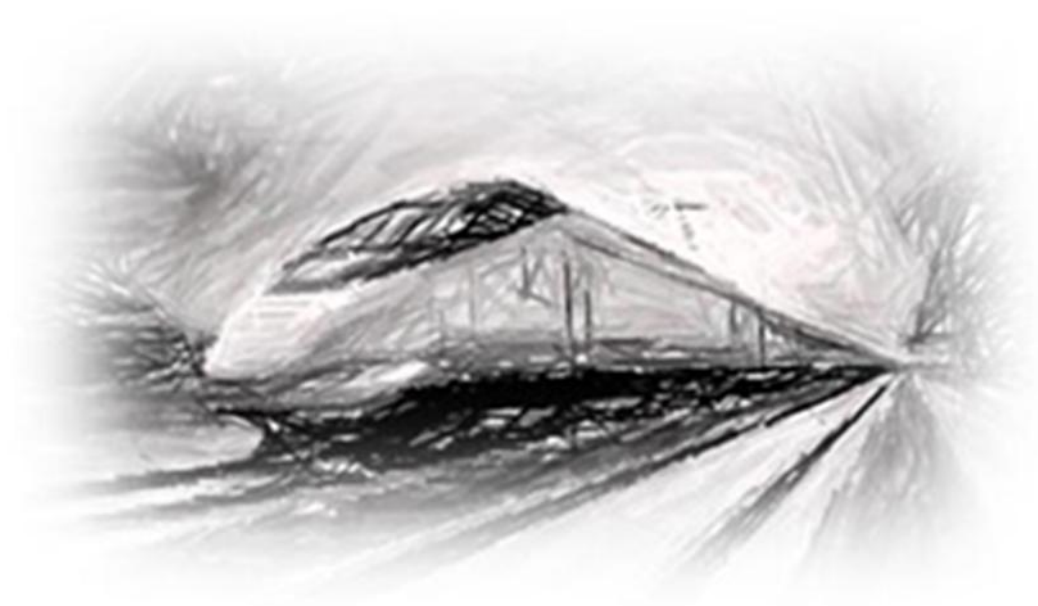


**LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE
PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA
TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
SUBTROÇO A4 – KM 49+900 AO KM 70+225**



**PROJETO DE EXECUÇÃO
V02 – INFRA-ESTRUTURA DE OBRAS DE ARTE (VIA FÉRREA)
Tomo 02.01.00.521 – P 52.1 – PONTE SOBRE A RIBEIRA DE SILVALDE**

Memória Descritiva e Justificativa

Controlo de Assinaturas

Realizado	Revisto	Aprovado Coordenador Projeto
Eva Jerónimo David Murta João Pinho Paulo Soares	João Pinho	Paulo Soares
30-04-2026	30-04-2026	30-04-2026
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.02.01.00.521.MDJ.01	
O Responsável Unidade -	Revisão 01	Data 30-04-2026
O Responsável Departamento -	Código Projetista 40815LAPE	
O Diretor -	Nome do Ficheiro PF102A4.PR.02.01.00.521.MDJ.01	

Registo de Alterações

Rev	Data	Autor	Secção Afetada	Alterações
00	14-08-2025	Vários	Edição inicial	-----
01	30-04-2026	Vários	Revisão Geral	-----

LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA**TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ****SUBTROÇO A4 – KM 49+900 AO KM 70+225****PROJETO DE EXECUÇÃO****V02 – INFRA-ESTRUTURA DE OBRAS DE ARTE (VIA FÉRREA)****TOMO 02.01.00.521 – P 52.1 – PONTE SOBRE A RIBEIRA DE SILVALDE****MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA****ÍNDICE**

1	INTRODUÇÃO	1
2	CONDICIONAMENTOS	2
2.1	Condicionamentos Topográficos	2
2.2	Condicionamentos Ferroviários	2
2.3	Condicionamentos Rodoviários	3
2.4	Condicionamentos Ambientais	4
2.5	Condicionamentos Geológicos e Geotécnicos	5
2.6	Condicionamentos Hidráulicos	6
2.7	Condicionamentos de Serviços Afetados	7
2.8	Condicionamentos Construtivos	7
2.9	Condicionamentos Segurança e Saúde	8
3	SOLUÇÃO ESTRUTURAL	9
3.1	Conceção Geral	9
3.2	Tabuleiro	9
3.3	Pilares	10
3.4	Encontros	10
3.5	Equipamentos	11
4	DRENAGEM	13
5	RETORNO DE CORRENTE DE TRAÇÃO, TERRAS E PROTEÇÕES	14
6	MATERIAIS E DURABILIDADE	15
7	PROCESSOS CONSTRUTIVOS	17
8	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	19

8.1	Regulamentos e Normas	19
8.2	Ações	19
8.3	Combinações de Ações	20
8.4	Métodos de Dimensionamento	21
8.5	CrITÉrios de Verificação da Segurança	21
8.5.1	Aspetos Gerais.....	21
8.5.2	Estados Limites de Utilização	21
8.5.3	Estados Limites Últimos.....	22
8.5.4	Interação Via-Estrutura	22
8.5.5	Efeitos Dinâmicos	23
8.5.6	Segurança na Fase Construtiva	23
8.5.7	Segurança dos Encontros.....	23
8.5.8	Segurança das Fundações	23
9	INSPEÇÃO, MONITORIZAÇÃO E MANUTENÇÃO	24

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Pontes e Viadutos. Características dos betões	15
--	----

1 INTRODUÇÃO

A presente memória refere-se ao Projeto de Execução da Ponte sobre a Ribeira de Silvalde, inserida no Troço Aveiro (Oiã) / Porto (Campanhã) da nova Linha Ferroviária de Alta Velocidade entre Porto e Lisboa.

Para este troço está prevista a construção de várias obras de arte especiais, nomeadamente Pontes e Viadutos.

O estudo de conceção das diversas obras foi desenvolvido numa forma integrada de modo a obter um conjunto de soluções que permitisse uma redução do número de tipologias de soluções estruturais a utilizar em toda a Concessão, racionalizando-se métodos e equipamentos construtivos, potenciando maior rentabilidade e economia na execução.

A Ponte sobre a Ribeira de Silvalde insere-se num grupo de obras para via dupla para a Linha de Alta Velocidade, com vãos correntes de 35 m e tabuleiro em laje vigada em betão armado e pré-esforçado recorrendo a vigas pré-fabricadas com secção em “U”.

Assim, a ponte é constituída por um tabuleiro em betão armado e pré-esforçado contínuo, apoiado sobre pilares e encontros em betão armado. A obra tem um comprimento total de 614 m entre eixos de apoio nos encontros e 14.00 m de largura.

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 CONDICIONAMENTOS 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.

A obra transpõe o vale da Ribeira de Silvalde, o qual é um vale largo e com aproveitamento agrícola, atingindo a rasante uma altura da ordem dos 25 m em relação ao terreno natural na zona de atravessamento da Ribeira de Silvalde.

A obra encontra-se numa zona plana, sobre uma zona agrícola, não havendo condicionantes orográficos a salientar. A principal condicionante para a implantação da estrutura é a transposição da Ribeira de Silvalde em viés e o atravessamento de vários caminhos municipais.

A ponte assegura a transposição da linha férrea de Alta Velocidade sobre a Ribeira de Silvalde no vão localizado entre os pilares P5 e P6, e assegura a transposição do restabelecimento 52.1 localizado no vão entre os pilares P1 e P2, de um caminho rural localizado no vão entre os pilares P3 e P4 e de caminhos municipais localizados nos vãos entre os pilares P7 e P8, entre os pilares P11 e P12 e entre os pilares P15 e P16. A modulação de vãos adotada, respeita os gabaritos horizontais e verticais mínimos exigidos para este tipo de estradas.

A localização dos pilares resultou da necessidade de respeitar a morfologia do terreno existente e o leito menor da linha de água.

2.2 CONDICIONAMENTOS FERROVIÁRIOS

A Ponte sobre a Ribeira de Silvalde situa-se entre os kms 51+973 e 52+587 do Troço Aveiro (Oiã) / Porto (Campanhã) da Linha Ferroviária de Alta Velocidade entre Porto e Lisboa.

A obra desenvolve-se em estrita concordância com o projeto ferroviário.

O traçado é definido em planta por:

- alinhamento reto, desde o início da obra até ao km 52+242.897;
- clotóide direita de parâmetro $A = 1936.621$, até ao km 52+502.897;
- curva circular esquerda de raio $R = 14425$ m, até ao encontro E2.

Em perfil longitudinal, a obra apresenta o seguinte desenvolvimento:

- trainel descendente de $i = 7.0$ ‰, desde o início da obra até ao km 52+015.921;
- curva vertical côncava de raio equivalente $R = 3200$ m, até ao km 52+166.301;
- trainel descendente de $i = 11.7$ ‰, até ao encontro E2.

Assim, no tardo do encontro E2 é possível adotar um Aparelho de Dilatação de via (AD).

A rasante encontra-se a uma altura média de cerca de 20 m, sendo a altura máxima de cerca de 25 m.

O tabuleiro integra uma via dupla balastrada, com bitola de 1668 mm, travessa em betão monobloco polivalente e carril longo soldado, e a plataforma é 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 existem vigas de bordadura nas quais se apoiam os guarda-corpos metálicos.

O tabuleiro é dotado de passadiços para evacuação lateral e assegurar a manutenção, com largura mínima útil de 0.85 m e com uma largura mínima de 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.

A colocação de aparelhos de dilatação de via (AD) foi analisada em conjunto entre a equipa de traçado ferroviário e a equipa de obras de arte de forma, e foram consideradas as seguintes condições:

- Os AD são assentes em trainel de inclinação constante.
- Sempre que possível, os AD são assentes em reta. Nas situações de traçado em planta curvo em que são assentes AD, o raio não será inferior a 2100 m.
- Distância mínima de 100 m entre o AD e o início de uma curva de concordância vertical.

No final da obra esta encontra-se inserida em planta num alinhamento curvo com raio $R = 14425$ m e em perfil num trainel pelo que foi possível adotar um aparelho de dilatação de via (AD) no encontro E2 e adotar uma estrutura contínua em toda a obra.

2.3 CONDICIONAMENTOS RODOVIÁRIOS

Conforme referido, a Ponte sobre a Ribeira de Silvalde assegura a transposição do restabelecimento 52.1 localizado no vão entre os pilares P1 e P2, de um caminho rural localizado no vão entre os pilares P3 e P4 e de caminhos municipais localizados nos vãos, entre os pilares P7 e P8, entre os

pilares P11 e P12 e entre os pilares P15 e P16. A modulação de vãos adotada, respeita os gabaritos horizontais e verticais mínimos exigidos para este tipo de estrada que são:

Gabaritos verticais mínimos (H):

- Sobre Estradas Nacionais e Municipais $H \geq 5.50$ m

Gabaritos horizontais mínimos:

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

2.4 CONDICIONAMENTOS 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 de Silvalde estão associados à travessia da ribeira, pelo que a orientação e localização dos pilares foi prevista de modo a garantir que o escoamento das linhas de água se processe em condições adequadas.

As dimensões da linha de água foram tidas em conta na implantação da modulação estrutural dos vãos da obra, pelo que foram seguidos os objetivos definidos para os recursos hídricos, de preservação do corredor ribeirinho e do normal escoamento da linha de água.

Na travessia da Ribeira de Silvalde, os pilares foram implantados fora do leito menor e da galeria ripícola da ribeira atravessada.

Por outro lado, tendo em conta a extensão dos vãos adotados para a ponte, não serão expectáveis quaisquer obstruções ao escoamento da ribeira.

Durante a construção da ponte serão tomados os cuidados necessários para minimizar a afetação das zonas adjacentes, recorrendo a processos construtivos que minimizem a ocupação do solo envolvente.

Atendendo à sensibilidade ecológica do vale atravessado, pela presença de uma galeria ripícola relevante de habitats naturais e que serão a salvaguardar, procurou-se minimizar a sua afetação durante a construção da obra. Assim, as soluções preconizadas e os respetivos métodos construtivos tiveram em atenção estas preocupações.

Na fase de construção admitem-se alguns impactos, contudo temporários, devido à perturbação induzida pela obra na área de intervenção. Não obstante o carácter temporário, foram privilegiados

processos construtivos menos impactantes, recorrendo sempre que possível a meios aéreos, nomeadamente para o tabuleiro, recorrendo a pré-fabricação intensiva, evitando assim a necessidade de utilização de cavaletes apoiados no solo ao longo da obra.

De forma a reduzir os impactes ambientais decorrentes da sua construção, foram também considerados na conceção da obra os condicionamentos ambientais para assegurar a gestão dos resíduos resultantes das obras de construção.

Dada a localização da obra sobre a Ribeira de Silvalde, será necessário reduzir ao máximo ou mesmo impedir os riscos de contaminação da água da ribeira e das margens, resultantes das obras de construção civil 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 CONDICIONAMENTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Os condicionamentos geológicos e geotécnicos resultam dos estudos efetuados para a Ponte sobre a Rib.^a de Silvalde, complementados na presente fase por uma campanha de prospeção significativamente mais extensa do que a disponível nas fases anteriores. Na configuração atual da obra, a informação de referência integra sondagens mecânicas com ensaios SPT e ensaios pressiométricos distribuídos ao longo da generalidade dos apoios da ponte, desde o encontro E1, investigado pela sondagem S006 Pz T-SL4, até ao encontro E2, investigado pela sondagem S18 P52.1.

Do ponto de vista geológico e geotécnico, o traçado desenvolve-se sobre formações superficiais de aterro, aluvião e depósitos de terraço, sobrepondo-se ao substrato metamórfico da Unidade de Lourosa (Xyz), constituído por gnaisses granitóides, migmatitos e micaxistos. A prospeção realizada confirma a presença de coberturas superficiais de espessura variável, localmente mais expressivas na zona central do vale, bem como a ocorrência do maciço metamórfico e granítico alterado a profundidades variáveis ao longo da obra.

Nos horizontes superficiais de aterro, aluvião, solos residuais e depósitos de terraço, os valores de NSPT observados situam-se, de forma geral, entre cerca de 3 e 15 pancadas nos primeiros metros, podendo atingir valores da ordem de 20 a 30 pancadas em níveis mais compactos ou quando se verifica a transição para materiais de alteração mais competentes. Localmente, registam-se valores mais elevados associados à presença de níveis grosseiros, seixos ou à proximidade do maciço rochoso alterado.

Na zona central do vale, associada à travessia da Rib.^a de Silvalde, ocorrem materiais superficiais terrosos e horizontes de alteração com maior expressão, nomeadamente siltes, areias e níveis aluvionares, sobrepostos ao substrato migmatítico e gnáissico. Neste setor, os valores de NSPT nos materiais de cobertura situam-se tipicamente entre 3 e 10 pancadas nos primeiros metros, aumentando gradualmente com a profundidade para valores da ordem de 15 a 30 pancadas nos horizontes de alteração, até atingirem 60 pancadas ou nega quando é intercetado o maciço rochoso mais competente.

Abaixo das unidades superficiais descritas, ocorre um maciço metamórfico e, localmente, granítico, em geral muito alterado na parte superior e progressivamente menos alterado em profundidade, com aumento rápido da resistência à penetração. Na generalidade das sondagens da presente fase, os

valores de NSPT no substrato rochoso alterado a menos alterado situam-se tipicamente entre cerca de 25 e 60 pancadas, atingindo frequentemente 60 pancadas ou nega a profundidades variáveis genericamente entre 6 e 13,5m.

Em termos globais, a informação atualmente disponível enquadra a ocorrência de materiais superficiais com expressão variável ao longo da obra, sobrepostos ao maciço metamórfico, que revela condições adequadas para horizonte de fundação.

2.6 CONDICIONAMENTOS HIDRÁULICOS

O atravessamento do leito da Ribeira de Silvalde constitui um dos condicionamentos principais para a definição da solução a adotar para a obra.

Os vãos a adotar e desenvolvimento estrutural da Ponte sobre a Ribeira de Silvalde foram definidos tendo em consideração os seguintes critérios:

- Reduzir ao mínimo o efeito da ponte (pilares e encontros) no escoamento;
- Traçado em planta do curso de água;
- Dimensão das estruturas existentes sobre as linhas de água em estudo.

Na solução apresentada a travessia da Ribeira de Silvalde houve, por um lado, a preocupação de colocar os pilares fora do leito menor da ribeira, não interferindo com escoamento nessa zona, e por outro lado, os pilares, colocados no leito de cheia, terem um efeito diminuto no escoamento uma vez que a sua espessura é reduzida quando comparada com a largura total da linha de água, mantendo-se assim praticamente as condições hidráulicas naturais.

No âmbito do Estudo Prévio ferroviário da Linha de Alta Velocidade entre o Porto e Lisboa, elaborado na fase anterior a este estudo, foi efetuado o estudo hidrológico onde se estabelecem os caudais, para um período de retorno de 100 anos, nas linhas de água intersetadas pelo traçado dos viadutos e pontes.

Nas conclusões desse estudo, para a Ribeira de Silvalde estimou-se que o caudal de cheia centenária é da ordem de $Q_{100} = 28.6 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo usualmente adotadas passagens hidráulicas para condução de caudais desta ordem de grandeza. No mesmo estudo constata-se que para caudais desta ordem de grandeza são adotadas passagens hidráulicas em quadro com dimensão de 3.00 x 3.00 (m).

Assim, dada a cota da rasante no local da travessia e a altura do tabuleiro, verifica-se existir uma folga de cerca de 20 m em relação à face inferior do tabuleiro, pelo que se consideram convenientemente ultrapassadas as condições de vazão em cheia e que a solução apresentada para a ponte garante, em segurança, a passagem da cheia centenária, sem interferir com o escoamento.

Assim, face ao vão e altura ao solo do tabuleiro da Ponte sobre a Ribeira de Silvalde e à dimensão da bacia hidrográfica relativamente às restantes bacias analisadas, constata-se não serem necessários estudos hidráulicos específicos adicionais para a ponte.

A localização e a geometria propostas para a ponte têm uma interferência diminuta nas condições de vazão da Ribeira de Silvalde, sendo adequada às condições naturais existentes na ribeira no local da obra.

Verifica-se que o nível da cheia centenária atinge os pilares P5 e P6 pelo que foi adotada uma proteção dos mesmos contra a infraescavação.

Assim, por forma a proteger as fundações dos pilares contra o efeito erosivo do escoamento resultante da passagem da onda de cheia centenária, prevê-se o revestimento com tapete de enrocamento do tipo “Reno” das zonas em torno destes pilares. O colchão tipo Reno estará sempre enterrado, ficando a face superior deste coincidente com o terreno natural, não causando, portanto, qualquer interferência no escoamento.

Ao longo de todo o perímetro das zonas protegidas e sob os colchões serão instalados gabiões que permanecerão solidários com aqueles.

Os colchões tipo “Reno” serão instalados incorporados no terreno natural ou nos taludes, de modo a não interferir com o escoamento. Com funções de filtração e de separação serão instalados sob os colchões e sobre o terreno um geotêxtil em polipropileno não tecido agulhado de 300 g/m².

2.7 CONDICIONAMENTOS DE SERVIÇOS AFETADOS

De acordo com a informação disponível, os serviços de abastecimento de energia de baixa tensão e de iluminação, de abastecimento de águas e de condução de águas residuais encontram-se ao longo dos Caminhos Municipais existentes na zona de implantação da Ponte sobre a Ribeira de Silvalde e foram condicionamentos para a implantação dos apoios da obra.

Na fase de construção serão também condicionamentos a considerar para garantir que não irão implicar com os processos construtivos e equipamentos a utilizar em obra.

2.8 CONDICIONAMENTOS CONSTRUTIVOS

Os condicionamentos construtivos a atender são os que resultam da proximidade de estruturas existentes, vias rodoviárias em serviço, transposição de linhas de água, ou resultantes da geometria própria da obra, respetiva altura ao solo ou outros aspetos, sendo a sua consideração fundamental na conceção da obra.

Face à necessidade de transposição da Ribeira de Silvalde e do vale adjacente no qual serão a atender aspetos de natureza ambiental, hidráulica e geotécnica, houve a preocupação de limitar o recurso a processos construtivos exigindo a construção de plataformas de trabalho a toda a largura e extensão da obra, como é o caso da construção com cavalete apoiado no solo. As soluções estruturais com recurso a prefabricação são preferíveis para minimizar a ocupação do solo durante a construção da obra de arte pelo que foram consideradas no estudo.

O atravessamento cruza-se com caminhos municipais pelo que os métodos construtivos são condicionados por forma a minimizar interrupções da circulação durante os trabalhos.

A solução pré-fabricada não apresenta os condicionamentos associados à execução de cavaletes ou cimbres ao solo.

A montagem dos elementos pré-fabricadas (vigas e pré-lajes) sobre as vias existentes far-se-á com corte de circulação nas vias em causa minimizando-se o risco de queda accidental de materiais nessas vias.

2.9 CONDICIONAMENTOS 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

Na conceção da Ponte sobre a Ribeira de Silvalde adotou-se a solução para via dupla balastrada com tabuleiro com vigas-caixão pré-fabricadas utilizada em diversas pontes e viadutos do Lote A.

A solução estrutural adotada para esta obra de arte consiste num tabuleiro contínuo de 18 vãos com a seguinte distribuição:

$$27 \text{ m} + 16 \times 35 \text{ m} + 27 \text{ m} = 614 \text{ m}$$

O perfil transversal da obra configura uma Linha de Alta Velocidade com via dupla, com um tabuleiro com 14.00 m de largura e a obra tem um comprimento total de 614 m entre eixos de apoio nos encontros.

No que se refere à conceção longitudinal, para a Ponte sobre a Ribeira de Silvalde adotou-se uma solução com um tabuleiro contínuo em toda a sua extensão, apenas com juntas nos encontros, o que se torna possível instalando um aparelho de dilatação de via (AD) numa das extremidades, no encontro E2, fixando o tabuleiro na outra extremidade.

Foram adotados aparelhos de apoio do tipo metálico esférico com libertação de movimentos longitudinais sobre os pilares e os encontros.

Para garantir a resistência para as ações sísmicas e de arranque e frenagem e para controlar as deformações e deslocamentos de modo a garantir os limites de deformação impostos pela regulamentação foram adotados amortecedores do tipo histerético bilinear no encontro E1.

3.2 TABULEIRO

A solução estrutural do tabuleiro enquadra-se na tipologia para tabuleiros de via dupla para a Linha de Alta Velocidade, com vãos correntes de 35 m, recorrendo a vigas pré-fabricadas e a uma laje betonada “in situ” sobre pré-lajes.

A secção do tabuleiro é constituída por duas vigas pré-fabricadas com 2.50 m de altura. A geometria adotada assegura que as sobrecargas ferroviárias são absorvidas diretamente pelas vigas, sendo os efeitos de torção e de flexão das lajes resultantes apenas das forças horizontais.

A largura do banzo inferior das vigas é 2.20 m sendo a sua espessura mínima de 0.30 m. As almas são ligeiramente inclinadas, têm uma espessura de 0.24 m no vão e 0.30 m no apoio e ligam na sua extremidade superior a banzos com espessura variável entre 0.20 m a 0.25 m.

Nos apoios sobre os pilares e os encontros existem carlingas que asseguram a indeformabilidade transversal da secção permitindo também a transmissão das cargas aos apoios. Essas carlingas são também utilizadas para executar a ligação longitudinal entre as vigas pré-fabricadas.

Sobre as vigas é executada uma laje de betão armado, com uma espessura mínima de 0.38 m sob a plataforma ferroviária. Esta laje é executada com recurso pré-lajes em betão armado que servem de cofragem e permitem a construção da laje na largura total do tabuleiro.

A transmissão do esforço rasante é efetuada através da ligação da face superior dos banzos das vigas pré-fabricadas à laje betonada in situ.

As consolas exteriores da laje têm um vão livre de 2.85 m e a laje entre vigas pré-fabricadas tem um vão livre de 1.10 m. A largura total da laje do tabuleiro é de 14.00 m.

As vigas são pré-esforçadas com cordões retos pré-tensionados de aço de alta resistência. A continuidade das vigas sobre os apoios é assegurada por cabos de pré-esforço, pós-tensionados e ancorados na laje betonada “in situ”.

As secções transversais respeitam o perfil transversal tipo indicado nas instruções da IP, assim como os gabaritos transversais impostos, nomeadamente a largura da plataforma de via, prevendo um entre eixo de 4.70 m, as distâncias de 2.20 m entre os eixos das vias e os muros guarda-balastro, a largura livre mínima de 0.85 m para os passadiços e a largura total dos passadiços é superior à exigida de 2.00 m para velocidades de projeto superiores a 160 km/h.

No que se refere à possibilidade de inspeção e eventual futuro reforço do tabuleiro, existem aberturas nos topos das vigas pré-fabricadas, de forma a torná-las visitáveis. Da mesma forma, são integrados blocos de ancoragem e desviadores no vão, para instalação futura de cabos de pré-esforço exterior, pelo exterior das vigas.

3.3 PILARES

Em face da altura da rasante, adotou-se a solução-tipo de pilares prevista para a tipologia de tabuleiro para via dupla com vigas pré-fabricadas.

Os pilares são constituídos por fustes em betão armado, com uma secção transversal constante ao longo de toda a altura, encimados por um capitel destinado à colocação dos aparelhos de apoio do tabuleiro.

Em cada alinhamento de apoio, os pilares são constituídos por um fuste único com secção constante octogonal vazada, com dimensões ajustadas em função da altura dos fustes e do comportamento estrutural.

A secção transversal do fuste apresenta dimensões máximas de 2.40 m x 5.00 m em todos os pilares. A espessura das paredes dos fustes é de 0.40 m e de 0.50 m, respetivamente para as paredes transversais e longitudinais.

Os fustes são encimados por capitéis com 2.00 m de altura para permitir instalar os aparelhos de apoio das vigas, provisórios e definitivos, em simultâneo. Nos capitéis são instaladas placas metálicas nos locais de posicionamento de macacos hidráulicos para a substituição dos aparelhos de apoio.

As fundações dos pilares são indiretas e constituídas por agrupamentos de 6 estacas de 1.50 m de diâmetro por pilar, solidarizadas pelo respetivo maciço de encabeçamento com dimensões adaptadas ao funcionamento estrutural.

3.4 ENCONTROS

Os encontros são do tipo cofre de modo a confinar os aterros dos blocos técnicos e assim evitar a sua deformação excessiva junto à estrutura.

Para simplificar a execução posterior dos blocos técnicos, optou-se pela execução dum muro de tardo que permite fechar o encontro, criando câmaras entre os gigantes que serão preenchidas com aterro, tirando partido do seu peso para a estabilidade global da estrutura. Esta solução elimina quaisquer gigantes ou contrafortes na zona dos blocos técnicos e permite conter totalmente a zona inicial da cunha de transição.

Assim, os encontros são constituídos por uma viga de estribo apoiada em montantes que são ligados entre si pelas paredes de testa e de tardo que descarregam num maciço de estacas de fundação. Incluem ainda muros de avenida, para contenção dos aterros de acesso à obra e inserção das cunhas de transição de rigidez.

A largura da viga de estribo é sobretudo condicionada pela dimensão necessária dos montantes para resistirem às ações dos impulsos de terras e às ações horizontais sísmicas e de arranque e frenagem, e é sobretudo condicionada pela necessidade de incorporar os amortecedores.

Para que sejam visitáveis, os encontros estão dotados de alçapões nos passadiços, de portas metálicas de acesso e de escadas constituídas por degraus de betão pré-fabricados montados sobre as saias laterais dos aterros, a partir da base do talude.

Na frente do muro de testa, incorporada no aterro, é deixada uma plataforma horizontal para apoio à inspeção e manutenção dos aparelhos de apoio e restantes equipamentos.

Com base nos elementos geológicos e geotécnicos disponíveis, a fundação dos encontros é indireta por meio de agrupamentos de estacas solidarizadas pelo respetivo maciço de encabeçamento. No encontro E1, o agrupamento de estacas é constituído por 16 estacas de 1.80 m de diâmetro e no encontro E2, o agrupamento de estacas é constituído por 16 estacas de 1.50 m de diâmetro

3.5 EQUIPAMENTOS

Os aparelhos de apoio nos pilares, em número de dois por pilar, são do tipo metálico esférico.

Em todos os alinhamentos dos apoios sobre os pilares, um dos aparelhos é fixo na direção transversal e ambos são deslizantes na direção longitudinal.

Os aparelhos de apoio nos encontros, também em número de dois por encontro, são igualmente do tipo metálico esférico, sendo um dos aparelhos fixo na direção transversal e ambos deslizantes na direção longitudinal.

O sistema estrutural longitudinal que garante a resistência às ações sísmicas e a resistência e rigidez necessária sob as ações de arranque e frenagem consiste em absorver essas ações no encontro E1 (Sul) e adotar dispositivos amortecedores sísmicos, do tipo histerético bilinear, de modo a transmitir ao encontro forças máximas controladas e iguais às forças de cedência dos dispositivos. Deste modo os deslocamentos rápidos devidos às ações dinâmicas de arranque e frenagem ou dos sismos são impedidos até que se atinja no bloqueador a respetiva força limite de cedência. Uma vez atingida essa força, os deslocamentos são controlados por dissipação de energia, com deslocamentos dinâmicos máximos sempre inferiores aos para os quais os dispositivos são calibrados.

Os dispositivos amortecedores do tipo histerético bilinear no encontro E1 (Sul) são dimensionados para a força máxima de arranque e frenagem prevista na regulamentação (NP EN 1991-2).

Face aos movimentos previstos para o tabuleiro, as juntas de dilatação no tabuleiro sobre os encontros são: do Tipo 1 – Cobre-junta sob o balastro sobre o encontro E1; e do Tipo 2 – com contenção do balastro no encontro E2, associada à utilização dos aparelhos de dilatação de via (AD's) a colocar sobre este encontro.

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 para posterior descarga livre. No atravessamento de vias rodoviárias, os pontos de descargas serão localizados de forma a evitar a descarga direta sobre a via. Paralelamente, as caleiras de cabos dos passeios drenam através de tubos de PEAD, 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 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, incluindo drenos e bueiros.

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 CORRENTE DE TRAÇÃO, TERRAS E PROTEÇÕES

A implementação do sistema de retorno de corrente de tração e terras 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.

O sistema de proteção RCT+TP da estrutura e dos elementos metálicos aéreos, nos casos relevantes, está coordenado com o projeto apresentado em volume específico.

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 da Ponte sobre a Ribeira de Silvalde 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
- Classe de Consequência: CC3
- Classe de Fiabilidade:..... RC3
- Nível de Supervisão: DSL2
- Nível de Inspeção: IL3

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;

A estrutura é dimensionada para um período de vida útil de 100 anos.

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 – Pontes e Viadutos. 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	CI 1.0	-	S1 / S2	-
Estacas	C 30/37	XC2	CI 0.40	22	S3 / S4	75
Maciços de Estacas	C 30/37	XC2	CI 0.40	22	S2 / S3 / S4	50
Encontros e Muros em elevação	C 30/37	XC4	CI 0.40	22	S2 / S3	50
Pilares em elevação	C 35/45	XC4	CI 0.40	22	S2 / S3	50
Tabuleiro – Elementos em betão armado betonados “in situ”	C 35/45	XC4	CI 0.40	22	S2 / S3 / S4	50
Tabuleiro – Vigas Pré-fabricadas	C 50/60	XC4	CI 0.20	16	S3 / S4	50

Tabuleiro – Pré-lajes	C 35/45	XC4	CI 0.20	16	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 e em barras e cabos ou cordões pré-esforçados com a PR EN 10138:

- Armaduras para betão armado:.....A500 NR SD
- Armaduras de pré-esforço: $f_{pk} \geq 1860 \text{ MPa}$; $f_{p0.1k} \geq 1600 \text{ MPa}$
- Barras de alta resistência para pré-esforço: $f_{puk} \geq 1050 \text{ MPa}$

7 PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Os métodos construtivos a utilizar serão os adaptados a cada um dos tipos de soluções propostas.

As fundações dos pilares e encontros serão indiretas por meio de estacas, em princípio realizadas à rotação com tubo moldador recuperável.

Em geral, os caboucos para realização dos maciços de estacas serão executados sem grandes sobreescavações ou necessidade de recorrer a um número de entivações significativo, destacando-se, em particular as fundações dos pilares contíguos à Ribeira de Silvalde, os quais deverão ter cuidados acrescidos durante a escavação.

As escavações a efetuar para colocação das fundações dos pilares e encontros poderão ser realizadas recorrendo parcialmente aos equipamentos tradicionais de terraplenagens.

As escavações provisórias associadas à abertura dos caboucos para construção dos maciços de 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 1.5:1 (v:h). Estas inclinações serão 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.

Às cotas de fundação previstas poderão ocorrer interferências com o nível da água, em particular nas fundações dos pilares contíguos à Ribeira de Silvalde e no caso de a obra decorrer num período de maior pluviosidade, pelo que serão a assegurar as condições de drenagem que viabilizem o adequado escoamento dos caudais afluentes durante a escavação.

As fundações, os pilares e os encontros serão executados por métodos tradicionais, sendo os fustes dos pilares com recurso a moldes trepantes e os capitéis com recurso a cofragem perdida, recorrendo-se a pré-lajes ou cofragem metálica.

A altura máxima ao solo a que a Ponte sobre a Ribeira de Silvalde se desenvolve não ultrapassa cerca de 25 m, sendo a altura média inferior a 20 m. Dadas as características da zona de implantação da obra, a solução construtiva enquadra-se na tipologia prevista para este tipo de estrutura, com montagem das vigas pré-fabricadas do tabuleiro por meio de autogruas, a partir do terreno ou com recurso a um lançador. Na situação de colocação das vigas pré-fabricadas na sua posição final por meio de autogruas trabalhando a partir do terreno, será necessário construir uma plataforma de trabalho para permitir o acesso e manobra das autogruas e o transporte até ao local das vigas pré-fabricadas.

O tabuleiro será construído através da colocação das vigas pré-fabricadas apoiadas nos pilares através de apoios provisórios. Numa segunda fase serão colocadas as pré-lajes. A execução da laje do tabuleiro será efetuada faseadamente. Procede-se primeiro à betonagem das zonas de continuidade sobre os apoios, incluindo as carlingas sobre os pilares. Esta betonagem deverá assegurar a ligação das vigas pré-fabricadas e deverá estender-se num comprimento de laje que permita a execução da totalidade do pré-esforço de continuidade. A execução do pré-esforço de continuidade sobre um apoio será executada depois de garantida a continuidade nos dois apoios adjacentes. Finalmente, e numa última fase, será executada a betonagem da laje na zona central dos tramos. A laje de tabuleiro será betonada in situ sobre pré-lajes colaborantes na direção transversal.

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

- Execução das fundações dos encontros e pilares;
- Construção da elevação dos pilares e encontros por métodos tradicionais;
- Pré-fabricação das vigas do tabuleiro em fábrica ou em estaleiro;
- Montagem dos aparelhos de apoio provisórios das vigas pré-fabricadas nos encontros e do sistema de escoramento para receção das vigas de modo a evitar o seu tombamento;
- Transporte e montagem das vigas pré-fabricadas sobre os apoios nos pilares e encontros com grua;
- Fixação/escoramento das vigas pré-fabricadas aos pilares e encontros, de modo a impedir o seu tombamento;
- Transporte e montagem das pré-lajes, com a respetiva amarração aos estribos aparentes das vigas pré-fabricadas;
- Montagem das armaduras e betonagem da ligação das vigas aos pilares e dos troços de laje sobre os pilares;
- Aplicação da pós-tensão nos troços de laje e nas vigas sobre os pilares;
- Montagem das armaduras e betonagem da laje nas zonas de vão e das carlingas do tabuleiro;
- Acabamentos.

O içamento, manobra e colocação de elementos pré-fabricados será efetuada respeitando a não circulação de pessoas e veículos de qualquer natureza sob a área de influência da sua manobra.

A betonagem da laje “in situ” sobre as pré-lajes deve evitar situações de desequilíbrio das pré-lajes e será a realizar a partir da zona central do tabuleiro para as consolas. Quando da colocação, as pré-lajes serão fixas entre si e às vigas pré-fabricadas anteriormente colocadas de modo a evitar que a betonagem possa criar situações inesperadas de instabilidade.

A colocação e içamento 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 eventual queda.

Os processos previstos permitem uma grande rapidez de execução do tabuleiro assim que os pilares e encontros estejam finalizados.

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.

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, as Instruções Técnicas da IP e o Caderno de Encargos da IP, nomeadamente, o Anexo 5, Parte C3 – Pontes e Viadutos.

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.

As ações variáveis para pontes ferroviárias são consideradas segundo os modelos de carga estáticos ou dinâmicos previstos no Eurocódigo 1, afetadas do fator de classificação do tráfego $\alpha = 1.33$ conforme especificado no Caderno de Encargos da IP.

Segundo a NP EN 1991-2, apenas os modelos de carga vertical LM 71 e SW/0 são multiplicados pelo fator α .

Os efeitos dinâmicos devido à passagem dos comboios regulamentares, são estimados afetando a sobrecarga dos comboios tipo LM71, SW0 e SW2, por um coeficiente dinâmico que, para o presente caso, toma o valor $\Phi_3 = 1.10$, correspondente a vias com “manutenção corrente”.

As forças de arranque e frenagem são consideradas atuando em conjunto com a carga ferroviária vertical, de forma consistente e são também multiplicadas pelo coeficiente α mas não são multiplicadas pelo coeficiente dinâmico.

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 a Ponte sobre a Ribeira de Silvalde 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 A.

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 de levantamento do tabuleiro;
- 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.

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 rotura e aos estados limites de utilização.

Em geral os elementos resistentes da obra são em betão armado pré-esforçado, apenas se recorrendo a estruturas metálicas em elementos secundários. Assim, descrevem-se os critérios utilizados na verificação da segurança das estruturas de betão armado pré-esforçado.

A segurança dos restantes elementos constituintes da obra foi efetuada em relação aos estados limites últimos de resistência para os elementos em betão armado 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 de estruturas de betão armado e pré-esforçado, foram efetuadas as verificações da segurança aos Estados Limites de Utilização de:

- Descompressão;
- 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:

- Descompressão, considerando a combinação frequente de ações;
- Não Fissuração, considerando a combinação característica de ações.

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 1992-1-1:2010 e NP EN 1992-2:2008.

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.

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, admitindo-se que possam ocorrer, nas fibras opostas àquelas em que se situem os cabos de pré-esforço, tensões de tração inferiores ao valor característico da tensão de rotura do betão à tração simples na data 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
- Ensaio 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 instrumentação referida será instalada de forma a permitir o funcionamento do sistema de monitorização contínua desde o final da construção da obra e assim ser utilizado nos ensaios a realizar.

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.

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 e fixa aos pilares.

O tabuleiro 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.

Para a inspeção do tabuleiro pelo exterior nas zonas que não tenham um fácil acesso a partir do solo, está prevista a utilização de um equipamento do tipo plataforma móvel.