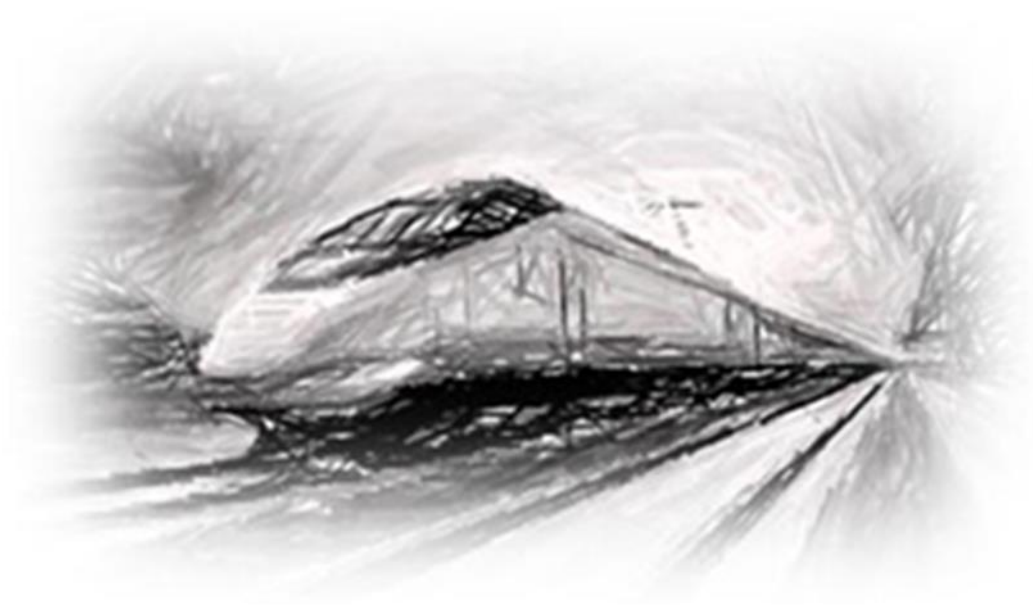


**LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE
PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA
TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
SUBTROÇO A4 – KM 49+900 AO KM 69+589**



**PROJECTO DE EXECUÇÃO
V02 – INFRAESTRUTURA DE OBRAS DE ARTE (VIA-FÉRREA)
Tomo 02.01.00.501 – P 50.1 - PONTE SOBRE A RIBª SRª DE LAMAS**

Memória Descritiva e Justificativa

Controlo de Assinaturas

Realizado	Revisto	Aprovado Coordenador Projeto
Victor Barata João Henriques	João Henriques	Victor Barata
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 PF102A4.PR.02.01.00.501.MDJ.01	
O Responsável Unidade -	Revisão 01	Data 30-04-2026
O Responsável Departamento -	Código Projetista 2023-025	
O Diretor -	Nome do Ficheiro PF102A4.PR.02.01.00.501.MDJ.01	

Registo de Alterações

Rev	Data	Autor	Secção Afetada	Alterações
00	14-08-2025	Victor Barata João Henriques	Edição inicial	-----
01	30-04-2026	Victor Barata João Henriques	Revisão Geral	-----

LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA**TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ****SUBTROÇO A4 – KM 49+900 AO KM 69+589****PROJECTO DE EXECUÇÃO****V02 – INFRAESTRUTURA DE OBRAS DE ARTE (VIA-FÉRREA)****TOMO 02.01.00.501 – P 50.1 - PONTE SOBRE A RIB^a SR^a DE LAMAS****MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA****ÍNDICE**

1	INTRODUÇÃO	1
2	CONDICIONAMENTOS	2
2.1	Topográficos	2
2.2	Ferrovíarios	2
2.3	Rodoviários	3
2.4	Ambientais	3
2.5	Geológicos e Geotécnicos	4
2.6	Serviços Afetados	8
2.7	Construtivos	8
2.8	Segurança e Saúde	9
3	SOLUÇÃO ESTRUTURAL	10
3.1	Conceção Geral	10
3.2	Pilares	13
3.3	Encontros	13
3.4	Equipamentos	13
4	DRENAGEM	14
5	RETORNO DE CORRENTES DE TRAÇÃO, TERRAS E PROTEÇÕES	15
6	MATERIAIS E DURABILIDADE	16
7	PROCESSOS CONSTRUTIVOS	18
8	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	20
8.1	Regulamentos e Normas	20
8.2	Ações	20

8.3	Combinações de Ações	21
8.4	Métodos de Dimensionamento	21
8.5	Critérios de Verificação da Segurança	22
8.5.1	Aspetos Gerais	22
8.5.2	Estados Limites de Utilização	22
8.5.3	Estados Limites Últimos	23
8.5.4	Interação Via-Estrutura	23
8.5.5	Efeitos Dinâmicos	24
8.5.6	Segurança na Fase Construtiva	24
8.5.7	Segurança dos Encontros	24
8.5.8	Segurança das Fundações	24
9	INSPEÇÃO, MONITORIZAÇÃO E MANUTENÇÃO	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Antevisão	1
Figura 2 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Corte longitudinal	6
Figura 3 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Corte longitudinal	10
Figura 4 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Planta	11
Figura 5 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Secção transversal da superestrutura em arco	12
Figura 6 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Secção transversal do tabuleiro em viga-caixão	12

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Características dos betões	16
Quadro 2 – Características dos aços	17

1 INTRODUÇÃO

A Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas situa-se entre os kms 50+518.8 e 51+385.0 do Trecho Aveiro (Oiã) / Porto (Campanhã) da Linha Ferroviária de Alta Velocidade entre Porto e Lisboa. O viaduto assegura a transposição da autoestrada A29 e da Ribeira de Lamas, que confere o nome à obra.

Trata-se de uma ponte composta por duas estruturas distintas: um arco atirantado em aço de 132 m de vão e uma viga contínua em duplo caixão de BAPE com vigas pré-fabricadas em vãos correntes de 35 m, numa extensão total de 566.0 m.

Ambas as estruturas dispõem de dispositivos de amortecimento histerético para efeitos de bloqueamento às acções de frenagem e arranque e de dissipação de energia face à acção sísmica.

Existem aparelhos de dilatação de via (AD) sobre o pilar P1.



Figura 1 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Antevisão

Nos pontos seguintes referem-se os condicionamentos e critérios de verificação da segurança que conduzem às soluções propostas, as quais são descritas nesta Memória.

2 CONDICIONAMENTOS

2.1 TOPOGRÁFICOS

A implantação e modelação de vãos das pontes e viadutos dependem sobretudo da topografia e orografia da zona atravessada pela solução de traçado. As pontes e viadutos são adotados no atravessamento de zonas em que se procure minimizar o impacto ambiental, no atravessamento de leitos de rios e ribeiras importantes, de grandes vales ou ainda na transposição de vias existentes.

Na zona do atravessamento da A29, a topografia caracteriza-se como ligeiramente acidentada, estando a A29/IC1 situada na encosta, parcialmente em perfil de escavação e também em aterro.

A restante topografia apresenta-se com declives pouco significativos, exequptuando-se a proximidade à ribeira Sra. de Lamas, onde o leito da ribeira se desenvolve.

2.2 FERROVIÁRIOS

A obra desenvolve-se em estrita concordância com o projeto ferroviário, isto é, em planta apresenta-se com uma directriz em curva circular $R = 4550$ m e, em perfil longitudinal está em trainel descendente de $i=14\%$, até ao Pk 51+081.414 a que se segue uma curva concava de $R_v = 32000$ m até ao Pk 51+305.375, finalizando em trainel descendente de 7% .

A rasante sobre a A29 encontra-se a uma altura de cerca de 9 m, sendo que os encontros apresentam altura de cerca de 10.0 m.

Sobre a ribeira Sra. de Lamas o desnível da rasante em relação ao solo atinge o seu valor máximo que é de cerca de 35 m.

O tabuleiro integra uma via dupla balastrada, com bitola de 1668 mm, travessa em betão monobloco polivalente e carril longo soldado interrompido por AD em um alinhamento, com a plataforma definida por:

Distância entre vias	4.70 m;
Distância de segurança entre o eixo da via e o muro guarda-balastro	2.20 m;
Passadiço, incorporando guardas	2.45 m.

Resultando uma largura total da plataforma de 14.00 m.

Assim, as seções estruturais comportam a via ferroviária bem como a estrutura da própria catenária. O balastro será contido lateralmente por dois muretes em betão armado e tem uma espessura mínima de 0.30 m. Nas consolas de cada lado do tabuleiro existem ainda caleiras de cabos contínuas com 0.50 m de largura e 0.25 m de altura mínima, com tampas amovíveis, e passadiços. Cumulativamente está prevista em ambos os passeios a colocação e fixação de postes de catenária através de base aparafusada e incluindo uma base de reserva. Nas extremidades das consolas dos passeios existem vigas de bordadura nas quais se apoiam os guarda-corpos metálicos.

O tabuleiro é dotado de passadiços para evacuação lateral e para assegurar a manutenção, com largura mínima útil de 0.85 m em largura total mínima 2.00 m. Estes passadiços são dotados de

guarda-corpos com altura de 1.10 m ao pavimento dispostos de modo a não permitir a queda de pessoas e objetos.

A variação de rigidez entre a superestrutura apoiada em obra de arte e em aterro é um dos pontos chave para a adequada exploração e conservação da via-férrea. Assim, são previstos blocos técnicos constituídos por cunhas de aterro técnico de transição de rigidez até ao aterro corrente da via, os quais são apresentados em volume específico.

2.3 RODOVIÁRIOS

Conforme referido, esta estrutura assegura a transposição da A29, tendo-se obtido junto da Concessionária Ascendi, S.A., o futuro perfil transversal tipo resultante do alargamento de duas para três vias em cada sentido, ao qual foi adicionado largura no separador central para efeitos de estabelecimento dos fustes do pilar incluindo a protecção através de dois ½ “New-Jersey”.

A modulação de vãos adotada, respeita as cérceas horizontais e verticais exigidas pela Concessionária para este tipo de estrada:

Cérceas verticais (H):

- Sobre Autoestradas $H \geq 6.00$ m.

Cérceas horizontais mínimas:

- Sobre vias rodoviárias: distância mínima entre o limite exterior da plataforma rodoviária e o pilar ≥ 1.20 m.

2.4 AMBIENTAIS

As condicionantes ambientais fundamentais para o desenvolvimento do estudo dizem respeito às recomendações decorrentes do processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) a que o projeto do Lote A foi sujeito, tendo sido emitida, a 21 de agosto de 2023, a Declaração de Impacte Ambiental (DIA), favorável condicionada.

Assim, de modo a dar seguimento ao referido nas “Condicionantes para Projeto de Execução” constantes da DIA, as soluções estruturais adotadas bem como os respetivos processos construtivos foram orientadas pela necessidade de observar os condicionamentos ambientais e paisagísticos.

Foi dada especial atenção ao enquadramento e integração paisagística da obra de arte, para esbater, minimizar e compensar significativamente os seus eventuais impactes negativos.

Os principais condicionamentos ambientais para a Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas, estão associados à travessia da A29 e à ribeira Sra. de Lamas.

No caso da A29 torna-se necessário ter em conta o alargamento de duas para três vias da autoestrada, aspeto fundamental para determinar o vão a estabelecer sobre a A29. Por outro lado, estes condicionamentos determinam a localização dos pilares e encontros.

Durante a montagem da estrutura metálica da travessia da A29 serão tomados os cuidados necessários para minimizar a afetação das zonas adjacentes, recorrendo a processos construtivos que minimizem a ocupação do solo envolvente.

O restante tabuleiro em BAPE materializado através de vigas pré-fabricadas realizadas em estaleiro fora da OAE, ou seja, por um processo quase não-impactante com o ambiente.

Em todo o caso, de forma a reduzir os impactes ambientais decorrentes da construção da obra de arte, foram também considerados na conceção, os condicionamentos ambientais para assegurar a gestão dos resíduos resultantes dos trabalhos de construção.

Dada a localização da Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas, será necessário reduzir ao máximo ou mesmo impedir os riscos de contaminação da água do rio e das margens, resultantes das obras de construção a realizar.

No final da construção, será reposta a zona envolvente de forma semelhante às condições existentes antes da construção de acordo com o constante no volume específico de Integração Paisagística.

2.5 GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Ao nível da caracterização geológica-geotécnica dos terrenos interessados pela Ponte sobre a Ribeira Sr.^a de Lamas, existem disponíveis o seguinte conjunto de trabalhos de prospeção, realizados em diversas fases dos estudos, a saber, em 2005, 2006, 2007, 2011 e 2023-24 e para a fase atual do projeto (2025-2026):

- Das fases anteriores dos estudos:
 - Sondagens S045A-23, S046A-23, S047A-23 e S316, acompanhadas da realização sistemática de ensaios SPT cada 1,5m, em solos e rochas brandas;
 - Penetrómetros dinâmicos super-pesados DPSH026A-23 e DPSH027A-23.
- Na fase atual dos estudos:
 - 11 sondagens mecânica à rotação, como carotagem contínua, acompanhadas da execução sistemáticas de ensaios SPT em solos e rochas brandas, da realização pontual de ensaios de absorção de água do tipo Lugeon, da medição dos níveis de água estabilizados no final da escavação e ainda da instalação de piezómetros simples, de tubo aberto, do tipo Casagrande.

A ponte desenvolve-se sobre o vale da Ribeira de Sr.^a de Lamas, que foi escavado por esta linha de água em terrenos metamórficos pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico Ante-Ordovícico (Xyz), no qual se distinguem lado a lado gnaisses graníticos, migmatitos grauvaques e micaxistos, mostrando, pois, uma fusão apenas parcial (anatexia) de rochas preexistentes sob elevadas pressões e temperaturas. As rochas mais antigas (paleossoma) são representadas pelas camadas de composição xisto.grauváquica. As rochas mais recentes (neossoma), correspondem ao material granítico que se intruiu nas rochas mais antigas.

Esta ribeira, embora atualmente de fraco débito e correndo num canal cuja largura em pouco ultrapassa os 5,0m, foi outrora vigorosa, tendo criado uma planície aluvionar extensa, cuja largura atinge cerca de 175m, entre os Km's 51+060 e 51+235.

Os trabalhos de prospeção disponíveis deram conta, na secção de travessia da presença, para além dos terrenos do substrato antigo (Xyz) de base, de aluviões quaternárias (a) que ocupam o leito menor

e zonas marginais da ribeira na sua margem direita (norte), de depósitos de aterros (At) na plataforma da A29 e de outros que foram colocados sobre as aluviões, provavelmente para aumentar a traficabilidade daqueles terrenos de baixa resistência e ainda de retalhos de depósitos de terraço fluvial (Q).

Os aterros (at), que constituem a plataforma da A29 e se estendem desde o encontro E1 até praticamente à margem da ribeira, têm espessura muito variável, como também variáveis são as suas características resistentes. Já aqueles dispostos sobre as aluviões têm espessuras entre os 3 e 5,5m e são medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$).

As aluviões da ribeira foram intersetadas pelas sondagens S07 P50.1, S08 P50.1, S09 P50.1 e S318 e ainda pelo ensaio DPSH026A-23, até profundidades compreendidas entre 3,0 e 12,0 m, nas zonas marginais e leito menor/canal atual da ribeira. De acordo com as sondagens, estas são formadas por siltes e argilas arenosas com seixos rolados e angulosos, em geral de cores escuras. Os ensaios SPT efetuados indicam que as aluviões apresentam consistência mole a muito dura (N_{SPT} de 2 a 27 pancadas).

O substrato xisto-grauváquico reconhecido pelas sondagens apresenta-se muito degradado, a que não é alheia certamente a intensa atividade tectónica experimentada, acompanhada de alteração hidrotermal devido a metamorfismo. É caracterizado, pois, pela presença de micaxistos, grauvaques migmatitos e granitos caulíníticos, muito afetados de alteração, com o predomínio dos solos residuais (W6 – ISRM, 1981) e do maciço decomposto (W5), com evolução não muito linear em profundidade para um maciço rochoso de melhor qualidade geotécnica de base, que as sondagens realizadas reconheceram até às profundidades reconhecidas, com qualidade geotécnica variável entre o pouco alterado (W2) nos casos de menor alteração e o muito alterado (W4), nos casos de maior alteração.

Na zona da travessia da A29, entre os encontros E1 e Pilar P1 (“exclusive”), reconhecida pelas sondagens S045A-23 e S01 P50.1, o manto de alteração do substrato é francamente desenvolvido com o predomínio dos solos residuais (W6) medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$) e do maciço decomposto (W5), em geral muito compacto ($N_{SPT} \geq 60$), encontrando-se o maciço rochoso a profundidades compreendidas entre os 26m na zona do encontro e 15 na proximidade do pilar P1.

Na zona dos pilares P1 e P2, reconhecida pelas sondagens S03 P50.1 e S04 P50.1, o teto do maciço rochoso sobre substancialmente, em contraste com o setor sul da travessia da A29, ocorrendo a profundidades variáveis entre os 11,0 e os 1,5m e com boa a excelente qualidade geotécnica (W3 a W2).

À medida que se caminha para o fundo do vale, conforme foi reconhecido pelas sondagens S05 P50.1 a S09 P50.1 e ensaio DPSH026A-23, o teto do maciço francamente rochoso vai descendo gradualmente, ocorrendo às profundidades entre 16,5m, 9,0m, 14,0m, 15,0m e 12,0m, sendo que a teto deste se encontram solos residuais (W6) medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$) e o maciço decomposto medianamente a muito compacto ($N_{SPT} = 30-60$) e, na zona do leito maior e menor da ribeira, reconhecido, em particular pelas sondagens S07 P50.1 a S09 P50.1 e ensaio DPSH026A-23, os depósitos aluvionares e retalhos de terraços, com espessuras máximas reconhecidas de 12,0m, que correspondem a solos de muito baixa a baixa resistência ($N_{SPT} = 2$ a 27, mas mais frequentemente na gama de 2-15 pancadas).

A vertente da margem direita (norte), entre os Pilares P10 e o encontro E2 encontra-se francamente degradada, ocorrendo o maciço com características rochosas apenas abaixo dos 25,5m de profundidade.

Acima, observa-se uma grande profusão de solos residuais de natureza essencialmente granítica, e por isso, com frequentes passagens de caulinite decorrente de hidrotermalismo, que determinam muito baixas resistências mecânicas até elevadas profundidades, conforme atestam os ensaios SPT realizados, que mostraram penetrações no ensaios SPT para estes solos residuais, entre as 3 e 43 pancadas, com valor característico de 17 pancadas (solos muito soltos a compactos, em geral medianamente compactos), sendo que não existe uma relação biunívoca entre a profundidade e o aumento de resistência, como é tão característicos de maciços rochosos sujeitos a fenómenos de hidrotermalismo.

A imagem abaixo mostra o corte geológico e geotécnico longitudinal da obra, no qual se marcou os limites das formações geológicas atravessadas [aterros (At), aluviões e terraços (a+Q) e substrato do complexo xisto-grauváquico (Xyz)] e os limites no substrato que separam o domínio dos solos de baixa a média resistência ($NS_{PT} \leq 60$), os solos resistentes ($NS_{PT} \geq 60$) e o teto abaixo do qual se reconheceu o maciço rochoso, desde muito alterado a pouco alterado, com elevada capacidade resistente.

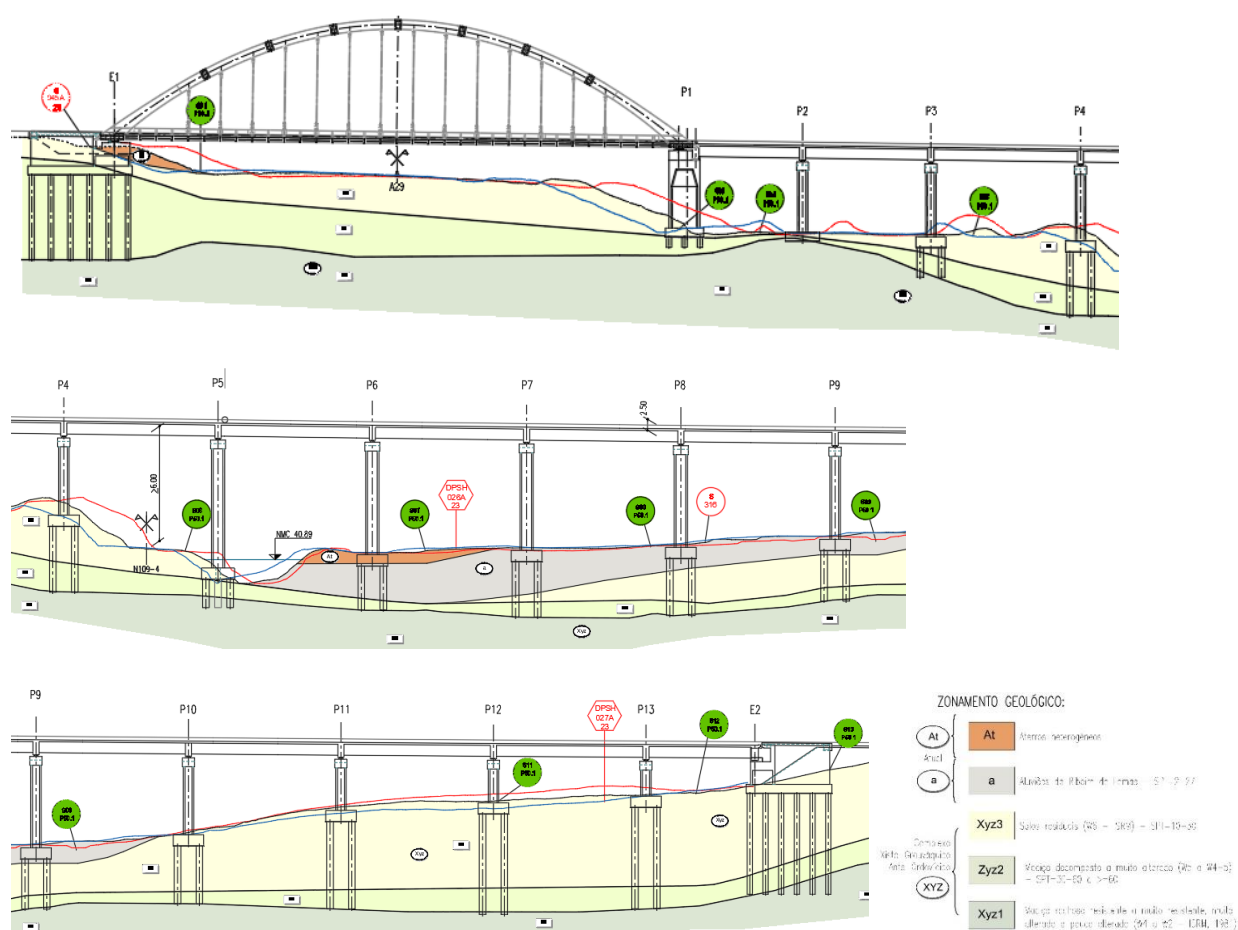


Figura 2 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Corte longitudinal

Os níveis de água no vale a atravessar pela obra, compreendido entre os Km's 51+100 e 51+235 e afetos aos apoios P6, P7, P8 e P9, são controlados pelo regime de caudais da ribeira. Na zona do leito menor e canal atual do rio, os níveis de água são superficiais, encontrando-se as aluviões saturadas e provavelmente também a franja mais descomprimida do substrato xisto-grauváquico residual. Nas zonas marginais os níveis de água encontram-se mais abaixo, mas ainda assim, perto da superfície.

Do ponto de vista hidrogeológico, as camadas aluvionares constituem um sistema multicamada, globalmente livre e produtivo com alimentação superficial direta devido à infiltração de águas das chuvas, por infiltração do excesso de irrigação e alimentação profunda devido a fenómenos de drenância entre as camadas. A presença de níveis francamente permeáveis produtivos intercalados com camadas de constituição mais fina e de baixa permeabilidade, potencia a ocorrência de fenómenos de artesianismo repuxante, que devem ser tidos em conta no dimensionamento e sobretudo no processo construtivo das fundações profundas dos apoios P6 a P9.

O substrato xisto-grauváquico, pelo menos na sua camada mais descomprimida, tem alguma capacidade de armazenamento e transmissão, prevendo-se que possa eventualmente ser sede de águas subterrâneas. Os níveis menos alterados profundos têm permeabilidade reduzida e consequentemente baixa transmissividade.

Tendo por base a análise de toda a informação geotécnica disponível, considera-se que o substrato do Complexo Xisto-Grauváquico (Xyz) de base constitui a litologia de referência para fundar a estrutura.

Deste modo, sempre que esta unidade ocorra de modo aflorante e que tenha características resistentes acima de uma profundidade máxima de 5-6m, consideram-se fundações diretas para os apoios da estrutura. Para os esforços previstos na base das sapatas, o nível de qualidade do maciço de referência para a fundação será os solos muito compactos ($N_{SPT} \geq 60$), ou de qualidade superior.

Está nesta situação de fundação direta, apenas o apoio P2.

Nos restantes apoios, a profundidade do maciço resistente, os esforços nas fundações e a presença de uma camada aluvionar possante e com a presença de níveis de água elevados, deverá considerar-se o recurso a fundações indiretas por estacas, garantindo o encastramento da ponta destes elementos de fundação no horizonte de maciço de solos muito compactos ($N_{SPT} \geq 60$) e eventualmente o teto rochoso.

As escavações para a implantação das sapatas de fundação direta e dos maciços de encabeçamento das estacas, poderão ser realizadas com o recurso a meios mecânicos convencionais do tipo lâmina, devendo prever-se o recurso pontual ao “ripper”, para o desmonte de núcleos rochosos mais resistentes.

As escavações fora das zonas do leito maior e menor/canal atual da ribeira serão a fazer-se ao abrigo de soluções correntes, com adoçamento da inclinação dos taludes provisórios.

No caso dos maciços de encabeçamento das estacas na zona do leito maior e menor (Pilares P 5 a P9), a escavação pressupõe a escavação de solos aluvionares de baixa resistência e saturados e de solos residuais de fraca resistência, provavelmente com afluências de água.

Nestas condições deverá prever-se a necessidade de dispor em obra de entivagens correntes, em complemento de soluções de estabilização de taludes provisórios que passam pelo grande adoçamento dos taludes provisórios. Recomenda-se que as inclinações destes taludes não adotem geometrias mais agressivas que 1(V):2(H).

Considera-se que também deverá ser previsto em obra material para a construção de eventuais sistemas de “dewatering”, do tipo “wellpoint” que poderão ser usados como medida de contingência ou como reforço das medidas de rebaixamento do nível de água convencionais. Como medidas de contingência recomenda-se, igualmente, a “stockagem” em obras, de sacos de areia, sacos de

cimento e materiais diversos para a construção de aterros ditos “estanques”, vulgo ensecadeiras, para o reforço no controlo das entradas de água.

2.6 SERVIÇOS AFETADOS

De acordo com a informação disponível, na zona de construção da obra de arte estão identificados os seguintes serviços que poderão ser afectados e cujo projectos de reposição constam nos projectos específicos:

Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas – km 50+518.8 / 51+385.0

Localização Pk (LAV)	Rede / infraestrutura	Entidade Concessionária
Infraestruturas de Abastecimento de Água		
AA-51+175-IND	PVC 90	INDAQUA, STA MARIA DA FEIRA
Infraestruturas de Saneamento de Águas Residuais		
AR-51+175-IND	Rede AR: PP CORRUGADO, DN200; CE AR: PVC, DN110	INDAQUA STA MARIA DA FEIRA

2.7 CONSTRUTIVOS

Os condicionamentos construtivos principais são os que resultam do atravessamento da A29 e da travessia da ribeira Sra. de Lamas.

Relativamente à A29 é preconizado método de colocação da estrutura por via cinemática. Relativamente à restante estrutura prevê-se a colocação de vigas pré-fabricadas sobre pilares e encontros sem necessidade de adopção de cavaletes ao solo, pelo que apenas há que garantir a adequada localização dos apoios.

As escavações a efetuar para execução das fundações dos maciços de estacas e fundações dos pilares e encontros poderão ser realizadas recorrendo a equipamentos tradicionais de terraplenagens do tipo lâmina, podendo alguns núcleos de rochas areníticas brandas mais consolidadas exigir o emprego do “ripper” de potência igual ao CATD8R acoplado ao equipamento de escavação.

As escavações provisórias associadas à abertura a uma grande parte dos caboucos para construção das sapatas e dos maciços das estacas, serão a realizar com inclinações de taludes compatíveis com a qualidade dos terrenos ocorrentes, admitindo-se geometrias de taludes da ordem de 1:1 a 1:1,5 (V:H) em terrenos mais coesivos, ou mais suaves de 1:2 (V:H), aquando da interseção nos níveis superiores da escavação de areias aluvionares com fraca coesão e com eventuais afluições de água, como aquelas expectáveis na fundação do pilar P10.

Os caboucos para realização dos maciços de estacas na baixa aluvionar da ribeira, sujeitos ao regime de caudais desta, como seja o maciço do apoio P5, serão executados, à partida, recorrendo a entivações provisórias.

Estas inclinações de princípio serão, ainda assim, aferidas em obra em função das condições locais, nomeadamente das características geotécnicas dos terrenos ocorrentes, da eventual existência de níveis freáticos e respetivas profundidades, das características topográficas e de ocupação de cada local, bem como de outras eventuais condicionantes.

Situações de instabilidade de taludes que não sejam resolúveis apenas com o adoçamento generalizado dos taludes, podem exigir a implementação de meios de estabilização provisórios como sejam a aplicação de betão projetado + drenos associados, ou não a malha eletrosoldada e eventualmente pregagens.

Nas escavações dos apoios, prevê-se a possibilidade das interferências das escavações com o nível da água, pelo que serão a assegurar as condições de drenagem que viabilizem o adequado escoamento dos caudais afluentes durante a escavação. O controle das águas afluentes, prevê-se que se faça com o recurso a bombagens sistemáticas adjuvado pela criação de tapete(s) drenante(s) em rachão capaz de coletar e encaminhar as águas para poços de chamada para sua posterior bombagem para o exterior da zona de escavação.

2.8 SEGURANÇA E SAÚDE

O estudo da obra de arte foi desenvolvido em estreita colaboração com o Coordenador de Segurança em Projeto, tendo sido prestadas todas as informações necessárias sobre os riscos associados à elaboração do projeto e construção da obra, para incorporação no Plano de Segurança e Saúde e na Compilação Técnica.

No estudo das soluções para a obra de arte foram incorporadas as diretivas do Coordenador de Segurança, nomeadamente, do ponto de vista de prevenção dos riscos, das soluções desenvolvidas, dos métodos e processos construtivos a utilizar em obra e dos condicionalismos associados à execução dos trabalhos.

3 SOLUÇÃO ESTRUTURAL

3.1 CONCEÇÃO GERAL

Este atravessamento da A29 e da ribeira Sra. de Lamas é constituído por duas estruturas distintas:

- Um arco atirantado com suspensão rígida vencendo um vão de 132 m na travessia da A29;
- e, uma estrutura em viga contínua constituída por uma secção transversal em dupla viga-caixão BAPE.

O arco atirantado com suspensão lateral apresenta-se parabólico com uma flecha de 26.4 m, em viga-caixão com altura de 2.25 m e largura de 1.80 m, alargando-se junto às nascenças para se interligar com a viga-tirante.

Esta apresenta-se, em geral, em perfil I reconstituído soldado com 2.75m de altura e cujos banzos têm 1.20 m de largura, transformando-se em caixão bi-celular na zona das nascenças estabelecendo continuidade entre as almas do arco e a alma da viga-tirante.

Os arcos suspendem as vigas-tirante e a plataforma do tabuleiro através de pendurais com sistema roscado para introdução das forças de tracção, transmitidas a grossas chapas soldadas aos arcos e às vigas-tirante.

Os arcos são contraventados superiormente por travessas ortogonalmente dispostas, em viga caixão, nos nós de ligação da treliça com o arco, assim se constituindo horizontalmente um sistema do tipo Vierendeel.

São rigidificados transversalmente por diafragmas no seu desenvolvimento por forma a evitar a distorção da secção e longitudinalmente por razões de encurvadura.

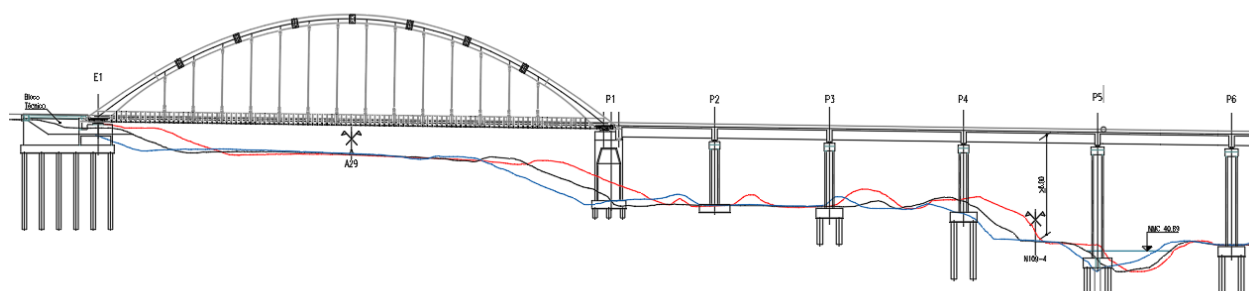


Figura 3 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Corte longitudinal

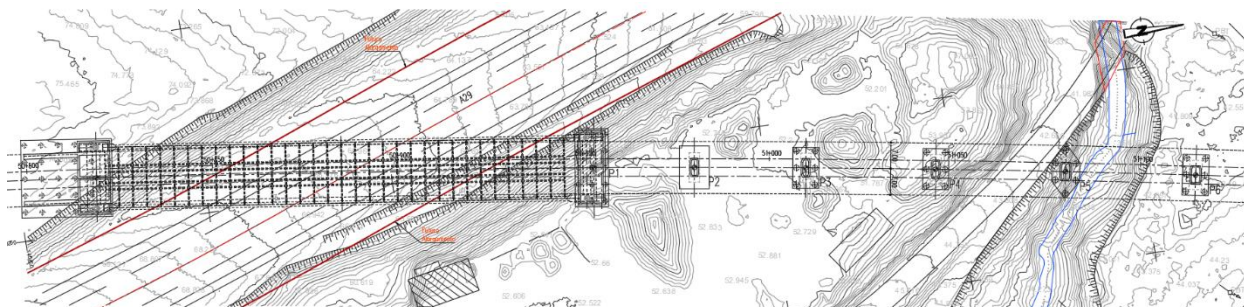


Figura 4 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Planta

As espessuras das chapas dos banzos e das almas das longarinas-tirante e dos arcos variam longitudinalmente em função dos critérios de resistência, de fadiga e de instabilidades locais.

Sob cada longarina dispõe-se de cada lado da secção de apoio, de reforços verticais para levantamento da superestrutura para efeitos de trabalhos de reparação ou de substituição de aparelhos de apoio.

Para efeitos de transmissão das cargas aos aparelhos de apoio, as nascenças dos arcos dispõem de reforços localizados.

Transversalmente, existem batentes de segurança nos alinhamentos dos eixos do encontro E1 e do pilar P1 e os correspondentes reforços sob as carlingas de extremidade.

Todas as ligações da estrutura metálica são soldadas.

A estrutura em viga continua em BAPE de vigas pré-fabricadas adjacente ao arco atirantado apresenta vãos correntes de 35 m.

As vigas pré-fabricadas têm a forma de U com almas inclinadas e com altura de 2.50 m, sobre as quais se estabelece laje de betão armado com uma espessura máxima ao centro do tabuleiro de 0.45 m e 14.0 m de largura.

Sobre cada pilar estabeleceu-se ligação de continuidade entre as vigas pré-fabricadas de vãos adjacentes através de betonagem de carlinga e com recurso a pré-esforço alojado na laje superior e em nicho da laje inferior.

Sob a carlinga no alinhamento do centro de cada viga U são dispostos os aparelhos de apoio sobre o pilar.

Em conclusão, a distribuição de vãos desta obra é a seguinte:

$$132\text{m} + (4.0) + 25 + 30 + 10 \times 35 + 25 \text{ m}$$

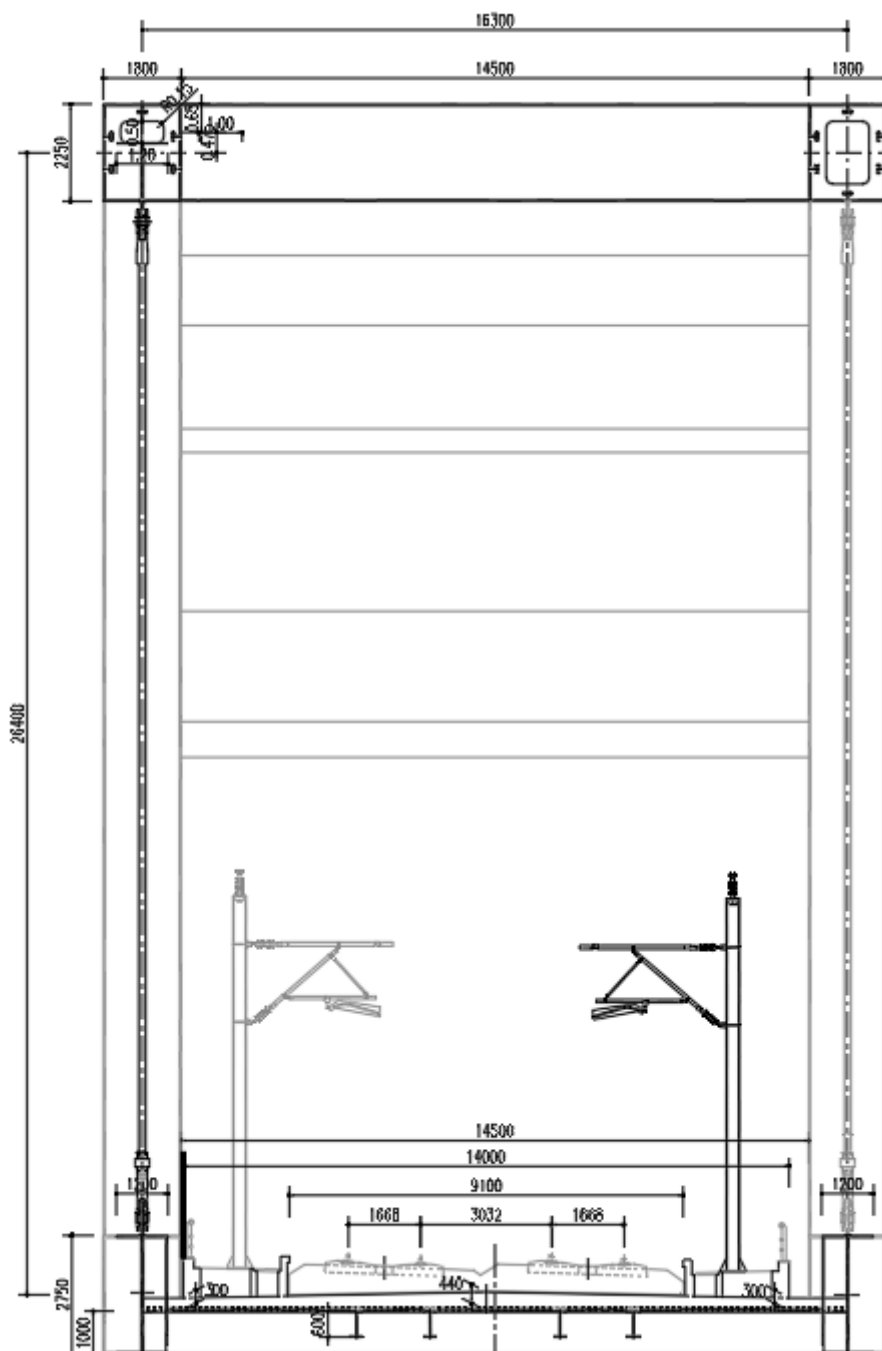


Figura 5 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Secção transversal da superestrutura em arco

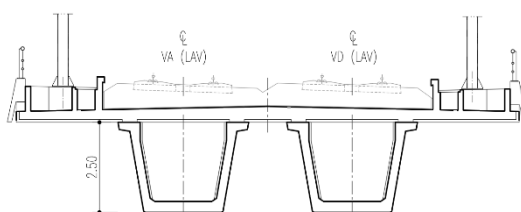


Figura 6 – Ponte sobre a ribeira Sra. de Lamas - Secção transversal do tabuleiro em dupla viga-caixão

3.2 PILARES

O pilar P1 em betão armado constitui-se como um pilar de transição entre a estrutura de aço e a estrutura de BAPE, de que resulta uma configuração distinta dos restantes pilares.

Os restantes pilares apresentam secção transversal octogonal vazada com paredes de 0.40m de espessura.

As fundações são directas por sapatas e indirectas por estacas.

3.3 ENCONTROS

Os encontros são do tipo cofre, em betão armado, com fundações indirectas por estacas solidarizadas por maciços de encabeçamento.

3.4 EQUIPAMENTOS

O arco atirantado apoia através de aparelhos de apoios esféricos sobre o encontro E1, onde há um alinhamento com um apoio unidireccional longitudinal e um apoio multidireccional.

Sobre o pilar P1 há um alinhamento com um apoio unidireccional longitudinal e um apoio multidireccional.

A estabilidade da obra no trecho E1-P1 para efeitos das acções horizontais é garantida através de dispositivos histeréticos instalados no encontro E1 que reagem por bloqueamento face à frenagem e arranque e por dissipação de energia em caso de acção sísmica.

Nos restantes alinhamentos de apoio correspondentes à estrutura BAPE, os aparelhos apresentam-se igualmente unidireccionais longitudinalmente de um lado e multidireccionais do lado oposto. No encontro E2 estão também instalados dispositivos histeréticos que garantem bloqueamento e dissipação de energia face, respectivamente, às acções de impulso e acções sísmicas.

A obra desenvolve-se atendendo à geometria do traçado ferroviário, prevendo-se AD dos carris na zona do pilar P1.

4 DRENAGEM

A obra será dotada de um sistema de drenagem pluvial do tabuleiro. O sistema de drenagem destina-se a que as águas das chuvas encaixadas pelo tabuleiro da obra e infiltradas através do balastro da via-férrea possam ser drenadas com a eficácia e fiabilidade necessárias, conduzindo-as ao sistema de drenagem geral do local da obra.

Para isso, a face superior da laje do tabuleiro será impermeabilizada e possuirá dupla pendente transversal, do centro para as extremidades, com uma inclinação transversal de 2%. Essa pendente facilitará o encaminhamento das águas até aos pontos de descarga ou sumidouros colocados transversalmente junto aos muretes guarda-balastro. Paralelamente, as caleiras de cabos dos passeios drenam através de tubos de PVC, para o que se dota o fundo destas caleiras de pendentes transversais adequadas.

O sistema de impermeabilização do tabuleiro será de acordo com a instrução técnica da IP, IT.OAP.001 – Impermeabilização de Tabuleiros em Pontes e Viadutos.

Nos estribos dos encontros e nos topos dos pilares são definidas as inclinações necessárias para garantir a drenagem eficiente do topo destes elementos.

O tardo dos encontros e muros de ala são drenados para os órgãos de drenagem geral, através da colocação de um sistema de recolha de águas adequado.

O sistema de drenagem do tabuleiro e o encaminhamento das águas para o sistema de drenagem geral é articulado e integrado no projeto geral de drenagem.

5 RETORNO DE CORRENTES DE TRAÇÃO, TERRAS E PROTEÇÕES

A implementação do sistema de terra de proteção a utilizar para a obra de arte visa fundamentalmente:

- Garantir a existência de um ambiente seguro para seres humanos bem como para os próprios sistemas elétricos na vizinhança da via-férrea;
- Atenuar os efeitos de corrosão elétrica que as correntes vagabundas podem originar sobre os elementos metálicos da obra.

Foram definidos sistemas de proteção dielétrica de todas as peças metálicas, nomeadamente as armaduras estruturais (passivas e ativas), os aços estruturais, os guarda-corpos, as juntas e os aparelhos de apoio, evitando a sua corrosão precoce por influência dos campos eletromagnéticos, a realizar por isolamento ou implementação de uma rede de terras adequada.

Assim, é garantida a ligação à terra de todos os elementos metálicos, incluindo as armaduras passivas e ativas, sendo cumprido o estipulado em termos do sistema de retorno de corrente de tração e terras e proteções (RCT+TP) na norma GR.IT.GER.002.6-V06 da IP.

Todos os componentes a aplicar na rede de terras obedecerão às especificações da norma GR.IT.GER.002.13-v08.

A execução dos trabalhos terá o adequado acompanhamento técnico, com a verificação em fase de obra da continuidade das armaduras e das suas ligações antes das betonagens.

6 MATERIAIS E DURABILIDADE

Os materiais a utilizar na execução do Viaduto 15.1 sobre A1/IP1 são ditados pela necessidade de garantir não só a resistência, mas também a durabilidade da obra. Nesse sentido prescrevem-se betões de classes superiores às mínimas regulamentares, indicando-se também as respetivas classes de exposição segundo a norma NP EN 206-1:2007.

Para efeitos da prescrição dos parâmetros que controlam a durabilidade dos materiais, estabeleceu-se a seguinte classificação e condições de execução da estrutura de Betão:

- Vida Útil da Estrutura (NP EN 206:2013/A2:2021 - DNA 5.3.1): Categoria 5 (100 anos);
- Classe Estrutural (NP EN 1992-1-1): S6;
- Classe de Execução (NP EN 13670:2011 – Quadro A): 3.

As classes de exposição e execução da estrutura seguem o prescrito nas normas NP EN 206:2013 e NP EN 13670:2011 e nas especificações LNEC E 464-2007 e LNEC E 465-2007.

Segundo a Norma NP EN 206:2013, a obra de arte é projetada considerando um ambiente moderadamente agressivo e as Classes de Exposição: XC2, para fundações de pilares e encontros, XC4 para pilares e elevação de encontros e XC4 para tabuleiros;

Nos quadros seguintes indicam-se ainda as classes de resistência e de exposição (agressividade do ambiente) consideradas e os recobrimentos a adotar. O cálculo dos recobrimentos nominais segue as regras estipuladas na NP EN 1992-1-1 em consonância com o indicado nas Especificações LNEC E464 e E465. Para cada tipo de elemento estrutural serão a considerar os seguintes betões:

Quadro 1 – Características dos betões

Elemento	Classe de Resistência (NP EN206)	Classe de Exposição	Teor de Cloretos	D _{máx} (mm)	Classe de Abaixamento	Rec. (mm)
Regularização e Selagem	C 16/20	X0	Cl 1.0	-	S1 / S2	-
Estacas	C 30/37	X2	Cl 0.40	22	S3 / S4	75
Sapatas e maciços de estacas	C 30/37	XC2	Cl 0.40	22	S2 / S3 / S4	50
Encontros e muros em elevação	C 30/37	XC4	Cl 0.40	22	S2 / S3	50
Pilares em elevação	C 35/45	XC4	Cl 0.40	22	S2 / S3	50
Tabuleiro vigas pré-fabricadas	C 50/60	XC4	Cl 0.20	16	S3 / S4	50
Tabuleiro - elementos BA executados "in-situ"	C 40/50	XC4	Cl 0.20	22	S2 / S3 / S4	50

Os recobrimentos são estabelecidos de acordo com a GR.IT.OAP.002 e em conformidade com a especificação LNEC E464:2007, considerando a classe de exposição ambiental, o período de vida útil, o tipo de elemento estrutural e a classe de resistência do betão.

São a utilizar os seguintes tipos de aço de construção, em armaduras ordinárias em conformidade com a EN 10080:

- Armaduras para betão armado:.....A500 NR SD.

Para efeitos da prescrição dos parâmetros que controlam a durabilidade dos materiais, estabeleceu-se a seguinte classificação e condições de execução da estrutura de aço:

- Vida Útil da Estrutura: 100 anos;
- Classe de Serviço: SC2
- Categoria de Produção: PC2
- Classe de Consequência: CC3
- Classe de Execução: EXC4

Quadro 2 – Características dos aços

Elemento	Aços	Sistemas de Protecção Anticorrosiva
Chapas e perfis	S355 J2 (EN 10025)	EN 12944
Pernos conectores tipo Nelson	S355 J2 + C450 (EN 13918)	
Soldaduras	$f_u > 570$ MPa (EN 15610 / EN 13479)	
Parafusos, porcas e anilhas	Cl 8.8 (EN 14399)	
Chapas caneladas	S320 GD (EN 10326)	EN 10169-1

7 PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Na construção da obra prevê-se o seguinte faseamento construtivo:

- Execução das fundações dos encontros e pilares;
- Execução da elevação dos fustes dos encontros e pilares;
- Execução da superestrutura de aço em fábrica, incluindo protecção anti-corrosiva e, assemblagem no tardo do encontro E1 das peças pré-fabricadas em estrutura metálica,
- Colocação de cofragem perdida sobre as transversinas da plataforma;
- Colocação da superestrutura do arco por via cinemática;
- Substituição dos aparelhos de apoio provisórios pelos definitivos, incluindo a instalação dos dispositivos com funções de bloqueamento e de dissipação histerética;
- Colocação de armaduras ordinárias e betonagem “in-situ” da laje de betão armado para acção mista aço-betão da plataforma;
- Montagem de vigas pré-fabricadas do tabuleiro entre o encontro E2 e o pilar P1, incluindo o estabelecimento de continuidade sobre os apoios;
- Acabamentos.

As fundações dos encontros e pilares serão diretas por sapatas ou indiretas por estacas, em função das características geotécnicas locais.

As fundações, o pilar e os encontros serão executados por métodos tradicionais, sendo o fuste do pilar construído com recurso a moldes trepantes.

A colocação do tabuleiro em estrutura metálica sobre a auto-estrada será efetuada respeitando a não circulação de pessoas e veículos de qualquer natureza sob a área de influência da sua manobra.

A montagem das vigas pré-fabricadas será realizada com recurso a guas.

Às cotas de fundação previstas poderão ocorrer interferências com o nível da água, em particular num período de maior pluviosidade e junto da ribeira Sra. de Lamas, pelo que serão a assegurar as condições de drenagem que viabilizem o adequado escoamento dos caudais afluentes durante a escavação.

A colocação de vigas de bordadura e demais equipamentos finais dos passadiços serão realizados a partir do tabuleiro já executado, prevenindo a segurança dos operários e queda de objetos. Quando da montagem das vigas de bordadura, estas serão amarradas aos estribos aparentes do respetivo maciço de fixação para evitar a sua eventual queda.

Durante a execução dos trabalhos serão a ter em consideração as medidas preventivas indicadas no Plano de Segurança e Saúde.

Em relação a todos os restantes processos de execução de tabuleiros, pilares e encontros, seguir-se-ão os métodos habituais em obras de arte em betão armado e pré-esforçado, os quais vão detalhadamente descritos no Caderno de Encargos Tipo de Obra da IP, SA, pelo que não lhes faremos aqui referência especial.

No que respeita ao prazo para execução dos trabalhos, prevê-se que ocorram num período total de 22 meses (660 dias), com a seguinte evolução ao longo da execução dos trabalhos:

- Um período de 2 meses (60 dias) para a montagem de Estaleiro, onde se inclui a preparação de obra com a identificação in situ dos serviços afetados e implementação de todos os meios de segurança para a boa execução dos trabalhos;
- Um período para terraplenagens e de execução das estruturas de 18 meses (540 dias), onde se inclui a reformulação dos novos restabelecimentos rodoviários e pedonais se aplicável, assim como a execução das escavações e entivações para a realização das fundações, execução da infraestrutura e superestrutura em betão, bem como fabrico, montagem e colocação da superestrutura metálica da obra de arte.
- Um período de 2 meses (60 dias) para a instalação de equipamentos, acabamentos para instalação dos elementos da superestrutura ferroviária e realização dos trabalhos de integração paisagística.

8 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

8.1 REGULAMENTOS E NORMAS

Na análise e dimensionamento da estrutura e respetivas fundações, em geral, adotaram-se os critérios de verificação de segurança aos Estados Limite Últimos e de Utilização preconizados nas normas portuguesas e europeias, designadamente nos Eurocódigos.

Os Eurocódigos integram a maioria das normas e recomendações existentes, pelo que são considerados para definição das ações e critérios de dimensionamento das pontes e viadutos.

Para além desta regulamentação, são ainda consideradas as recomendações da *UIC – Union Internationale des Chemins-de-fer*, as Especificações do LNEC e as Instruções Técnicas da IP.

Apesar de se descreverem de forma sumária nos pontos seguintes, os mesmos estão descritos em detalhe no Tomo 2.01.00.000 – Pontes – Critérios de Projeto que se considera o documento efetivo de referência para estas definições.

8.2 AÇÕES

As ações consideradas na verificação da segurança da obra de arte são as indicadas no Eurocódigo e estão detalhadamente descritas no Tomo 2.01.00.000 – Pontes – Critérios de Projeto.

Para além das ações permanentes foram consideradas as ações variáveis regulamentares definidas no Eurocódigo 1 para as pontes ferroviárias.

Na determinação dos efeitos da ação sísmica sobre a estrutura, seguiu-se o disposto na NP EN 1998-1:2010 e na NP EN1998-2:2023 e respetivos Anexos Nacionais.

A classe de importância considerada para o viaduto sobre a ribeira Sra. de Lamas é a Classe III e os coeficientes de importância tomam os valores $\gamma_f = 1.69$ (sismo tipo 1) e $\gamma_f = 1.37$ (sismo tipo 2), aplicando os valores recomendados na NP EN 1998-2.

São consideradas as ações sísmicas tipo 1 e tipo 2, e do ponto de vista do zonamento sísmico, a obra encontra-se nas zonas sísmicas 1.6 e 2.4, sendo a aceleração do terreno de 0.35 m/s^2 e 1.10 m/s^2 , respetivamente. Em função do estudo de caracterização geotécnica da obra o terreno foi considerado do tipo B.

Assim, foram consideradas no dimensionamento da estrutura as seguintes ações:

Permanentes:

- peso próprio;
- restante carga permanente;
- ação isostática e hiperstática do pré-esforço;
- ações de retração e fluência do betão;
- ações inerentes ao funcionamento e substituição dos aparelhos de apoio;

- impulsos de terras;

Variáveis:

- ações durante a fase construtiva;
- sobrecargas ferroviárias, e seus efeitos;
- variações de temperatura, uniformes e diferenciais;
- ações do vento;
- ação da neve;
- ações em passadiços e guarda-corpos.

Acidentais:

- ações de descarrilamento de comboio;
- ações de embate de veículos rodoviários;
- ações de embate de comboios;
- ações sísmicas.

8.3 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

As combinações de ações seguem o indicado no Anexo A2 (2005) da NP EN 1990:2009, tal como descrito em detalhe no Tomo 2.01.00.000 – Pontes – Critérios de Projeto.

Consideram-se as seguintes principais combinações de ações:

- Combinações fundamentais;
- Combinações acidentais;
- Combinações características;
- Combinações frequentes;
- Combinações quase permanentes;

Os coeficientes parciais de segurança aplicados são os definidos na NP EN1990, no Anexo A2, para a fase definitiva e para as fases provisórias (fases construtivas).

8.4 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

A análise das estruturas submetidas às ações regulamentares foi efetuada por métodos matemáticos realizados em computador através de programas de cálculo estrutural, quer de aplicação geral, quer especificamente desenvolvidos para o cálculo de obras de arte.

A estrutura da obra de arte foi analisada através de modelos de barras tridimensionais para a análise do seu comportamento global devido às ações verticais e horizontais.

Dos programas de aplicação geral recorre-se prioritariamente aos programas SAP2000 e RM Bridge, sendo utilizados modelos de barras tridimensionais. Estes programas permitem efetuar a análise do processo construtivo de obras de arte, determinando as histórias e envolventes de deslocamentos, esforços e tensões ao longo do processo.

Na análise transversal dos tabuleiros utilizam-se também modelos de elementos finitos de casca, recorrendo-se aos programas SAP2000 e CSI Bridge.

Na análise global das estruturas sujeitas à acção do sismo foram realizadas análises não-lineares através de acelerogramas artificiais, calibrados por espectros de resposta, actuando sobre a massa de estruturas protegidas por dispositivos de dissipação de energia com comportamento não-linear.

8.5 CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

8.5.1 ASPETOS GERAIS

Os critérios de verificação da segurança estrutural seguiram o estipulado nos Eurocódigos, tal como descrito em detalhe no Tomo 2.01.00.000 – Pontes – Critérios de Projeto.

As verificações da segurança dos elementos estruturais foram efetuadas em relação aos estados limites últimos de resistência e aos estados limites de utilização.

Em geral os elementos resistentes da obra são em aço e mistos aço-betão, bem como em betão armado pré-esforçado. Assim, descrevem-se os critérios utilizados na verificação da segurança respeitantes a este tipo de estruturas.

A segurança dos restantes elementos constituintes da obra foi efetuada em relação aos estados limites últimos de resistência para os elementos em betão armado, aos estados limites últimos de resistência e encurvadura para os elementos em aço e mistos aço-betão e pelo método das tensões admissíveis para outros elementos, como aparelhos de apoio e dispositivos de travamento.

8.5.2 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

As verificações de segurança aos Estados Limite de Utilização aplicadas a pontes ferroviárias são estabelecidas visando:

- Durabilidade da estrutura;
- Segurança do tráfego;
- Conforto dos passageiros;
- Segurança da via, considerando a sua interação com a estrutura.

Para a durabilidade dos elementos de betão armado, foram efetuadas as verificações da segurança aos Estados Limites de Utilização de:

- Abertura de Fendas;
- Compressão máxima no betão.

E, seguindo a GR.IT.OAP.002 da IP, foram também efetuadas as verificações da segurança aos Estados Limites de Utilização de:

- Não Fissuração, considerando a combinação característica de ações.

Para a durabilidade dos elementos em aço estrutural, foram efetuadas as verificações da segurança aos Estados Limites de Utilização de:

- Respiração das Almas;
- Limitação de tensões no aço.

A segurança do tráfego e o conforto dos passageiros foi efetuada através da verificação de valores limite de deformações e vibrações da estrutura, para:

- Acelerações máximas verticais;
- Deslocamentos verticais máximos;
- Deslocamento vertical nas extremidades do tabuleiro (nas juntas);
- Distorção do tabuleiro;
- Rotação nas extremidades;
- Deslocamentos transversais;
- Rotações horizontais;
- Frequência própria de vibração fundamental.

8.5.3 **ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS**

A verificação da segurança em relação aos estados limites últimos de resistência, foi efetuada de acordo com as disposições da NP EN 1992-1-1 e NP EN 1992-2, para os elementos em betão estrutural.

A verificação da segurança em relação aos estados limites últimos de resistência e de encurvadura, foi efetuada de acordo com as disposições da NP EN 1993-1-1, NP EN 1993-1-5, NP EN 1993-2, NP EN 1994-1 e NP EN 1994-2, para os elementos de estrutura metálica e mista aço-betão.

No que se refere à verificação de segurança à fadiga foi seguido o disposto na NP EN1991-2, na NP EN1992-1-1 e na NP EN1992-2 para estruturas de betão armado e pré-esforçado, bem como na NP EN1993-1-9, na NP EN1993-2, na NP EN1994-1-1 e na NP EN1994-2 para estruturas metálicas e mistas.

Em relação aos pilares, a verificação da segurança em relação aos estados limites últimos de resistência foi efetuada considerando a encurvadura de acordo com o disposto na NP EN 1992-1-1.

8.5.4 **INTERAÇÃO VIA-ESTRUTURA**

No caso da interação via-estrutura, foram efetuadas as verificações da segurança estabelecidas no Eurocódigo 1 para controlo indireto dos efeitos das deformações estruturais na via, nomeadamente:

- Deslocamento longitudinal nas extremidades do tabuleiro (relativo e absoluto);

- Deslocamento vertical nas extremidades do tabuleiro;

Para além destas últimas verificações, e tratando-se de uma via-férrea com barra longa soldada e sem aparelhos de dilatação de via, foram verificadas as tensões adicionais nos carris e as deformações no tabuleiro e entre o tabuleiro e os carris devidas aos efeitos das ações variáveis.

Foram seguidas as recomendações da ficha UIC 774-3R e da EN 1991-2:2003 para o cálculo da interação via-tabuleiro, de forma a controlar a tensão máxima e mínima nos carris e deslocamentos diversos entre elementos, tendo em conta a interação carril/balastro/tabuleiro.

8.5.5 **EFEITOS DINÂMICOS**

Foi ainda efetuadas análises dinâmicas de interação comboio/via e verificadas as exigências da ficha UIC 776-2R para a conceção de pontes ferroviárias, relacionadas com efeitos dinâmicos resultantes da passagem de comboios sobre pontes, de forma a analisar fenómenos de ressonância, determinar as acelerações verticais máximas do tabuleiro, determinar o incremento de esforços e deslocamentos na estrutura e determinar o nível de conforto no interior das carruagens, tendo em conta a interação comboio/via/tabuleiro.

8.5.6 **SEGURANÇA NA FASE CONSTRUTIVA**

A verificação da segurança da obra durante a fase de construção foi efetuada com base na limitação das tensões máximas e mínimas ocorrentes e tendo em conta a curta duração das situações em causa.

8.5.7 **SEGURANÇA DOS ENCONTROS**

A segurança global dos encontros foi verificada em relação aos estados limites últimos de equilíbrio e a segurança das diversas peças de betão armado que os constituem foi verificada em relação aos estados limites últimos de resistência.

8.5.8 **SEGURANÇA DAS FUNDAÇÕES**

Em relação à segurança das fundações avaliou-se a capacidade resistente do terreno de fundação e verificou-se a segurança do mesmo ao estado limite de utilização (assentamento) de acordo com a NP EN 1997-1:2010.

Assim, foi verificado o estado limite último de rotura interna dos elementos de fundação ou rotura do terreno (STR/GEO), comparando os valores de cálculo dos efeitos das ações (E_d) com os valores de cálculo das capacidades resistentes (R_d). Conforme estabelecido no Anexo Nacional do EC7, adotou-se a Abordagem de Cálculo 1.

Complementarmente, as fundações de betão armado foram verificadas aos estados limites últimos de acordo com o descrito nos pontos anteriores.

9 INSPEÇÃO, MONITORIZAÇÃO E MANUTENÇÃO

O Sistema de Gestão de Obras de Arte a implementar será informatizado, de modo a permitir monitorizar as condições normais de serviço das estruturas e respetivos equipamentos, estando previstos o inventário e a inspeção periódica da totalidade das obras de arte incluídas na concessão. O programa informático a utilizar permitirá a partilha de toda a informação com a IP.

A monitorização é selecionada de forma a fornecer informações úteis para verificar que o comportamento da estrutura é conforme com as hipóteses dos estudos e, após um acontecimento excecional (como, por exemplo, em caso de sismo), permitir quantificar os efeitos desse acontecimento sobre a estrutura.

Será realizada a monitorização recorrendo a instrumentação para:

- Monitorização de deslocamentos
- Monitorização de movimentos de juntas de dilatação e de aparelhos de apoio
- Levantamentos topográficos de precisão
- Inclínómetros
- Monitorização da temperatura uniforme e diferencial
- Monitorização de deformações
- Ensaios de retração e fluência
- Monitorização de corrosão
- Monitorização de vibrações/resposta dinâmica da estrutura e avaliação dos ciclos de carga e correspondente variação de tensão

Os aparelhos de apoio terão escala de medição de deslocamentos incorporada no próprio aparelho e as variações dos deslocamentos e assentamentos ao longo do tempo serão analisadas em relação a uma medida origem chamada “ponto zero”, a qual será realizada no final da construção.

A obra de arte é dotada dos meios de acesso de forma a facilitar os trabalhos de inspeção e manutenção.

Nos encontros, o acesso é efetuado através de um alçapão e uma escada metálica vertical para acesso direto à mesa da viga de estribo. Em complemento, os encontros são também dotados de escadas e portas de acesso para permitir a reparação e substituição dos aparelhos de apoio, dos amortecedores sísmicos, dos fusíveis e das juntas de dilatação.

O tabuleiro em viga-caixão terá o interior acessível, com aberturas nas carlingas sobre os apoios nos pilares e encontros para permitir a passagem de pessoas e algum equipamento necessário para a inspeção.

Está previsto que o acesso para inspeção e manutenção dos componentes estruturais do arco atirantado seja efetuado a partir dos passadiços existentes na sua plataforma, considerando-se utilização de equipamento do tipo plataforma móvel para permitir a vistoria pelo exterior a partir do solo das zonas inferiores do tabuleiro metálico, o que terá de ser acompanhado de medidas temporárias de interdição de vias e/ou de basculamento de tráfego na autoestrada.

Nos pilares dotados de aparelhos de apoios e tendo em conta a sua altura ao solo, preconizou-se que, o acesso para inspeção e manutenção seja efetuado a partir do passadiço do tabuleiro, através de um alçapão e uma escada vertical de acesso até uma plataforma a instalar sob o tabuleiro.