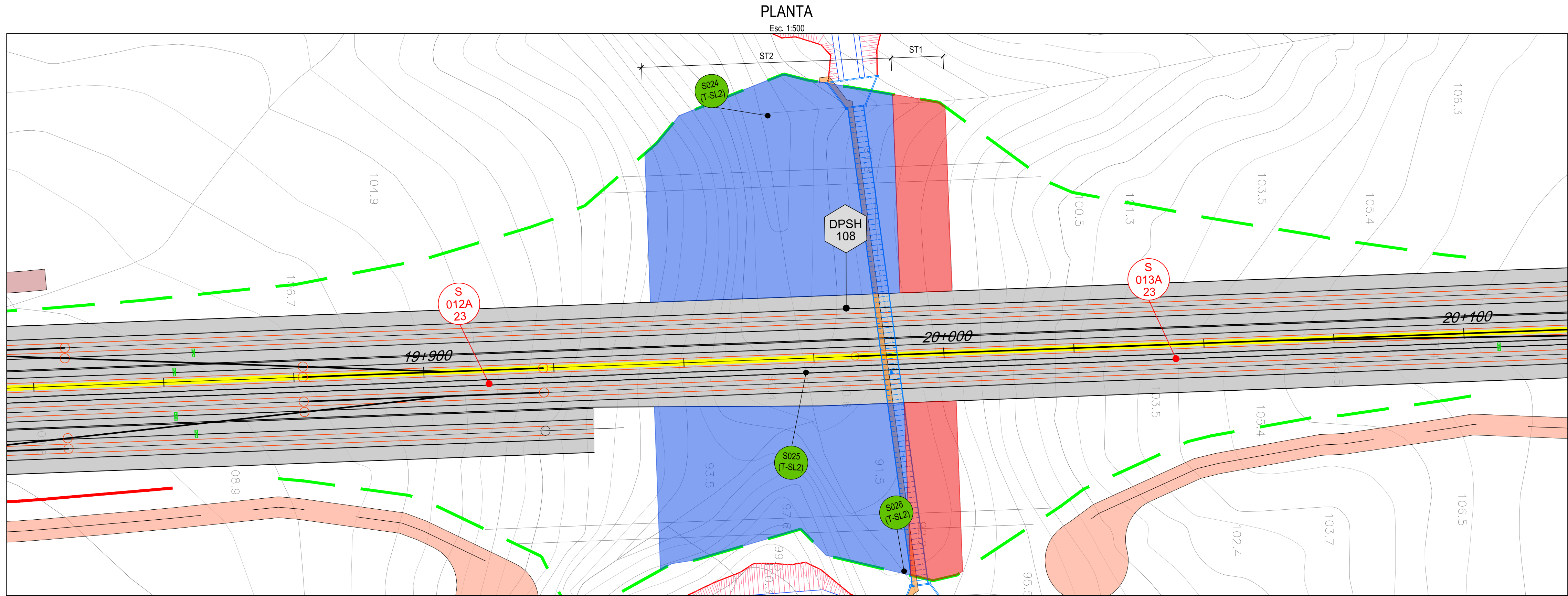
O faseamento construtivo a adotar para os trabalhos preconizados deverá compreender uma sequência de operações que possibilite a sua execução de forma a minimizar ao máximo o seu impacto na aéreas adjacentes e em adequadas condições de segurança, devendo ser seguido, preferencialmente, o seguinte faseamento:

Assim, após o transporte e montagem do estaleiro em local apropriado, pode-se dar início à execução dos trabalhos:

1. Preparação da frente de trabalho e observação dos preceitos de segurança inerentes aos trabalhos;
2. Execução dos trabalhos preparatórios;
3. Escavação e reperfilamento faseado do pano de talude, em patamares com 4,0m de altura;
4. Limpeza e regularização da superfície do talude, de modo a obter-se uma superfície apropriada para aplicação do revestimento em betão projetado;
5. Execução da solução de proteção da face do talude de acordo com o seguinte faseamento:
 - a. Execução da furação Ø76 mm para os drenos sub-horizontais;
 - b. Instalação dos geodrenos Ø50 mm e da respetiva ponteira Ø75 mm e posterior tamponamento dos tubos de drenagem;
 - c. Aplicação da primeira camada de betão projetado com 5 cm de espessura (5 cm)
 - d. Instalação e fixação da rede eletrosoldada, tipo malhasol AQ50
 - e. Furação do maciço para execução das pregagens, com Ø de furação de 112 mm;

- f. Colocação e selagem dos varões de aço (incluindo centralizadores) em calda de cimento e reinjeção por multiválvulas. As pregagens deverão ter um tratamento anti corrosão, com recurso a galvanização do varão;
 - g. Colocação da armadura de reforço, placa de fixação galvanizada e respetiva porca de aperto;
 - h. Aplicação da segunda camada de betão projetado com 5 cm de espessura (10 cm).
 - i. Instalação e fixação da rede eletrosoldada, tipo malhasol AQ50;
 - j. Execução da 3.^a e 4.^a camada de betão projetado com 5 cm de espessura (20 cm);
 - k. Remoção do tamponamento dos tubos de drenagem;
6. Repetição dos passos 3, 4 e 5 até ser atingida a cota de fundo de escavação;
7. Execução dos restantes trabalhos associados à plataforma de via prevista no pé de talude;
8. Proceder à limpeza de todos os resíduos resultantes das tarefas executadas através de recolha manual ou mecânica. Os resíduos de acordo com a sua tipologia deverão ser armazenados separada e convenientemente até ao seu envio para destino final adequado.

Refere-se que esta ordem de trabalhos poderá vir a ser adaptada em fase de obra caso as condições de trabalho existentes assim o permitam, devendo em todo o caso, o empreiteiro apresentar à apreciação do Dono de Obra, as alterações previstas.



LEGENDA

PLANTA

- Eixo de Projeto
- Eixo de Representação de Perfil Longitudinal
- Saia de Escavação
- Saia de Aterro
- Viaduto / Ponte
- Túnel
- Caminho de Serviço
- Acesso de Emergência ao Túnel
- Muro de Contenção
- Indicador de Limite de Resguardo (ILR)
- Polygonal de Apoio

GERAL

- Passagem Hidráulica
- Passagem Superior / Inferior
- Ponte / Viaduto
- PUEC
- Muro
- Caminho Paralelo / Serviço

PERFIL LONGITUDINAL

- Rasante de projeto
- Terreno
- Marco Quilométrico / Hectométrico de projeto
- Passagem Superior (PS)
- Passagem Inferior / Passagem Agrícola (PI / PA)
- Viaduto / Ponte
- Túnel
- Plataforma De Passageiros PUEC
- Estrada
- Aparelho De Mudança De Via
- Linha
- Indicador De Limite De Resguardo
- Curva

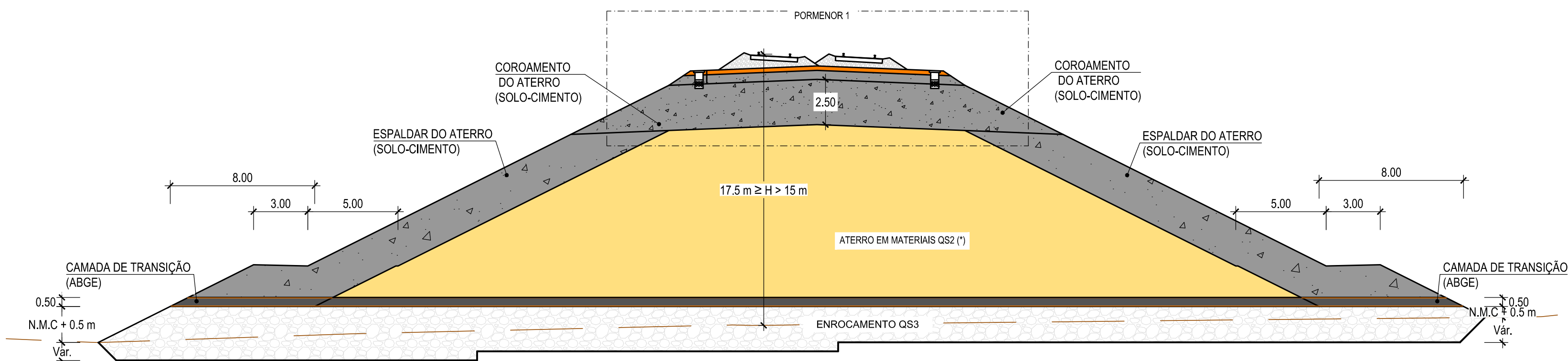
LEGENDA:

SIMBOLOGIA

- Aterro reforçado - Secção Tipo 1 (ST1)
- Aterro reforçado - Secção Tipo 2 (ST2)

PERFIL TIPO ST1

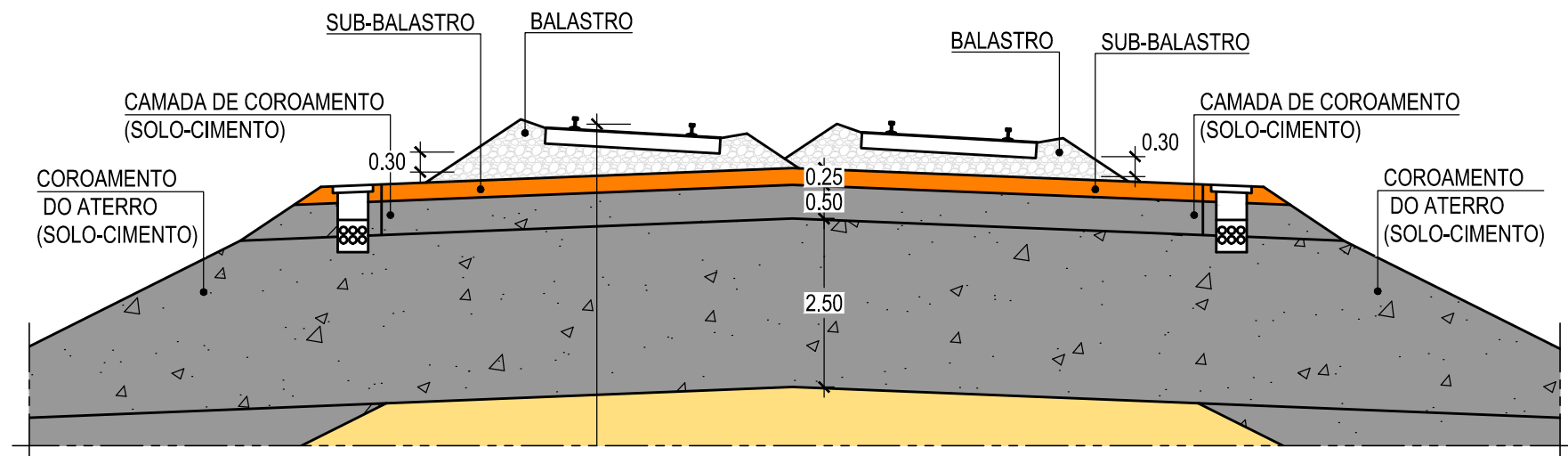
Esc. 1:200



NOTA (*): CASO EXISTA INDISPONIBILIDADE DE MATERIAIS COM CARACTERÍSTICAS QS2, PODERÃO APLICAR-SE MATERIAIS QS1 DESDE QUE POSSUAM CBR ≥ 10 %.

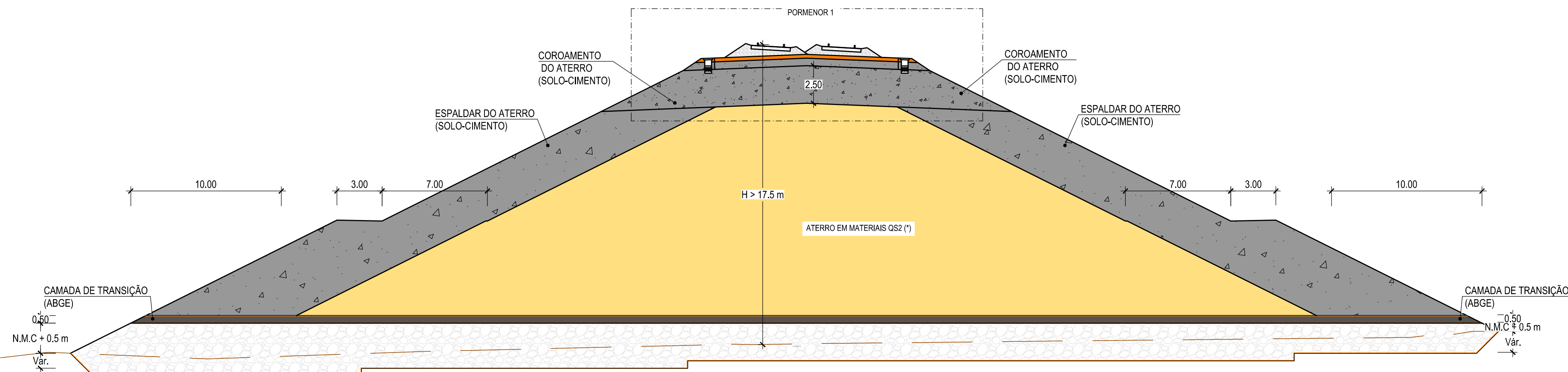
PORMENOR 1

Esc. 1:100



PERFIL TIPO ST2

Esc. 1:200



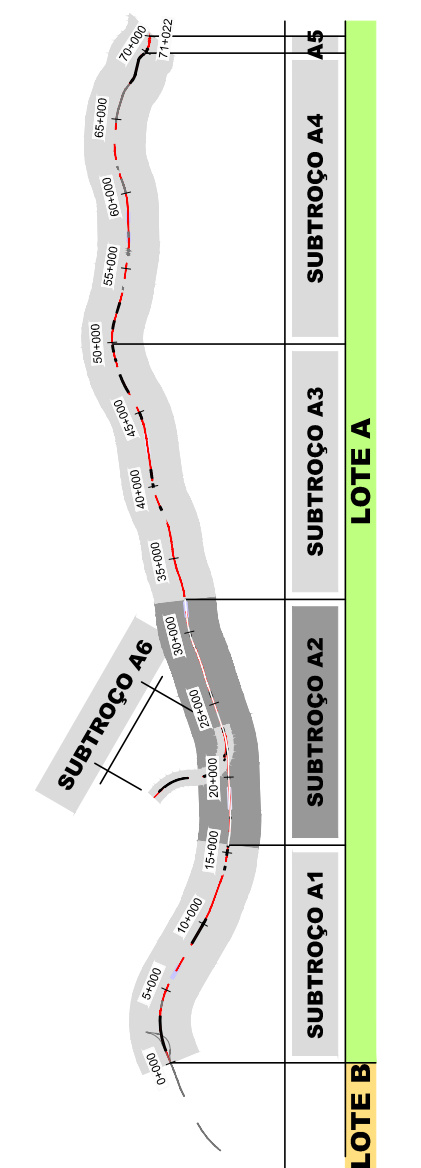
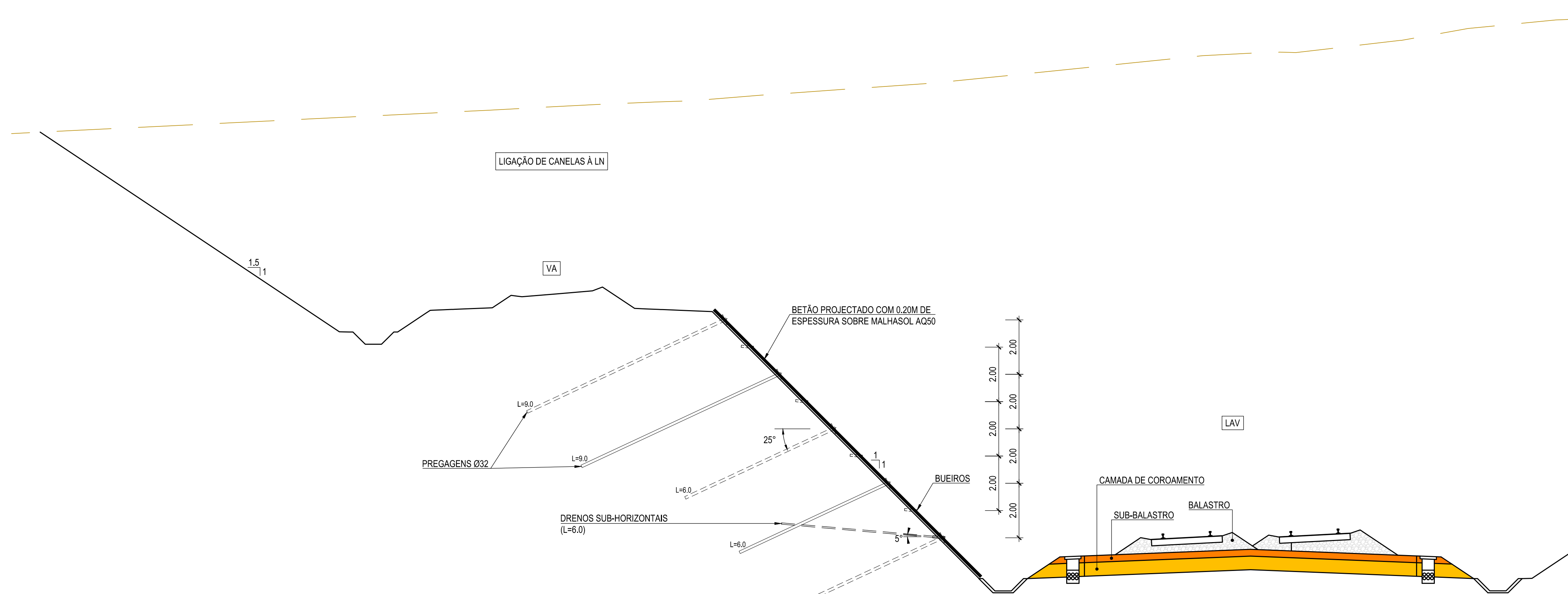
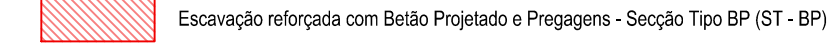
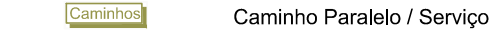
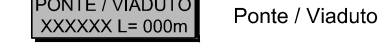
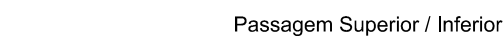
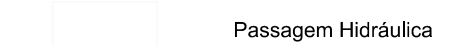
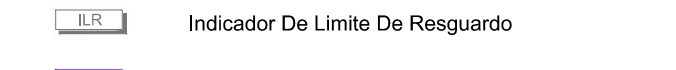
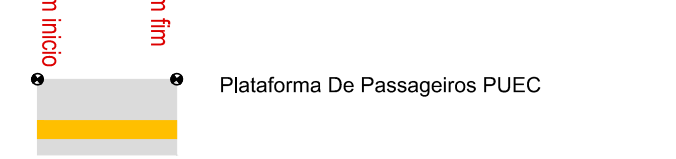
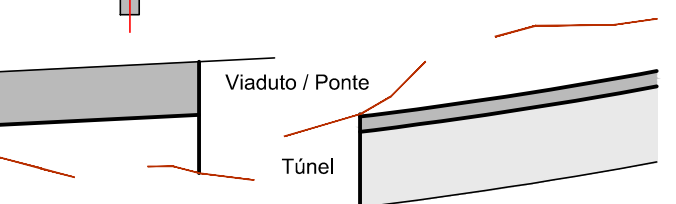
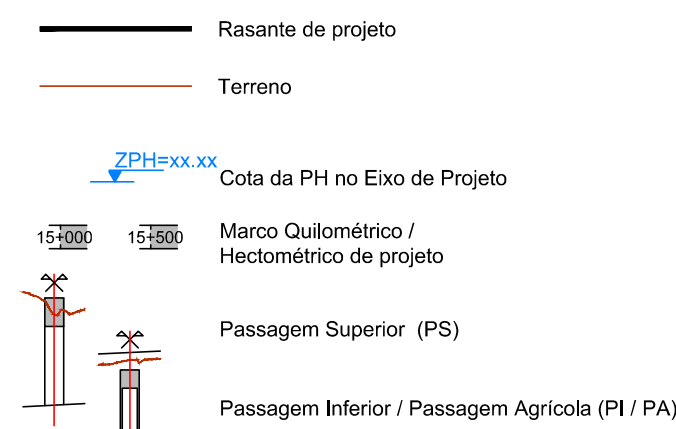
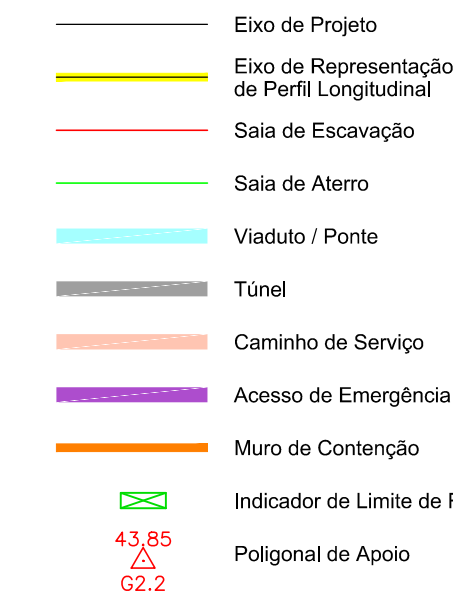
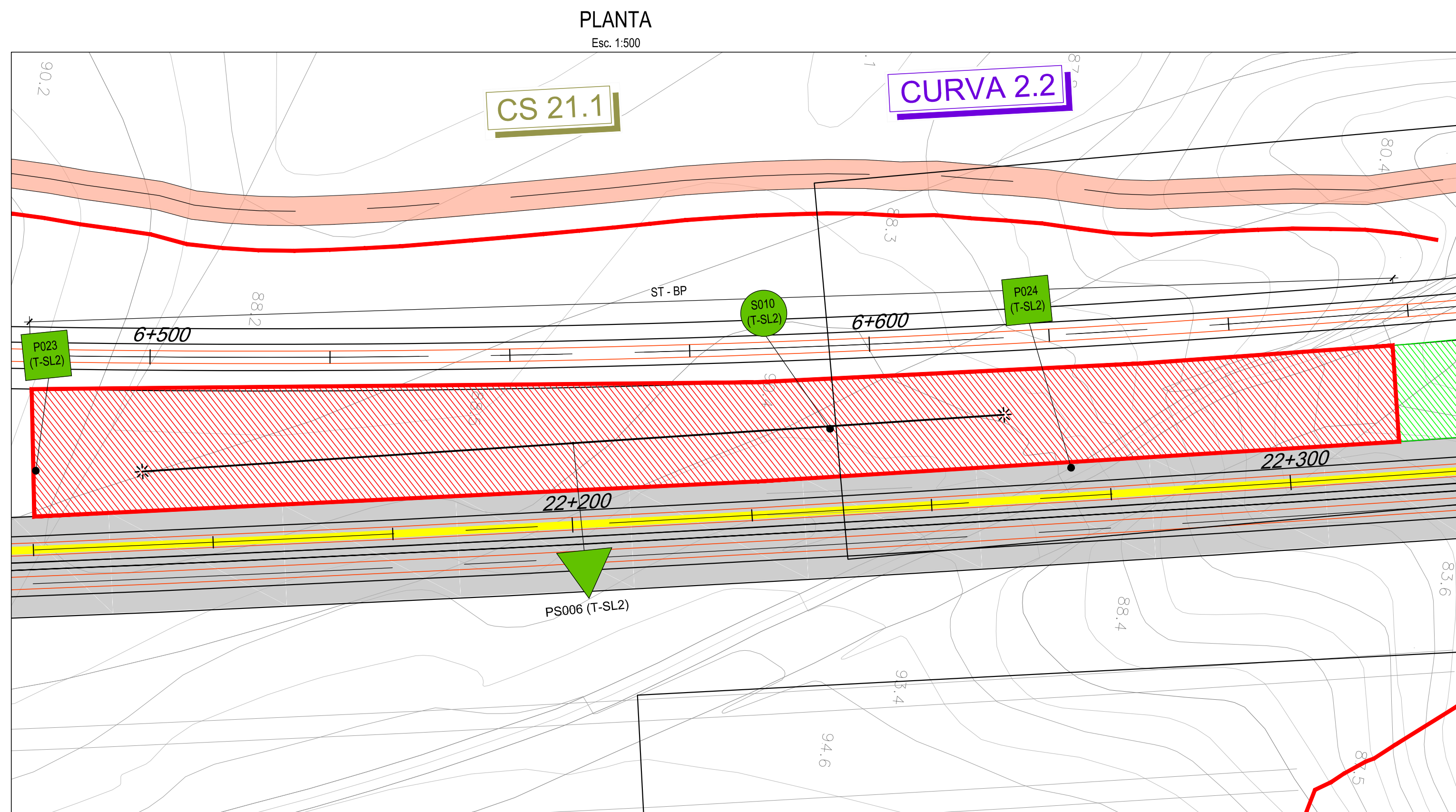
NOTA (*): CASO EXISTA INDISPONIBILIDADE DE MATERIAIS COM CARACTERÍSTICAS QS2, PODERÃO APLICAR-SE MATERIAIS QS1 DESDE QUE POSSUAM CBR ≥ 10 %.

SISTEMA DE REFERÊNCIA

PT-TM06 / ETRS 89

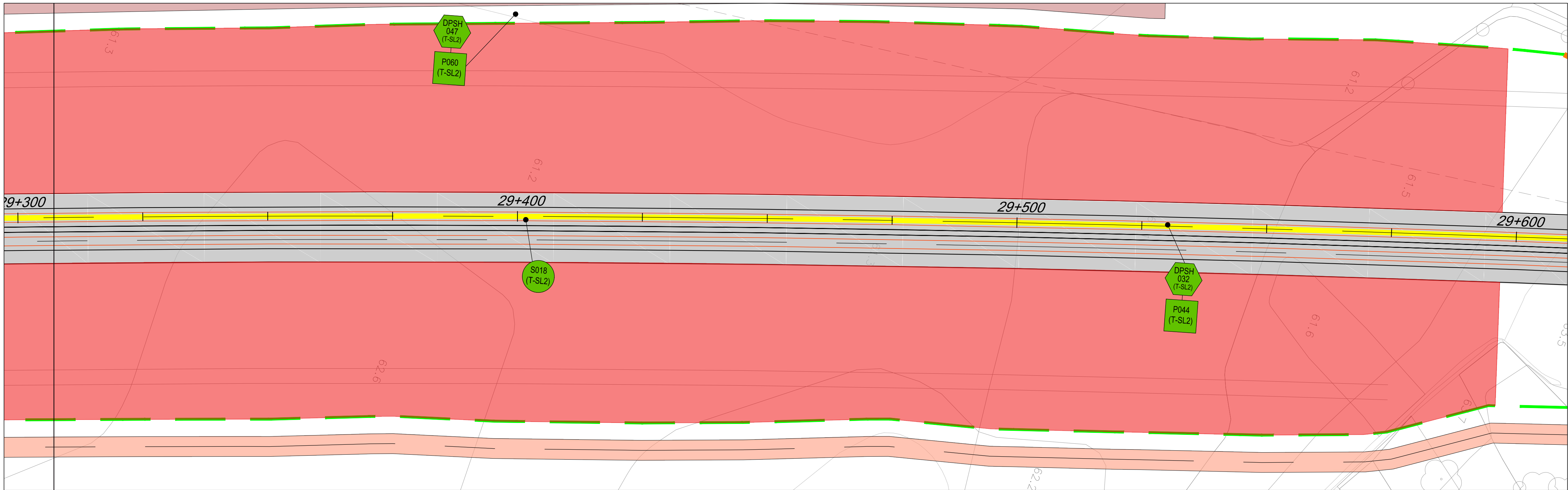
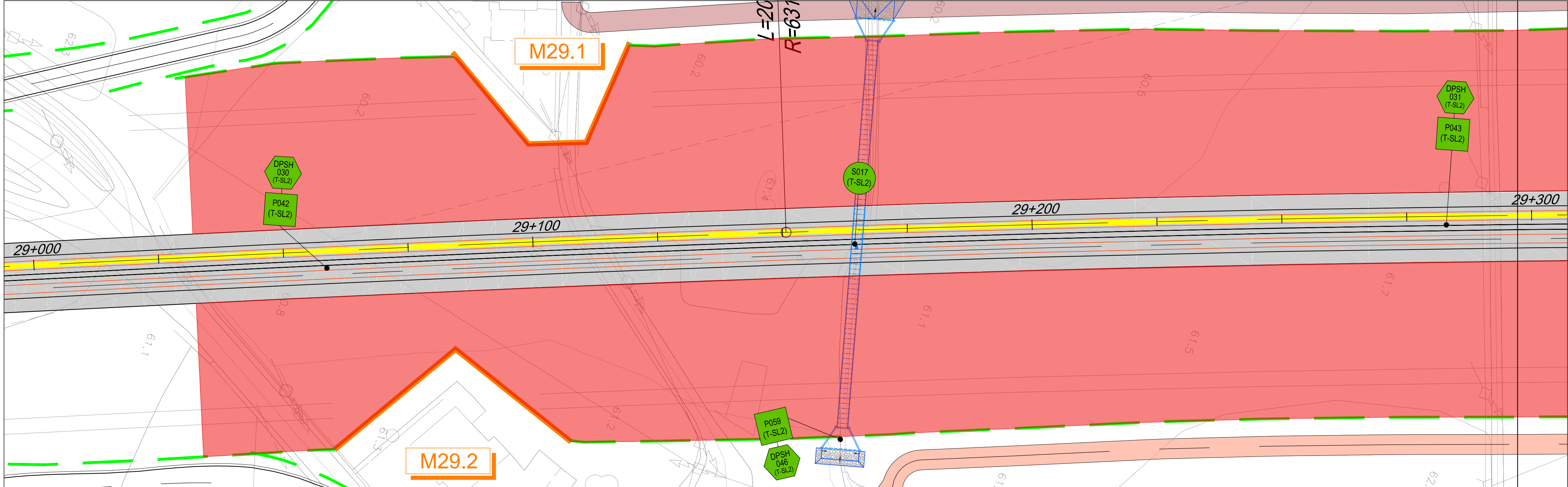
Cofinanciado pela União Europeia





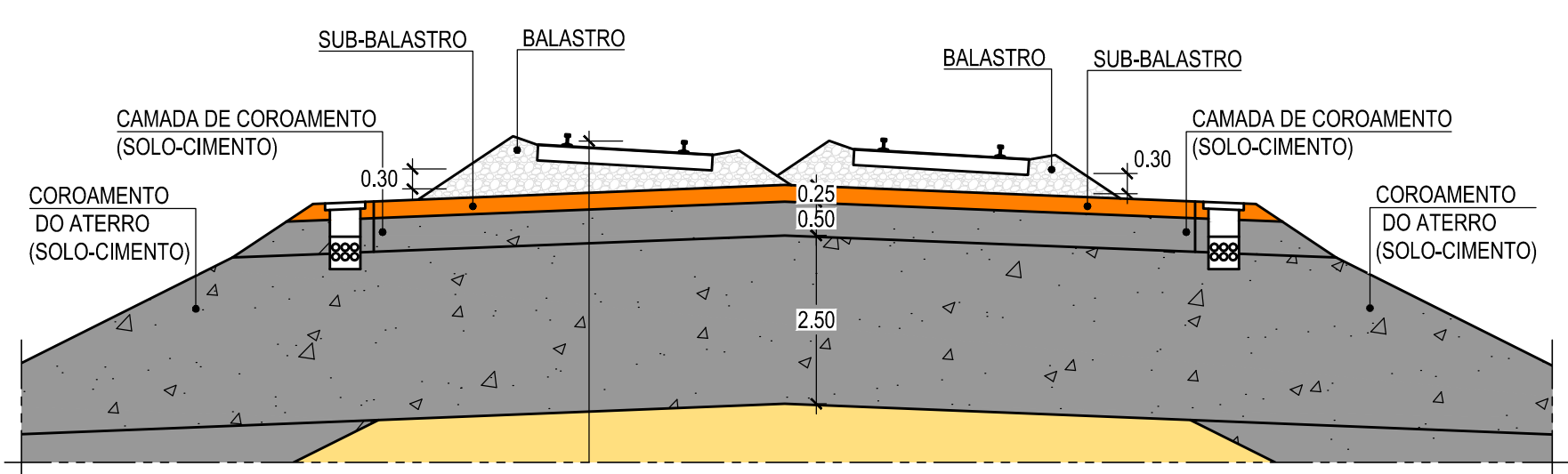
PLANTA

Esc. 1:500



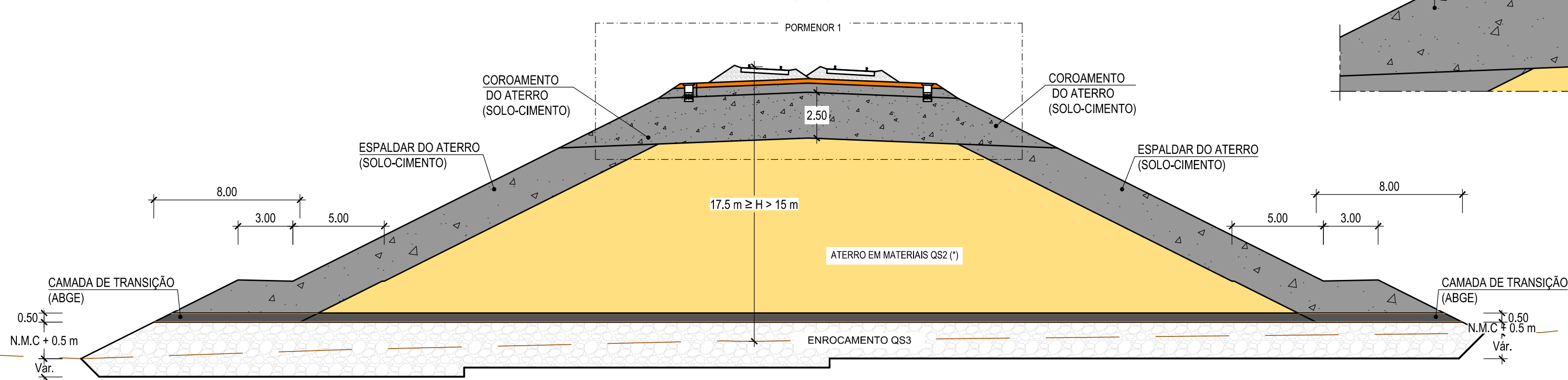
PORMENOR 1

Esc. 1:100



PERFIL TIPO ST1

Esc. 1:200



LEGENDA

PLANTA

- Eixo de Projeto
- Eixo de Representação de Perfil Longitudinal
- Saia de Escavação
- Saia de Aterro
- Viaduto / Ponte
- Túnel
- Caminho de Serviço
- Acesso de Emergência ao Túnel
- Muro de Contenção
- Indicador de Limite de Resguardo (ILR)
- Poligonal de Apoio

GERAL

- Passagem Hidráulica
- Passagem Superior / Inferior
- Ponte / Viaduto
- PUEC
- Muro
- Caminho Paralelo / Serviço

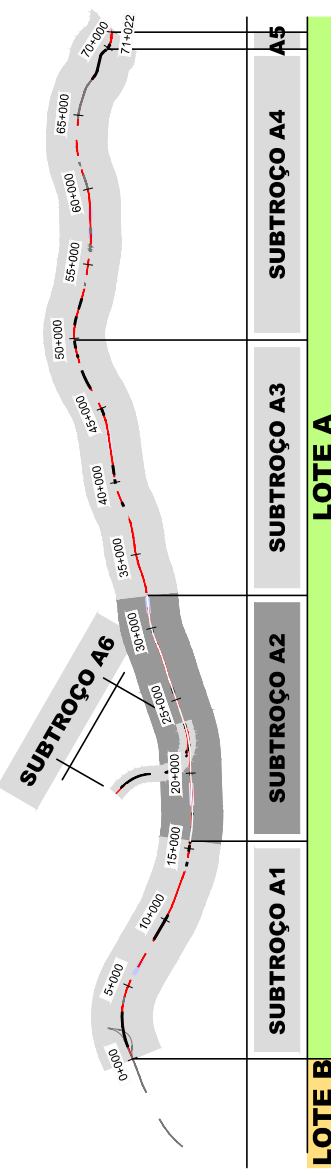
PERFIL LONGITUDINAL

- Rasante de projeto
- Terreno
- Colta da PH no Eixo de Projeto
- Marco Quilométrico / Hectométrico de projeto
- Passagem Superior (PS)
- Passagem Inferior / Passagem Agrícola (PI / PA)
- Viaduto / Ponte
- Túnel
- Plataforma De Passageiros PUEC
- EN Estrada
- AMV Aparelho De Mudança De Via
- LINHA Linha
- ILR Indicador De Limite De Resguardo
- CURVA Curva

LEGENDA:

SIMBOLOGIA

- Aterro reforçado - Seção Tipo 1 (ST1)
- Aterro reforçado - Seção Tipo 2 (ST2)



SISTEMA DE REFERÊNCIA

PT-TM06 / ETRS 89

Cofinanciado pela União Europeia



Esc. 1:500



PLANTA

- ## PERFIL LONGITUDINAL

-

- EN Estrada

- AMV Aparelho De Mudança De Via

- Linha**

- 1000

- Indicador De Limite De Resguardo

- CURVA Curva

- Passagem Hidráulica

- Ressegem Superior / Inferior

- © 2006 The Authors
Journal compilation © 2006 Blackwell Publishing Ltd

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| PONTE / VIADOTTO
XXXXXX L= 000m | Ponte / Viaduto |
|------------------------------------|-----------------|

- PUEC** **PUEC**

- MURO** Muro

- Caminho Paralelo / Serviço

LEGENDA:

SIMBOLOGIA

- Aterro reforçado - Seção Tipo 1 (ST1)

- _____

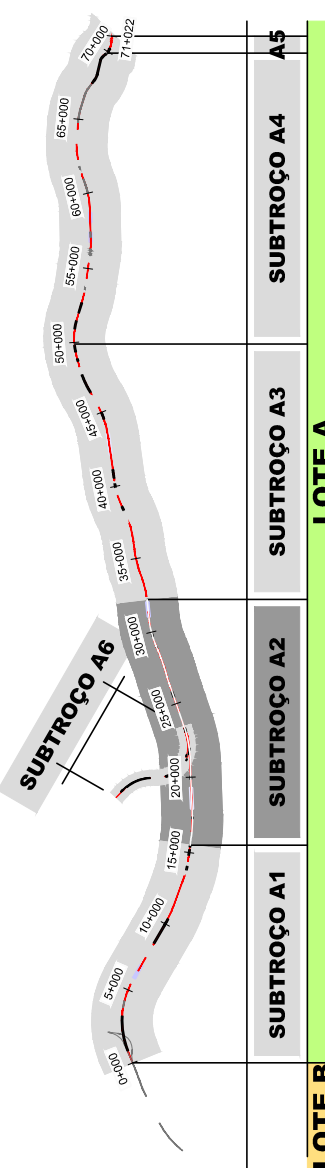
Esc. 1:200



Esc. 1:200



Esc: 1-100



SISTEMA DE REFERÊNCIA

PT-TM06 / ETRS 89



						 	
							
						Código Projeto	
						PF 102AZ.PR.01.03.00.00.101.0A 105.00 DWG	
00	14.08.2025	Edição Inicial		E. M. Fernandes		Planos Projeto: Márcio Faria/Teresa Santos Execução: Pedro Bibo Eduardo M. Fernandes	
Rev.	Data	Descrição		Reconstrução		Código Desenho PF 102AZ.PR.01.03.00.00.105.00 N° Fichas: 047	
		O Gestor do Projeto		Projeto		Código Desenho	
		-		LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA		PF 102AZ.PR.01.03.00.00.105.00	
		O Responsável Unidade		Unidade		-	
		-		TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OÜA - SUBTROÇO AZ - KM 15-500 AO			