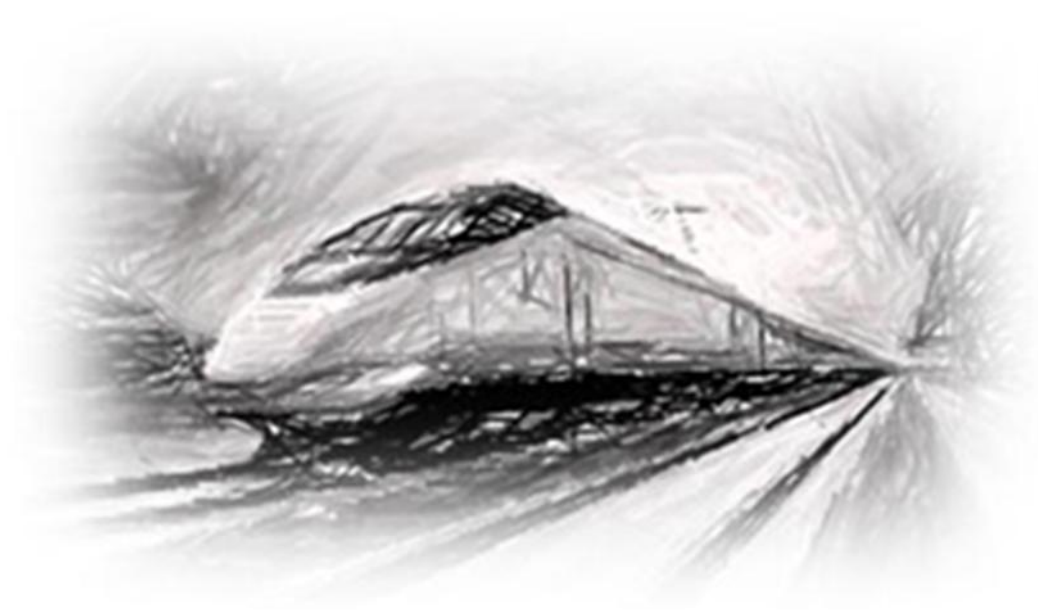


**LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE
PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA**
TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
LIGAÇÃO CANELAS À LN - KM 0+000 AO KM 8+307



PROJETO DE EXECUÇÃO
V07 – CATENÁRIA E ENERGIA DE TRAÇÃO
TOMO 07.01 – CATENÁRIA

Memória Descritiva e Justificativa

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

**TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
SUBTROÇO A6 – KM 00+000 AO KM 8+307 (Ligação LN Canelas)**

**PROJETO DE EXECUÇÃO
V07 – CATENÁRIA E ENERGIA DE TRAÇÃO
TOMO 07.01 – CATENÁRIA**

ÍNDICE DE PEÇAS ESCRITAS			
CÓDIGO DOCUMENTO	DATA	DESIGNAÇÃO	
PF102A6.PR.07.01.00.00.IND.00	14-08-2025	ÍNDICE	
PF102A6.PR.07.01.00.00.MDJ.00	14-08-2025	MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA	
PF102A6.PR.07.01.00.00.MDJ.A01.00	14-08-2025	DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA	
PF102A6.PR.07.01.00.00.MDJ.A02.00	14-08-2025	MACIÇOS DE FUNDAÇÃO PARA POSTES DE CATENÁRIA	

ÍNDICE DE PEÇAS DESENHADAS			
CÓDIGO DOCUMENTO	DATA	DESIGNAÇÃO	Nº ORDEM
PF102A6.PR.07.01.00.00.273.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 0+000 A PK 1+000 (CANELAS)	00.273.
PF102A6.PR.07.01.00.00.274.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 1+000 A PK 2+000 (CANELAS)	00.274.
PF102A6.V.07.01.00.00.275.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 2+000 A PK 3+000 (CANELAS)	0.275.0
PF102A6.PR.07.01.00.00.276.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 3+000 A PK 4+000 (CANELAS)	00.276.
PF102A6.PR.07.01.00.00.277.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 4+000 A PK 5+000 (CANELAS)	00.277.
PF102A6.PR.07.01.00.00.278.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 5+000 A PK 6+000 (CANELAS)	00.278.
PF102A6.PR.07.01.00.00.279.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 6+000 A PK 7+000 (CANELAS)	00.279.
PF102A6.PR.07.01.00.00.280.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 7+000 A PK 8+000 (CANELAS)	00.280.

Realizado	Revisto	Aprovado Coordenador Projeto
Angel Alonso	Jose Plata	Paulo Gomes
AGOSTO 2025	AGOSTO 2025	AGOSTO 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 PF102A6.PR.07.01.00.00.MDJ.00	
O Responsável Unidade -	Revisão 00	Data 14-08-2025
O Responsável Departamento -	Código Projetista	
O Diretor -	Nome do Ficheiro PF102A6.PR.07.01.00.00.MDJ.00	

Registo de Alterações

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

LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA**TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ****LIGAÇÃO CANELAS À LN - KM 0+000 AO KM 8+307****PROJETO DE EXECUÇÃO****V07 – CATENÁRIA E ENERGIA DE TRACÇÃO****TOMO 07.01 – CATENÁRIA****MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA****ÍNDICE**

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.1.1	LAV Porto – Lisboa	1
1.1.2	Apresentação do Lote A	1
1.2	Descrição do projeto de catenária e energia de tração	2
1.3	Inputs de projeto	6
1.4	Interoperabilidade	6
1.5	Avifauna	6
1.5.1	Sinalização	7
1.5.2	Medidas anti-eletrocussão	8
1.5.3	Abate de árvores e desmatção	10
1.6	Interfaces	10
2	ORGANIZAÇÃO DO PROJETO	13
3	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ELETRIFICAÇÃO	17
3.1	Critérios de Projeto	17
3.2	Caracterização da Catenária	17
3.3	Caracterização do sistema de energia	17
3.4	Definição das soluções propostas	18
3.4.1	Geral	18
3.4.2	Características Gerais da Instalação	19
4	TROÇO 3 – LP12 (LIGAÇÃO DE CANELAS)	20
4.1	Definição da solução proposta	20
4.1.1	Geral	20
4.1.2	Características Gerais da Instalação	20

4.1.3	Altura do fio de contacto	20
4.1.4	Regras de Piquetagem	21
4.1.5	Consola	23
4.1.6	Pórticos	24
4.1.7	Lanços e compensação da catenária	26
4.1.8	Antideslizamento	27
4.1.9	Pêndulos	28
4.1.10	Zonas Comuns e Seccionamentos de Lâmina de Ar	28
4.1.11	Aparelhos de Mudança de Via	33
4.1.12	Zonas Neutras.....	33
4.1.13	Feeder negativo	34
4.1.14	Cabo de Terra Aéreo	34
4.1.15	Postes	35
4.1.16	Espiamento	35
4.1.17	Fundações	36
4.1.18	Caracterização geotécnica (definição de fundações).....	38
4.1.19	Túneis	39
4.1.20	Passagens Superiores	39
4.1.21	Esquema Eléctrico	39
4.1.22	Instalação de Seccionamentos de Lâmina de Ar	40
4.1.23	Telecomando de Seccionadores	40
4.2	Características particulares	42
4.3	Interfaces	44
5	INTEROPERABILIDADE	47
6	TABELA TÉCNICA DE VELOCIDADES	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão do traçado para os trabalhos de catenária	3
Figura 2 - Sinalizadores de Catenária tipo FBF2	7
Figura 3 - Montagem de seccionador duplo em poste com Feeder (desenho IP EC-126)	9
Figura 4 - Montagem de dispositivo dissuasor de nidificação e ninho artificial no Setil – (desenhos IP EC-223 e EC-226).....	9
Figura 5 - Montagem de dispositivo dissuasor de nidificação em “V” invertido (desenho AV-21).....	10
Figura 6 - Afastamento das partes em tensão	10
Figura 7 - Disposição simplificada das Subestações de Tração, Autotransformadores e Zonas Neutras	18
Figura 8 - Piquetagem via ascendente. Lanços (em vermelho) e zonas comuns (em amarelo).....	22
Figura 9 - Piquetagem via descendente. Lanços (em azul) e zonas comuns (em amarelo).	23
Figura 10 - Consola LP12.....	24
Figura 11 - Captura da localização dos pórticos na zona de incorporação a Canelas.....	24
Figura 12 - Gabarito para as vias adjacentes	25
Figura 13 - Desenho de Princípio do Pórtico Autoportante.....	25
Figura 14 - Braço de chamada à compressão – Verificação de gabari dinâmico com o pantógrafo 1 950 mm.....	26
Figura 15 - Montagem em pórtico com braços à compressão.....	26
Figura 16 - Aparelhos Tensores LP12	27
Figura 17 - Antideslizamento LP12	28
Figura 18 - Pendulo LP12.....	28
Figura 19 - Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em planta.....	29
Figura 20 - Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em perfil.....	29
Figura 21 - Zona comum – piquetagem em alinhamento reto	30
Figura 22 - Zona comum – piquetagem em curvas	30
Figura 23 - Zona comum em pórticos – piquetagem em alinhamento reto	30
Figura 24 - Zona comum em pórticos – piquetagem em curvas.....	31
Figura 25 - Seccionamento de lâmina de ar – piquetagem em alinhamento reto e curva	32
Figura 26 - Seccionamento de lâmina de ar com pórticos – piquetagem em alinhamento reto.....	32
Figura 27 - Seccionamento de lâmina de ar com pórticos– piquetagem em curvas	32
Figura 28 - Zona neutra seccionada – Planta	33
Figura 29 - Base em cércea	35
Figura 30 - Espiamento sobrelevado – Exemplo de fundação cilíndrica	36
Figura 31 - Detalhe fundação cilíndrica.....	37
Figura 32 - Tubo PEAD 110 mm para passagem de cabos de energia entre o poste e a caixa de inspeção.....	38
Figura 33 - Maciço de fixação de poste em obra de arte	39
Figura 34 - Captura do esquema elétrico	40
Figura 35 - Montagem de transformador de tensão em poste (EC-237)	41
Figura 36 - Perfil tipo (normal) da catenária em Plena Via	43
Figura 37 - Perfil tipo da catenária em Obra de Arte	43
Figura 38 - AMVs eletrificados com três catenárias. Exemplo: catenária francesa (SNCF)	44
Figura 39 – Geometria do aparelho de mudança de via para a incorporação à Linha do Norte.	45
Figura 40 – AMV de incorporação à Linha do Norte do esquema unifilar do concurso.	45
Figura 41 – AMV de incorporação à Linha do Norte do esquema eléctrico do concurso.....	46

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Tabela de Pk dos troços de catenária.....	3
Quadro 2 – Tabela de equivalências entre os trechos do traçado e os trechos de catenária	3
Quadro 3 – Distribuição das Zonas B do projeto (pontes e viadutos)	4
Quadro 4 – Distribuição dos túneis	5
Quadro 5 – Identificação das zonas com sinalização de catenária	7
Quadro 6 – Identificação das zonas com medidas anti-pouso	8
Quadro 7 – Peças desenhadas	13
Quadro 8 – Características fundamentais catenárias LP300 e LP12.	19
Quadro 9 – Variação da altura do fio de contacto.....	21
Quadro 10 – Tipos de Maciços de Fundação	37
Quadro 11 – Transformadores de alimentação.....	41
Quadro 12 – TTV de Catenária	48

ANEXOS

ANEXO I - DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA

ANEXO II - MACIÇOS DE FUNDAÇÃO PARA POSTES DE CATENÁRIA

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

1.1.1 LAV Porto – Lisboa

O projeto da Nova Linha de Alta Velocidade entre Porto e Lisboa, faz parte do Plano Nacional de Investimentos (PNI) 2030, cujo objetivo é o de reduzir o tempo de percurso entre estas duas cidades, aumentando a qualidade dos serviços de médio e longo curso e libertando capacidade da Linha do Norte para o tráfego de passageiros regional, suburbano e de mercadorias.

Nomeada de LAV Porto-Lisboa e com uma extensão total de aproximadamente 295 km, visa atingir um tempo de percurso direto entre Porto e Lisboa da ordem da 1h15, preparada para tráfego de passageiros a uma velocidade máxima de 300 km/h. Desenvolve-se em bitola ibérica (1668 mm), de forma a permitir a articulação com a Linha do Norte, com ligações diretas entre linhas ferroviárias e disponibilização do serviço AV nas estações ferroviárias existentes e para tal adaptadas (Porto - Campanhã e Aveiro).

A linha servirá 6 estações: uma nova estação será construída em Vila Nova de Gaia; as outras cinco estações, nomeadamente Porto (Campanhã), Aveiro, Coimbra-B, Leiria e Lisboa (Oriente), são estações já existentes, que serão adaptadas para receber os novos serviços de alta velocidade (AV).

A LAV Porto-Lisboa será ligada à rede convencional, nomeadamente à Linha do Norte e à Linha do Oeste, a norte e a Sul das referidas estações existentes, para permitir o acesso dos comboios de AV às mesmas e o acesso dos comboios de longo curso convencionais à LAV Porto-Lisboa. Esta integração entre as duas redes, AV e convencional, possibilita, ainda, que a construção da LAV seja faseada no tempo. A LAV Porto-Lisboa será, assim, construída em 3 fases: Fase 1, subdividida nos troços entre Porto (Campanhã) e Oiã (a que se refere o presente anúncio indicativo) e entre Oiã e Soure (com ligação à Linha do Norte); Fase 2, entre Soure e o Carregado (com ligação à Linha do Norte); Fase 3, entre o Carregado e Lisboa (Oriente).

Nesse sentido, a Fase 1 da Nova Linha de Alta Velocidade entre Porto e Lisboa, inicia-se pelo troço Porto – Soure, onde a Linha do Norte se encontra mais congestionada e com pouca capacidade de resposta, estando dividida em dois lotes:

- Lote A, entre Aveiro (Oiã) e Porto (Campanhã), e
- Lote B, entre Soure e Aveiro (Oiã), desenvolvido de forma integrada com o Lote A.

1.1.2 Apresentação do Lote A

O Lote A compreende o troço norte da Fase 1 da LAV Porto-Lisboa, referente a linha ferroviária de alta velocidade entre Porto (Campanhã) e Oiã (LAV Porto-Oiã). Com uma extensão aproximada de 71 km, desenvolve-se em território de 10 concelhos, nomeadamente, Oliveira do Bairro, Aveiro,

Albergaria-a-Velha, Estarreja, Ovar, Oliveira de Azeméis, Espinho, Santa Maria da Feira, Vila Nova de Gaia e Porto.

O projeto Incluirá uma nova travessia rodoferroviária do rio Douro, a adaptação da atual Estação de Porto (Campanhã) às necessidades da AV, a construção, de raiz, de uma nova Estação em Vila Nova de Gaia, e uma subestação de tração elétrica. Incluirá, também, ligações desniveladas e nos dois sentidos à Linha do Norte, cada uma com, aproximadamente, 8,5 km de extensão, a materializar nas proximidades de Canelas, visando servir a atual Estação de Aveiro.

1.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO DE CATENÁRIA E ENERGIA DE TRACÇÃO

O presente documento constitui a Memória Descritiva e Justificativa do Projeto de Instalações Fixas de Tração Elétrica incluído no âmbito do Projeto da “LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA - TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ”, cujo promotor é a IP – Infraestruturas de Portugal, S.A..

A Catenária é um dos componentes das Instalações Fixas de Tração Elétrica a par das instalações de Energia de Tração (subestações, postos de autotransformador e toda a restante aparelhagem de corte, seccionamento, medida e proteção da catenária) e o Retorno de Corrente de Tração, Terras e Proteções.

A empreitada da Ligação Ferroviária entre Oiã – Porto (Campanhã), denominada como Lote A, estende-se do Pk 0+000 ao Pk 71+086, numa extensão total de cerca de 87,7 km que incluem a ligação com a Linha do Norte, nomeados de ST1 a ST6:

- ST1 – Troço entre o Pk 0+000 e o Pk 15+500 da LAV.
- ST2 – Troço entre o Pk 15+500 e o Pk 33+200 da LAV.
- ST3 – Troço entre o Pk 33+200 e o Pk 49+900 da LAV.
- ST4 – Troço entre o Pk 49+900 e Pk 69+589 da LAV.
- ST5 – Troço entre o Pk 69+589 e Pk 71+055, inclui a estação de Campanhã.
- ST6 – Troço entre o Pk 0+000 e o Pk 8+307 (Via Ascendente) Ligação à LN em Canelas.

Para a especialidade de Catenária, o projeto está desenvolvido em 4 troços, os quais estão definidos em função do tipo de catenária, e conta com uma extensão total de cerca de 79 km, dividido nos troços seguintes:

- T1 – Catenária LP300 – Troço início da concessão até ZN SST 1: entre o Pk 0+000 e o Pk 28+350 da LAV.
- T2 – Catenária LP300 – Troço ZN SST 1 até Zona de transição a catenária LP10: entre o Pk 28+350 e o Pk 67+858 da LAV.
- T3 – Catenária LP12 até Ligação de Canelas: entre o Pk 0+000 e o Pk 8+307 para a via ascendente, e entre o Pk 0+000 e o Pk 8+325 para a via descendente.
- T4 – Catenária LP10 – Troço zona de transição a catenária LP10 até estação de Campanhã: entre o Pk 67+858 e o Pk 71+055 da LAV.

- Na Estação de Campanhã e nos acessos onde a velocidade de circulação é até 120 km/h pode ser utilizada catenária LP10 ou LP12 com a consola LP300, a definir na próxima fase de projeto.

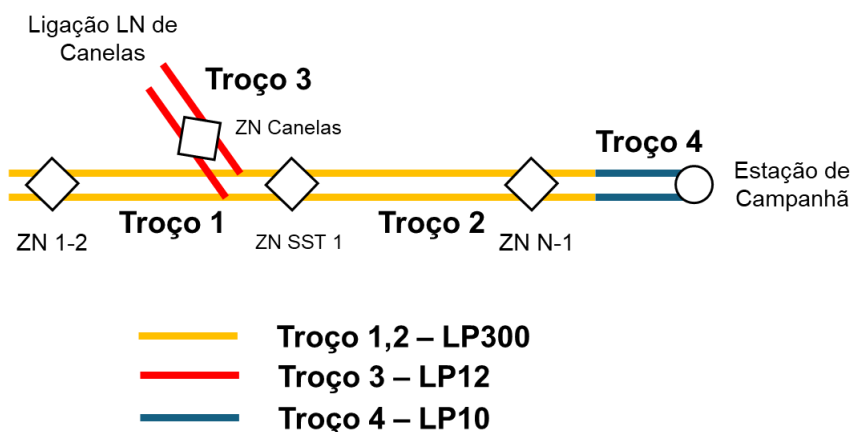


Figura 1 - Divisão do traçado para os trabalhos de catenária

Quadro 1 – Tabela de Pk dos troços de catenária

Troços de catenária	PK início	PK fim
T1	0+000	28+350
T2	28+350	67+858
T3	Ascendente: 0+000 Descendente: 0+000	Ascendente: 8+307 Descendente: 8+325
T4	67+858	71+055

Quadro 2 – Tabela de equivalências entre os trechos do traçado e os trechos de catenária

Troços de traçado	PK início	PK fim	Equivalente em Troços de catenária
ST1	0+000	15+550	T1
ST2	15+550	33+200	T1,2,3
ST3	33+200	49+900	T2

Troços de traçado	PK início	PK fim	Equivalente em Troços de catenária
ST4	49+900	69+589	T2,4
ST5	69+589	71+055	T4

Para o estabelecimento das regras de vãos e desalinhamentos são definidas duas zonas de vento, em conformidade com o estabelecido na EN 1991-1-4 para Portugal. Para o presente projeto, considerou-se:

- Zona A – Generalidade do território;
- Zona B – Pontes e viadutos, Faixa costeira de 5 km

Quadro 3 – Distribuição das Zonas B do projeto (pontes e viadutos)

Instalação	PK início	PK fim	Troços de traçado	Troços de catenária
Ponte rio Largo #1	0+866	3+211	ST1	T1,2
Ponte rio Vouga #2	8+519	10+365	ST1	T1,2
Ponte Rib ^a Fontão #4	14+823	15+199	ST1	T1,2
Viaduto A1/IP1 #5	15+375	15+500	ST1	T1,2
Viaduto A25/IP5 #6	17+257	17+342	ST2	T1,2
Ponte sobre rio Jardim #9	23+029	23+244	ST2	T1,2
Ponte rio Antuã #10	25+452	25+848	ST2	T1,2
Viaduto sobre A1/IP1 #11	29+687	29+887	ST2	T1,2
Ponte sobre rib ^a N.Sra Graça #14	38+323	38+569	ST3	T1,2
Ponte sobre rib ^a S. João #15	39+964	40+112	ST3	T1,2
Ponte sobre rib ^a de Caster #16	40+557	41+083	ST3	T1,2
Ponte sobre a rib ^a da Remôlha #17	44+518	44+980	ST3	T1,2
Viaduto sobre A29/IC1 Ponte rib ^a Beire #18	46+499	47+799	ST4	T1,2

Instalação	PK início	PK fim	Troços de traçado	Troços de catenária
Viaduto sobre A29/IC1 #19	48+680	48+880	ST4	T1,2
Ponte sobre ribª Rio Maior #20	49+373	49+812	ST4	T1,2
Ponte ribª Sra Lamas #21	50+800	51+400	ST4	T1,2
Ponte sobre ribª Silvalde #22	52+006	52+824	ST4	T1,2
Viaduto A29	62+918	63+003	ST4	T1,2
Viaduto Pedreiras	63+108	63+568	ST4	T1,2
Ponte sobre rio Douro	68+415	69+555	ST4	T4
Viaduto de Canelas + rampas #25	0+160	2+644	ST6 (Canelas ascendente)	T3
Viaduto A29/IC1 #27	3+674	4+479	ST6 (Canelas ascendente)	T3
Ponte sobre ribª Azenha Carvalha	5+455	5+627	ST6 (Canelas ascendente)	T3
Ponte sobre rio Jardim #35	7+398	7+623	ST6 (Canelas ascendente)	T3
Viaduto de Canelas + rampas #26	0+160	2+544	ST6 (Canelas descendente)	T3
Viaduto A29/IC1 #28	3+592	4+420	ST6 (Canelas descendente)	T3
Viaduto A1/IP1 #30	5+320	5+426	T ST6(Canelas descendente)	T3
Viaduto flyover sobre LAV #32	6+035	6+227	ST6 (Canelas descendente)	T3

Quadro 4 –Distribuição dos túneis

Instalação	PK início	PK fim	Troços de traçado	Troços de catenária
Túnel Mamodeiro	3+790	4+219	T1	T1,2
Túnel Cassufas trincheira coberta	8+519	10+365	T4	T1,2
Túnel Casaldeita 1	55+356	55+606	T4	T1,2

Instalação	PK início	PK fim	Troços de traçado	Troços de catenária
Túnel Casaldeita 2	55+842	56+012	T4	T1,2
Túnel Casaldeita 3	57+092	57+421	T4	T1,2
Túnel Negrelos 1	59+987	60+982	T4	T1,2
Túnel Negrelos 2	61+671	61+861	T4	T1,2
Túnel VNGaia	64+814	68+200	T4	T4

1.3 INPUTS DE PROJETO

O presente estudo teve como dados de entrada:

- Programa do procedimento e Caderno de Encargos IP.
- Estudo Prévio da IP.
- Estudo de Impacte Ambiental e conclusões APA.
- Normativo aplicável.

1.4 INTEROPERABILIDADE

Conforme descrito no capítulo 7 da presente memória, no desenvolvimento do projeto são considerados os requisitos patentes nas especificações técnicas de interoperabilidade que dizem respeito a este sistema, numa avaliação integrada à globalidade do subsistema energia.

1.5 AVIFAUNA

Esta secção detalha as medidas de proteção ambiental e de segurança operacional implementadas na infraestrutura ferroviária em várias zonas do traçado, tanto na via geral como nas ligações com a infraestrutura existente, de acordo com as normas GR.IT.CAT.034 e GR.IT.CAT.036.

Serão tomadas medidas específicas para proteger as aves de colisões e eletrocussão, incluindo a instalação de dispositivos de resgate de aves e estruturas de segurança em postes e pórticos. O objetivo é apresentar orientações e procedimentos que garantam a harmonia entre a operação ferroviária, a segurança e a preservação do ambiente. Estes sistemas e as suas especificações serão descritos com mais detalhe nos pontos seguintes.

1.5.1 Sinalização

Para a sinalização da catenária, serão aplicados sinalizadores Firefly Bird Flappers (FBF) tipo fitas (dispositivo da esquerda na Figura 2, se aplicável), que são especialmente eficazes na redução da mortalidade de aves como o sisão e a abetarda.

Estes sinalizadores serão montados especificamente no feeder e no CDTA.

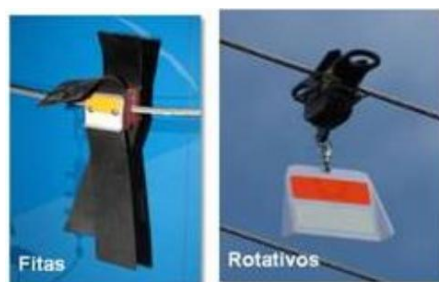


Figura 2 - Sinalizadores de Catenária tipo FBF2

A densidade dos sinalizadores a colocar é apresentada no quadro seguinte e segue as seguintes orientações:

- Muito Intensiva – 4 sinalizadores / vão
 - Aves estepárias – sensibilidade muito elevada
- Intensiva – 3 sinalizadores / vão
 - Aves estepárias – sensibilidade elevada
 - Aves prioritárias – sensibilidade muito elevada
- Preventiva – 2 sinalizadores / vão
 - Aves estepárias – sensibilidade moderada
 - Aves prioritárias – sensibilidade elevada e moderada

Quadro 5 – Identificação das zonas com sinalização de catenária

Sinalização	Localização	Catenária exposta
Intensiva 3 Sinalizadores / vão	Interseção/proximidade da Zona de Proteção Especial (ZPE) Ria de Aveiro (PTZPE0004), Zona Especial de Conservação (ZEC) Ria de Aveiro (PTCON0061) e Sítio Ramsar Pateira de Fermentelos e vale dos rios Águeda e Cértima (PT029).	PK 1+100 ao PK 2+600
	Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Vouga, bem como da Zona de Proteção Especial (ZPE) Ria de Aveiro (PTZPE0004) e Zona Especial de Conservação (ZEC) Ria de Aveiro (PTCON0061).	PK 8+700 ao PK 10+900
	ligação à Linha do Norte - correspondente a interseção/proximidade da Zona de Proteção Especial (ZPE) Ria de Aveiro (PTZPE0004) e Zona Especial de Conservação (ZEC) Ria de Aveiro (PTCON0061)	PK 0+000 ao PK 1+880

Sinalização	Localização	Catenária exposta
Preventiva 2 sinalizadores / vão Preventiva 2 sinalizadores /vão	Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Jardim.	PK 21+500 ao PK 23+500
	Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Antuã.	PK 24+900 ao PK 27+100
	Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Gonde.	PK 29+400 ao PK 31+600
	Interseção/proximidade do corredor ecológico – Esteiro da Vagem.	39+600 ao PK 41+500
	Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Douro.	PK 67+375 ao PK 69+550

1.5.2 Medidas anti-eletrocussão

Para minimizar os efeitos de eletrocussão foram consideradas as seguintes medidas anti-eletrocussão:

- Mecanismos anti-pouso:
 - O projeto de eletrificação prevê igualmente, enquanto especificidade técnica da infraestrutura de tração elétrica, a utilização de montagens em cujos seccionadores se encontram lateralmente aos respetivos apoios e dotados de consola para suspensão de feeder, posicionado a uma cota superior à dos seccionadores, que privilegia também eventuais poisos das aves sobre as consolas de feeder, em segurança, em detrimento do poiso sobre os seccionadores (**Error! Reference source not found.**);
 - A IP, SA tem já adotado na rede ferroviária nacional (RFN) a aplicação de proteções anti-pouso e anti-nidificação das aves (**Error! Reference source not found.4** e **Error! Reference source not found.5**). Mediante monitorização da infraestrutura em exploração, tais montagens poderão ser também replicadas onde se justificar.
- Afastamento dos elementos em tensão
 - Nas zonas mais sensíveis deverá ser considerada a instalação de postes mais altos com vista a privilegiar eventuais poisos das aves sobre os postaletes, em segurança, garantindo-se um afastamento de pelo menos 1,4 m às partes em tensão (Figura 6) ou em alternativa instaladas proteções anti-pouso de forma a evitar a aproximação às partes em tensão, assegurando o mesmo afastamento (Figura 5).
 - Os pontos de amarração das linhas (Catenária e Feeder) terão o seu isolamento afastado de pelo menos 1,4 m do poste, mantendo assim as partes em tensão a um distância ainda superior.

Quadro 6 – Identificação das zonas com medidas anti-pouso

Localização	Catenária exposta
Interseção/proximidade da Zona de Proteção Especial (ZPE) Ria de Aveiro (PTZPE0004), Zona Especial de Conservação (ZEC) Ria de Aveiro (PTCON0061) e Sítio Ramsar Pateira de Fermentelos e vale dos rios Águeda e Cértima (PT029).	PK 1+100 ao PK 2+600

Localização	Catenária exposta
Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Vouga, bem como da Zona de Proteção Especial (ZPE) Ria de Aveiro (PTZPE0004) e Zona Especial de Conservação (ZEC) Ria de Aveiro (PTCON0061).	PK 8+700 ao PK 10+900
Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Jardim.	PK 21+500 ao PK 23+500
Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Antuã.	PK 24+900 ao PK 27+100
Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Gonde.	PK 29+400 ao PK 31+600
Interseção/proximidade do corredor ecológico – Esteiro da Vagem.	PK 39+600 ao PK 41+500
Interseção/proximidade do corredor ecológico - vale do rio Douro.	PK 67+375 ao PK 69+550
Ligação à Linha do Norte - correspondente a interseção/proximidade da Zona de Proteção Especial (ZPE) Ria de Aveiro (PTZPE0004) e Zona Especial de Conservação (ZEC) Ria de Aveiro (PTCON0061).	PK 0+000 ao PK 1+880

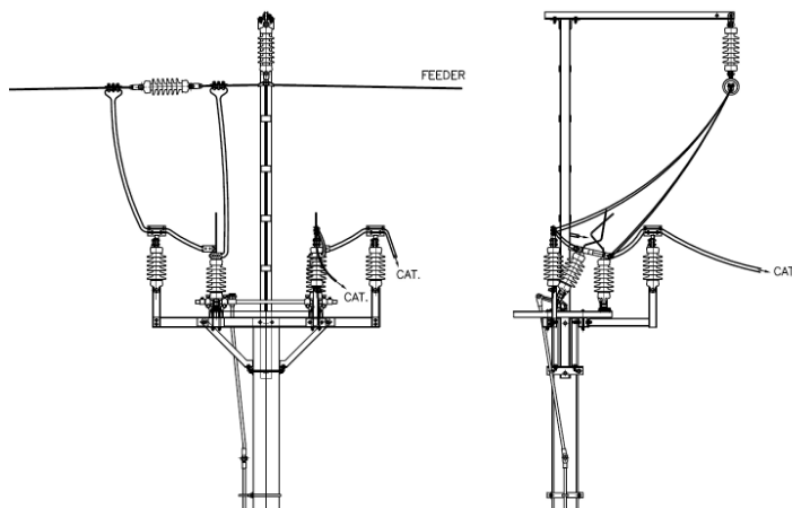


Figura 3 - Montagem de seccionador duplo em poste com Feeder (desenho IP EC-126)

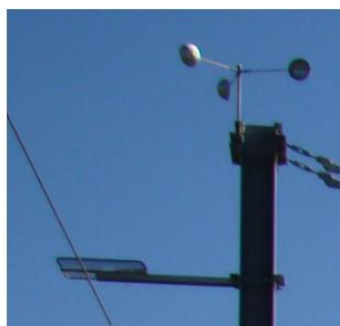


Figura 4 - Montagem de dispositivo dissuasor de nidificação e ninho artificial no Setil – (desenhos IP EC-223 e EC-226)

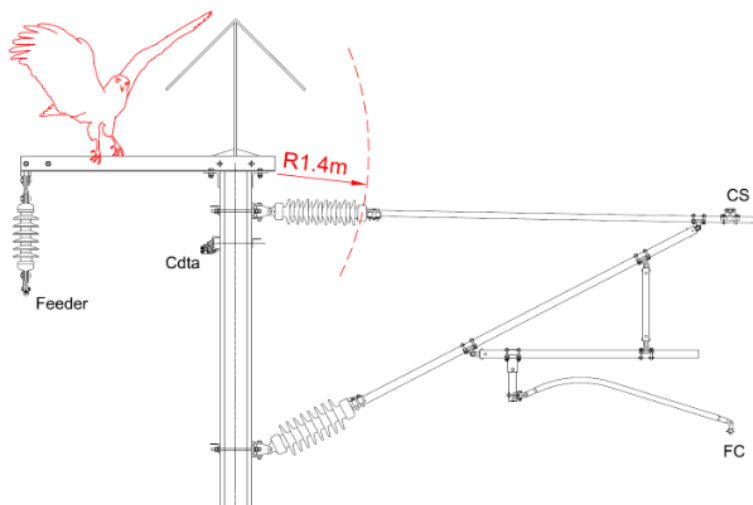


Figura 5 - Montagem de dispositivo dissuasor de nidificação em “V” invertido (desenho AV-21)

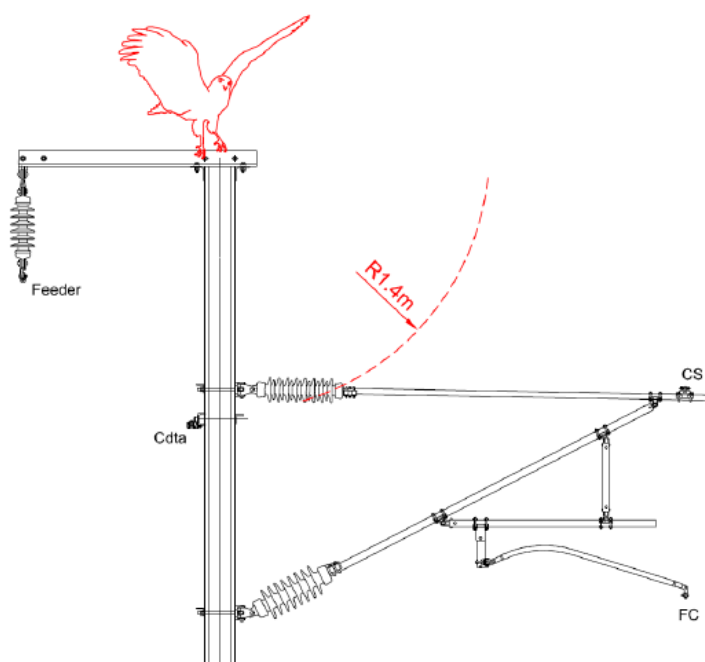


Figura 6 - Afastamento das partes em tensão

1.5.3 Abate de árvores e desmatção

Relativamente à necessidade de abate de árvores, essa será definida na fase sucessiva pelo projetista tendo em conta o traçado e as respetivas faixas de proteção, sendo que a equipa de ambiente depois analisará os impactes resultantes dessa mesma necessidade.

1.6 INTERFACES

Nas interfaces principais e comuns a todos os troços consideram-se as seguintes:

- **Infraestrutura**
 - O projeto de eletrificação é desenvolvido com base no perfil transversal tipo. A colocação dos postes de catenária encontra-se compatibilizada com os restantes elementos longitudinais, designadamente a drenagem e o caminho de cabos.
 - A dimensão e dimensionamento da plataforma asseguram as condições para a colocação dos apoios de catenária.
- **Retorno de Corrente de Tração, Terras e Proteções**
 - O cabo de terra aéreo faz parte do projeto de catenária. A continuidade longitudinal do cabo de terra aéreo é sempre assegurada.
 - A interface com o RCT+TP é feita nas barras das caixas de inspeção das LTI e LEAE onde se ligam os postes.
 - Todos os postes equipados com aparelhagem de catenária (seccionador, transformador de tensão, transformador de alimentação e descarregador de sobretensões) serão ligados através de LEAE ou LTI ao sistema de terras.
- **Obras de arte especiais**
 - O projeto de eletrificação é desenvolvido com base no perfil transversal tipo definido para as obras de arte especiais.
 - O dimensionamento das obras de arte prevê os esforços resultantes dos postes e espias. As localizações das fundações de catenária estão devidamente compatibilizadas nas peças de projeto das obras de arte especiais.
- **Passagens superiores**
 - O gabari vertical das passagens superiores especificado assegura as condições de eletrificação, conforme descrito em 4.1.19. É evitada a colocação de postes por baixo das passagens superiores.
- **Passagens inferiores**
 - A piquetagem de catenária, sempre que possível, evita a colocação de postes sobre passagens inferiores que não apresentam recobrimento superior à profundidade das fundações de catenária (recobrimentos inferiores a 7m).
 - Existe uma PI (121-1), que pelo seu comprimento, foi necessário prever a fixação de um poste. A fixação do poste à PI é realizada conforme especificado em 4.1.9.2. O dimensionamento da PI prevê os esforços resultantes do poste. A localização da fundação de catenária está devidamente compatibilizada nas peças de projeto da PI.
- **Passagens hidráulicas**
 - A piquetagem de catenária evita a colocação de postes sobre passagens hidráulicas que não apresentam recobrimento superior à profundidade das fundações de catenária (recobrimentos inferiores a 7m).
- **Alimentação de Edifícios Técnicos**
 - A alimentação dos edifícios técnicos a partir da catenária é realizada conforme especificações da IT.ENT.001.
 - O projeto de catenária prevê a instalação dos cabos até ao quadro elétrico do edifício.

- Sinalização
 - A piquetagem de catenária deverá ser compatibilizada com a localização dos sinais na fase de projeto seguinte, assim que a IP entregue os projetos de sinalização.
 - A implantação dos postes respeita o perfil tipo assegurando a visibilidade necessária para os sinais.
 - A piquetagem de catenária prevê a necessidade de alimentações de energia socorrida a partir da catenária para as instalações de sinalização e telecomunicações (cantões intermédios, sites GSM-R) conforme especificações na IT.ENT.001.
- Caminho de Cabos
 - Os cabos de energia (sinalização, energia e comando) dos equipamentos de catenária serão instalados em tubo previsto no caminho de cabos.
 - Estes cabos são direccionados para o edifício técnico ou cabina (PAT) mais próximo.

Para além das interfaces referidas acima, as interfaces específicas de interligações da rede de alta velocidade com a rede convencional na Estação de Campanhã e nas ligações de Canelas, e a ligação com o troço de alta velocidade a sul da Concessão, serão desenvolvidas na próxima fase de Projeto, por não haver ainda nesta fase informação sobre as infraestruturas existentes/futuras. Estas interfaces serão tratadas em detalhe através da metodologia de gestão de interface.

2 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO

Na organização deste Projeto de Execução da “Nova Linha de Alta Velocidade entre Porto e Lisboa”, a Catenária corresponde ao Tomo 01 do Volume 7.

Este Projeto inclui as seguintes desenhadas:

Quadro 7 – Peças desenhadas

Código Documento	Nº. SAP	Designação
<i>Esquema Elétrico</i>		
PF102A0.PR.07.01.00.00.100.00		Esquema Elétrico
<i>Plantas de Piquetagem</i>		
PF102A0.PR.07.01.00.00.201.00		Planta de Piquetagem PK 000,000 a 001,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.202.00		Planta de Piquetagem PK 001,000 a 002,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.203.00		Planta de Piquetagem PK 002,000 a 003,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.204.00		Planta de Piquetagem PK 003,000 a 004,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.205.00		Planta de Piquetagem PK 004,000 a 005,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.206.00		Planta de Piquetagem PK 005,000 a 006,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.207.00		Planta de Piquetagem PK 006,000 a 007,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.208.00		Planta de Piquetagem PK 007,000 a 008,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.209.00		Planta de Piquetagem PK 008,000 a 009,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.210.00		Planta de Piquetagem PK 009,000 a 010,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.211.00		Planta de Piquetagem PK 010,000 a 011,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.212.00		Planta de Piquetagem PK 011,000 a 012,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.213.00		Planta de Piquetagem PK 012,000 a 013,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.214.00		Planta de Piquetagem PK 013,000 a 014,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.215.00		Planta de Piquetagem PK 014,000 a 015,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.216.00		Planta de Piquetagem PK 015,000 a 016,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.217.00		Planta de Piquetagem PK 016,000 a 017,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.218.00		Planta de Piquetagem PK 017,000 a 018,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.219.00		Planta de Piquetagem PK 018,000 a 019,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.220.00		Planta de Piquetagem PK 019,000 a 020,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.221.00		Planta de Piquetagem PK 020,000 a 021,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.222.00		Planta de Piquetagem PK 021,000 a 022,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.223.00		Planta de Piquetagem PK 022,000 a 023,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.224.00		Planta de Piquetagem PK 023,000 a 024,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.225.00		Planta de Piquetagem PK 024,000 a 025,000

Código Documento	Nº. SAP	Designação
PF102A0.PR.07.01.00.00.226.00		Planta de Piquetagem PK 025,000 a 026,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.227.00		Planta de Piquetagem PK 026,000 a 027,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.228.00		Planta de Piquetagem PK 027,000 a 028,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.229.00		Planta de Piquetagem PK 028,000 a 029,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.230.00		Planta de Piquetagem PK 029,000 a 030,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.231.00		Planta de Piquetagem PK 030,000 a 031,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.232.00		Planta de Piquetagem PK 031,000 a 032,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.233.00		Planta de Piquetagem PK 032,000 a 033,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.234.00		Planta de Piquetagem PK 033,000 a 034,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.235.00		Planta de Piquetagem PK 034,000 a 035,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.236.00		Planta de Piquetagem PK 035,000 a 036,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.237.00		Planta de Piquetagem PK 036,000 a 037,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.238.00		Planta de Piquetagem PK 037,000 a 038,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.239.00		Planta de Piquetagem PK 038,000 a 039,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.240.00		Planta de Piquetagem PK 039,000 a 040,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.241.00		Planta de Piquetagem PK 040,000 a 041,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.242.00		Planta de Piquetagem PK 041,000 a 042,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.243.00		Planta de Piquetagem PK 042,000 a 043,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.244.00		Planta de Piquetagem PK 043,000 a 044,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.245.00		Planta de Piquetagem PK 044,000 a 045,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.246.00		Planta de Piquetagem PK 045,000 a 046,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.247.00		Planta de Piquetagem PK 046,000 a 047,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.248.00		Planta de Piquetagem PK 047,000 a 048,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.249.00		Planta de Piquetagem PK 048,000 a 049,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.250.00		Planta de Piquetagem PK 049,000 a 050,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.251.00		Planta de Piquetagem PK 050,000 a 051,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.252.00		Planta de Piquetagem PK 051,000 a 052,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.253.00		Planta de Piquetagem PK 052,000 a 053,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.254.00		Planta de Piquetagem PK 053,000 a 054,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.255.00		Planta de Piquetagem PK 054,000 a 055,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.256.00		Planta de Piquetagem PK 055,000 a 056,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.257.00		Planta de Piquetagem PK 056,000 a 057,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.258.00		Planta de Piquetagem PK 057,000 a 058,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.259.00		Planta de Piquetagem PK 058,000 a 059,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.260.00		Planta de Piquetagem PK 059,000 a 060,000

Código Documento	Nº. SAP	Designação
PF102A0.PR.07.01.00.00.261.00		Planta de Piquetagem PK 060,000 a 061,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.262.00		Planta de Piquetagem PK 061,000 a 062,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.263.00		Planta de Piquetagem PK 062,000 a 063,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.264.00		Planta de Piquetagem PK 063,000 a 064,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.265.00		Planta de Piquetagem PK 064,000 a 065,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.266.00		Planta de Piquetagem PK 065,000 a 066,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.267.00		Planta de Piquetagem PK 066,000 a 067,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.268.00		Planta de Piquetagem PK 067,000 a 068,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.269.00		Planta de Piquetagem PK 068,000 a 069,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.270.00		Planta de Piquetagem PK 069,000 a 070,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.271.00		Planta de Piquetagem PK 070,000 a 071,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.272.00		Planta de Piquetagem PK 071,000 a 072,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.273.00		Planta de Piquetagem PK 072,000 a 073,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.274.00		Planta de Piquetagem PK 073,000 a 074,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.275.00		Planta de Piquetagem PK 074,000 a 075,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.276.00		Planta de Piquetagem PK 075,000 a 076,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.277.00		Planta de Piquetagem PK 076,000 a 077,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.278.00		Planta de Piquetagem PK 077,000 a 078,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.279.00		Planta de Piquetagem PK 078,000 a 079,000
PF102A0.PR.07.01.00.00.280.00		Planta de Piquetagem PK 079,000 a 080,000
Seções tipo		
PF102A0.PR.07.01.00.00.401.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 1 CATENÁRIA LP300 EM RETA E VIA EM BALASTRO
PF102A0.PR.07.01.00.00.402.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 2 CATENÁRIA LP300 EM CURVA E VIA EM BALASTRO
PF102A0.PR.07.01.00.00.403.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 3 CATENÁRIA LP300 EM VIADUTO
PF102A0.PR.07.01.00.00.404.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 4 CATENÁRIA LP300 EM TRINCHEIRA
PF102A0.PR.07.01.00.00.405.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 5 CATENÁRIA LP300 EM TRINCHEIRA APENAS COM LAJE DE FUNDO
PF102A0.PR.07.01.00.00.406.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 6 CATENÁRIA LP300 EM TÚNEL. SEÇÃO DE 85 m ²
PF102A0.PR.07.01.00.00.407.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 7

Código Documento	Nº. SAP	Designação
		CATENÁRIA LP300 EM TÚNEL. SEÇÃO DE 90 m ²
PF102A0.PR.07.01.00.00.408.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 8 CATENÁRIA LP300 EM TÚNEL. SEÇÃO DE 95 m ²
PF102A0.PR.07.01.00.00.409.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 9 CATENÁRIA LP300 EM P.U.E.C.
PF102A0.PR.07.01.00.00.410.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 10 CATENÁRIA LP300 EM ESTAÇÃO
PF102A0.PR.07.01.00.00.411.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 11 CATENÁRIA LP10/12 EM RETA E VIA EM BALASTRO
PF102A0.PR.07.01.00.00.412.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 12 CATENÁRIA LP10/12 EM CURVA E VIA EM BALASTRO
PF102A0.PR.07.01.00.00.413.00		SEÇÃO TRANSVERSAL 13 ESTAÇÃO
PF102A0.PR.07.01.00.00.414.00		SEÇÃO 14 ESTAÇÃO

3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ELETRIFICAÇÃO

3.1 CRITÉRIOS DE PROJETO

Neste projeto aplicam-se as regras definidas para as catenárias da IP, designadamente as que se encontram patentes na GR.IT.CAT.034, GR.IT.CAT.066 e demais instruções referenciadas, complementadas pelas definidas na presente peça escrita.

Tratando-se de uma eletrificação sujeita aos requisitos de interoperabilidade prevalecem as definições patentes nas Especificações Técnicas de Interoperabilidade para o Subsistema Energia Regulamento (UE) nº 1301/2014 da Comissão de 18 de novembro de 2014.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CATENÁRIA

A nova linha Porto (Campanhã) – Oiã (LAV) (Troços de Catenária T1 - Troço início da concessão até ZN SST 1, T2 - Troço ZN SST 1 até Zona de transição a catenária LP10) terá uma velocidade de operação até 300 km/h. Atualmente a IP dispõe de sistemas de catenária para velocidades de projeto até 220 km/h. Nesta nova ligação ferroviária, que permitirá velocidades de operação até 300 km/h, será instalada uma nova catenária, designada por LP300, desenvolvida especificamente para dar resposta a este investimento. Nos capítulos seguintes são descritas as características, regras de projeto e soluções a usar na eletrificação destes troços, com particular enfoque na catenária LP300.

O sistema de catenária LP300 detém declaração de verificação CE de interoperabilidade que atesta o cumprimento integral dos requisitos patentes na Especificação Técnica de Interoperabilidade para o Componente de Interoperabilidade “Catenária”, obtida em setembro de 2016.

Para garantir a uniformidade com os troços adjacentes optou-se pela instalação de catenária LP12 e LP10, conforme especificada na IT.CAT.034, nos troços T3 - Catenária LP12 até Ligação de Canelas e T4 – Catenária LP10 – Troço zona de transição a catenária LP10 até estação de Campanhã.

Na zona comum prevista aproximadamente ao pk 23+550 será efetuada a transição da catenária LP300 para LP12, com o fio de contacto à cota nominal da LP12 (5,50 m). Assim, a ligação de Canelas é eletrificada com catenária LP12. Os lanços de catenária que terminam na ligação à linha do Norte amarram em postes piquetados no projeto da linha do Norte, que se encontram devidamente dimensionados e compatibilizados para estas amarrações.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ENERGIA

O sistema de alimentação de energia de tração da linha de alta velocidade (AV) que integra o Troço Porto (Campanhã) – Oiã (LAV) deve ser 2×25 kV / 50 Hz, e deve assegurar o funcionamento em regime 1×25 kV, 50 Hz entre a zona neutra ZN N-1 e o limite norte da Concessão. Esta linha será alimentada pela nova subestação de tração (SST1) de Estarreja.

A separação elétrica entre a alimentação da linha ferroviária de alta velocidade e as linhas ferroviárias da rede convencional nas ligações de Canelas deve ser efetuada através de zonas neutras seccionadas conforme a tipologia do anexo A.1.4 da Norma EN 50367, com comprimento 79 m, e a especificação constante das Normas GR.IT.CAT.034 e GR.IT.CAT.045.

O sistema de energia de alta velocidade deve continuar a operar independentemente da existência de avarias no sistema ferroviário da rede convencional, o que significa que nenhum tipo de falhas na linha convencional deve ter consequências na disponibilidade do sistema ferroviário de alta velocidade

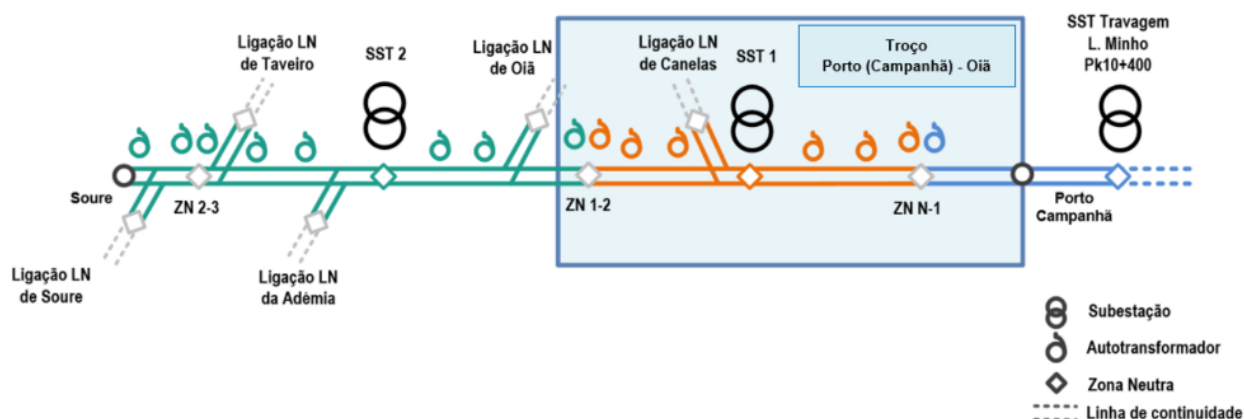


Figura 7 - Disposição simplificada das Subestações de Tração, Autotransformadores e Zonas Neutras

3.4 DEFINIÇÃO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

3.4.1 Geral

A nova linha Porto (Campanhã) e Oiã terá uma velocidade de operação máxima de 300 km/h. Para atingir o nível de desempenho pretendido foi desenvolvido um novo sistema de catenária apto para velocidades de exploração até 300 km/h, designado por LP300, conforme especificada na GR.IT.CAT.066.

Na zona comum prevista aproximadamente ao pk 63+766 será efetuada a transição da catenária LP300 para LP10, com o fio de contacto à cota nominal da LP300 (5,10 m). Assim, os últimos 7 km são eletrificados com catenária LP10.

O sistema de alimentação de energia de tração da linha de alta velocidade (AV) que integra o Troço Porto (Campanhã) – Oiã (LAV) deve ser 2×25 kV, 50 Hz, e deve assegurar o funcionamento em regime 1×25 kV, 50 Hz entre a zona neutra ZN N-1 e o limite norte da Concessão. Na Estação de Campanhã, a eletrificação deve ser feita no sistema monofásico simples, sendo assegurada a implementação das infraestruturas necessárias para operação no sistema 2×25 kV 50 Hz até à Estação de Campanhã (inclusive).

A definição dos postes e do tipo de maciços para os postes de catenária e espigas é apresentado no Anexo I. A localização dos maciços dos postes de catenária é definida através das coordenadas topográficas (que corresponde ao eixo do maciço), sendo os maciços das espigas localizados pela distância relativa ao poste de catenária (cota D). Nos cadernos é também apresentada a implantação do maciço (I) que corresponde à medida entre o eixo da via e o eixo do maciço. A materialização dos maciços está prevista nas empreitadas de infraestruturas pelo que não se encontram no âmbito da presente empreitada.

No presente capítulo, sempre que é necessário fazer-se referência a Pk, são utilizados os Pk de projeto. Nas plantas de piquetagem são representados os quilómetros e hectómetros de projeto e também os quilómetros definitivos para se definir a numeração dos postes a implementar.

3.4.2 Características Gerais da Instalação

Conforme referido serão utilizados dois sistemas de catenária neste troço, a LP300 que respeitará as regras e definições do acervo normativo da IP, designadamente a GR.IT.CAT.066, e a LP12 que respeitará as regras e definições do acervo normativo da IP, designadamente a GR.IT.CAT.034.

Quadro 8 – Características fundamentais catenárias LP300 e LP12.

Característica	LP300	LP12
Sistema de eletrificação	2 x 25 kV / 50 Hz	25 kV / 50 Hz
Velocidade máxima de serviço	300 km/h	220 km/h
Fio de contacto	Cobre ranhurado CuETP 150 mm ²	Cobre ranhurado 107 mm ²
Tensão Fio de contacto	1 960 daN (2 000 kgf).	1176 daN (1 200 kgf)
Cabo de Suporte	Bz II 65 mm ²	Bz 65 mm ²
Tensão Cabo de Suporte	1 372 daN (1 400 kgf)	1176 daN (1 200 kgf)
Pêndulos	Bz 12 mm ² condutores	Bz 12 mm ²
Comprimento máximo entre pêndulos	6,75 m	9,00 m
Flecha entre pêndulos extremos	0,5 ‰ (1/2000) do vão	1,0 ‰ (1/1000) do vão
Abertura nominal	1,40 m	1,40 m
Altura nominal do fio de contacto	5,10 m	5,50 m
Altura mínima/máxima de contacto	5,08 / 5,30 m	4,80 / 6,00 m
Vão máximo	63 m	63 m
Desalinhamento máximo no apoio	200 mm	250 mm

O sistema de catenária LP300 estará apto para a passagem dos pantógrafos interoperáveis com perfis 1600 mm e 1950 mm, conforme definidos nos anexos A.2.1 e A.2.2 da EN 50367:2012, e também para a passagem do pantógrafo “português” com perfil de 1450 mm.

Os troços eletrificados com catenária LP12 estarão aptos para a passagem do pantógrafo interoperável com perfil 1600 mm conforme requisito das Especificações Técnicas de Interoperabilidade para o subsistema Energia e também para a passagem do pantógrafo “português” com perfil de 1450 mm.

As regras de piquetagem a aplicar são as da Zona de Vento A, com a exceção nos vãos com postes instalados sobre as obras de arte, na faixa costeira de 5 km ou em altitudes superiores a 600 m onde será considerado Zona de Vento B.

4 TROÇO 3 – LP12 (LIGAÇÃO DE CANELAS)

4.1 DEFINIÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA

4.1.1 Geral

As novas ligações de Canelas terão uma velocidade de operação de até 200 km/h. Para garantir a uniformidade com os trechos adjacentes LP12 do lado da Linha do Norte e LP300 do lado da nova LAV, optou-se pela instalação de catenária LP12, conforme especificado na GR.IT.CAT.034.

No lado da Linha do Norte, a incorporação à linha ocorre no pk 281+260 da Linha do Norte, através da instalação de Aparelhos de Mudança de Via tangenciais.

No lado da LAV, a incorporação à linha ocorre no pk 24+130 da LAV, através da instalação de equipamento semelhante ao tangencial, mas com três catenárias. A transição de tipos de catenária (de LP300 para LP12) é efetuada numa zona comum, antes de uma zona neutra seccionada. A eletrificação é contínua e as conexões estão devidamente compatibilizadas.

A eletrificação é contínua e as incorporações estão devidamente compatibilizadas. O sistema de eletrificação será a 25 kV / 50 Hz, utilizando-se o sistema 1x25 kV na totalidade do troço.

A definição dos postes e do tipo de maciços para os postes de catenária e espias é apresentado no Anexo I e Anexo II. A localização dos maciços dos postes de catenária é definida através das coordenadas topográficas (que corresponde ao eixo do maciço), sendo os maciços das espias localizados pela distância relativa ao poste de catenária (cota D).

4.1.2 Características Gerais da Instalação

Conforme referido, neste troço, será utilizado o sistema de catenária LP12 que respeitará as regras e definições do acervo normativo da IP, designadamente a GR.IT.CAT.034.

O sistema de catenária LP12 estará apto para a passagem do pantógrafo interoperável com perfil de 1600 mm, conforme definido no anexo A.2.1 da EN 50367:2012, e também para a passagem do pantógrafo “português com perfil de 1450 mm.

As regras de piquetagem a aplicar são as da Zona de Vento A, com a exceção nos vãos com postes instalados sobre as obras de arte. Na faixa costeira de 5 km ou em altitudes superiores a 600 m, será considerado Zona de Vento B.

Os apoios para a suspensão da catenária serão do tipo postes simples. As exceções são nas zonas de bifurcação/incorporação com as vias gerais e com a Linha do Norte, onde a suspensão da catenária deverá ser feita sobre pórticos rígidos devido à falta de espaço nas entrevias.

4.1.3 Altura do fio de contacto

A altura nominal do fio de contacto é 5,50 m. A variação da altura do fio de contacto respeitará o definido na Tabela 12 da EN 50119:2020 para velocidades até 220 km/h.

Quadro 9 – Variação da altura do fio de contacto

Velocidade até km/h	Gradiente (1/x)	Gradiente (‰)	Diferença de gradiente (1/x)	Diferença de gradiente (‰)
10	1/17	60	1/33	30
30	1/25	40	1/50	20
50	1/40	25	1/80	12,5
60	1/50	20	1/100	10
100	1/167	6	1/333	3
120	1/250	4	1/500	2
160	1/300	3,3	1/600	1,7
200	1/500	2	1/1 000	1
250	1/1 000	1	1/2 000	0,5
> 250	0	0	0	0

4.1.4 Regras de Piquetagem

As regras de piquetagem definidas permitem um vão máximo de 63 m. Neste troço de ligação à Linha do Norte em Canelas, genericamente serão aplicadas as regras de piquetagem para a Zona de Vento A, exceto nas pontes e viadutos, na faixa costeira de 5 km ou em altitudes superiores a 600 m onde serão aplicadas as regras de piquetagem para Zona de Vento B.

As regras de piquetagem para a LP12 seguem o especificado na GR.IT.CAT.005. Se prevê a eletrificação de curvas com raios mínimos de 1750 m.

Na data de redação deste documento, foram previstos um total de 10 lanços tanto para a via ascendente quanto para a via descendente, conforme representados nas Figuras seguintes, respetivamente.

Esses lances foram projetados levando em consideração os pontos singulares do presente trecho, como as interfaces com a LAV e a Linha do Norte, as pontes e viadutos, as SLA e as zonas neutras.



Figura 8 - Piquetagem via ascendente. Lanços (em vermelho) e zonas comuns (em amarelo).

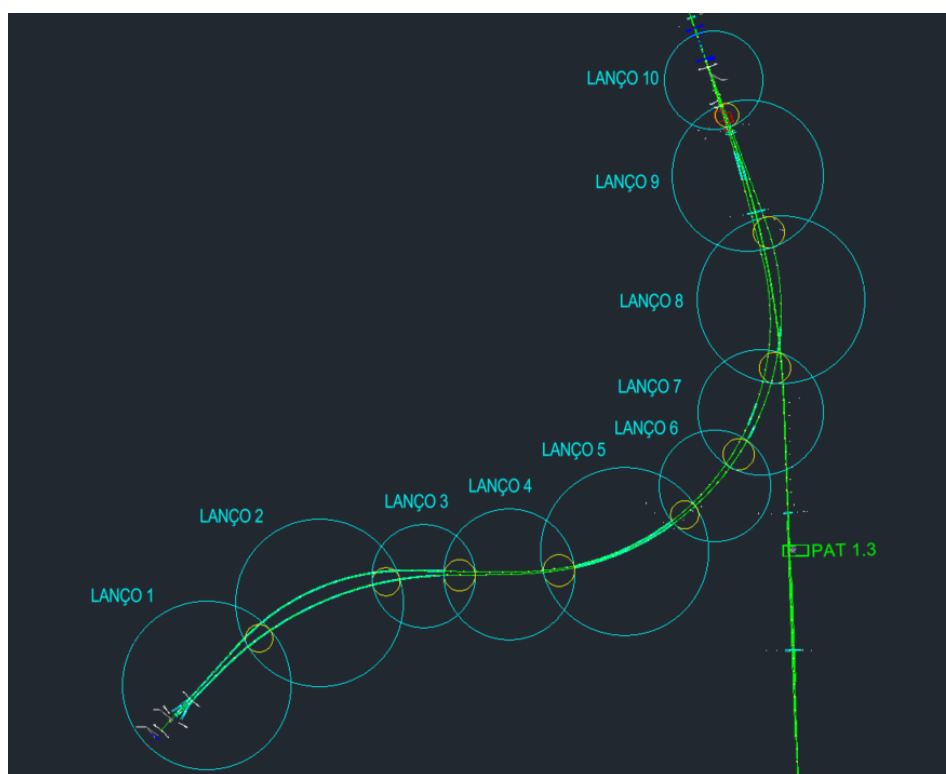


Figura 9 - Piquetagem via descendente. Lanços (em azul) e zonas comuns (em amarelo).

4.1.5 Consola

A consola da LP12 é constituída em tubos de aço galvanizado (des. EC-232).

A consola é equipada com fixação rígida do cabo de suporte (CS), estando o antibalançante livre para movimentos oscilatórios do sistema.

Os isoladores serão geralmente do tipo cerâmico, nas zonas de traçado sujeitas a vandalismo poderá considerar-se do tipo sintético, neste troço (LAV) considera-se nesta fase do projeto apenas a instalação de isoladores sintéticos. As ferragens para fixação da consola à viga do poste, que é do tipo HE, são:

fixa no tirante (no desenvolvimento do projeto será validada a possibilidade de ser regulável);
regulável no pé de consola, assegurando-se eixos de rotação coaxiais.

O dimensionamento das consolas será efetuado conforme disposto na GR.IT.CAT.007.

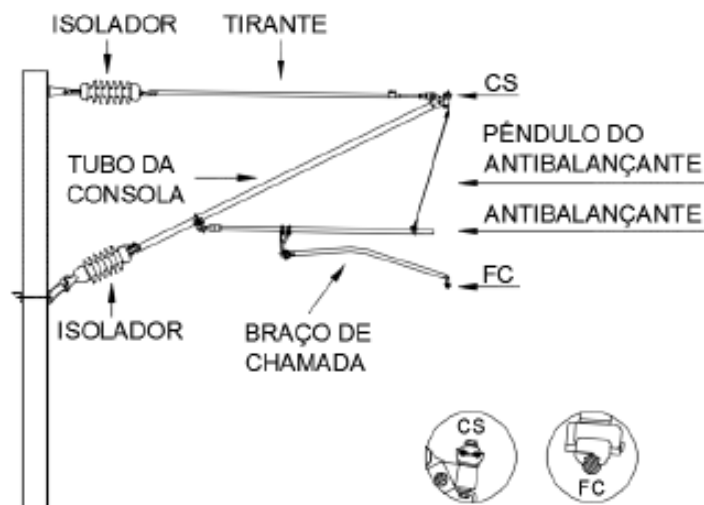


Figura 10 - Consola LP12

O braço de chamada utilizado neste sistema de catenária é do tipo curvo em liga de alumínio magnésio de acordo com o desenho EC-114.

4.1.6 Pórticos

Na zona dos aparelhos de mudança de via para a incorporação com as ligações de Canelas, os espaços para implantação dos postes são reduzidos. Por essa razão, recorre-se a montagens em pórtico ou a postes para duas vias atirantados. Nestas situações, as consolas são fixadas a postaletes.

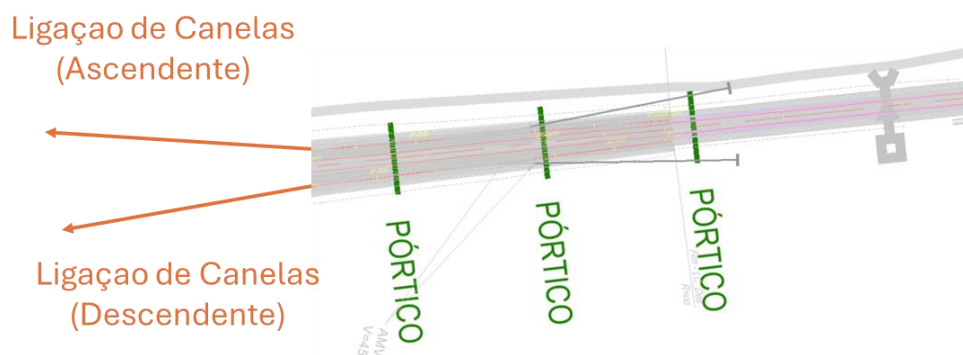


Figura 11 - Captura da localização dos pórticos na zona de incorporação a Canelas

Considerando a velocidade de circulação prevista neste troço, os pórticos a instalar são do tipo rígidos autoportantes constituídos por vigas verticais em perfil HEB320 e viga horizontal em treliça. Há a necessidade de assegurar um afastamento adequado entre os postaletes com as vias adjacentes para garantir a guarda de ar aos pantógrafos a circular nessas vias. Atendendo à dimensão do pantógrafo, à sua oscilação máxima e à guarda de ar, a menor distância para montar os postaletes de consola à via adjacente é de 1,6 m. No postaleta a consola pode ser montada com uma distância, eixo da via – eixo do postaleta, mínima de 2,0 m em montagem à compressão. Com montagem à tração esta distância terá de ser naturalmente maior para comportar o braço de chamada.

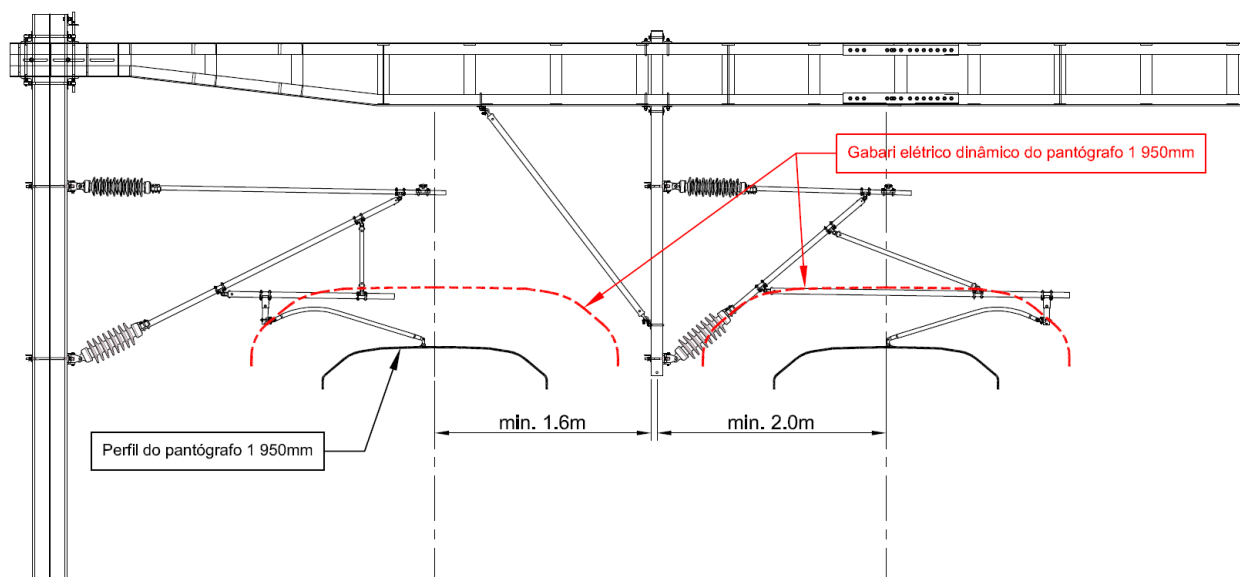


Figura 12 - Gabarito para as vias adjacentes

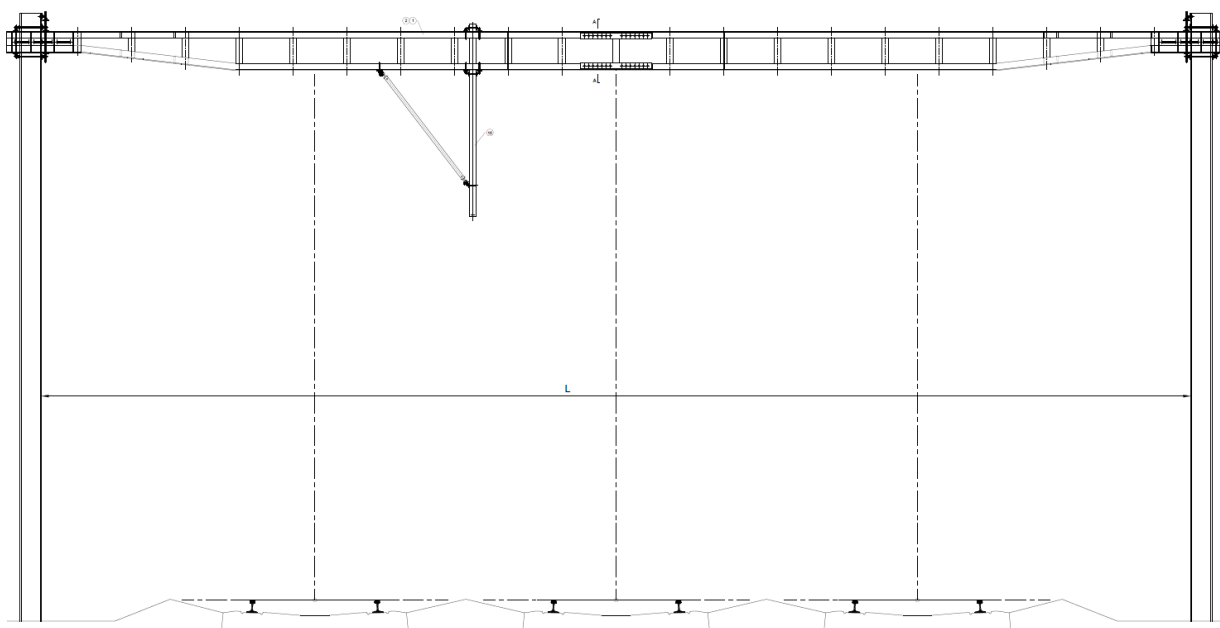


Figura 13 - Desenho de Principio do Pórtico Autoportante

Para assegurar o afastamento entre as consolas de secções elementares diferentes, o gabarito elétrico às estruturas das consolas adjacentes e também para evitar que os pantógrafos passem por baixo das peças de fixação dos braços de chamada das vias adjacentes, optou-se pela utilização de braços de chamada de 1,40m que funcionam à compressão, conforme a referência tipo 203617 da Galland ou equivalente.

Estes braços apenas são montados nas vias secundárias ou ramos desviados das diagonais. Admitese um desalinhamento máximo de 200 mm do lado contrário ao eixo do pantógrafo. O gabarito

mecânico é assegurado até uma sobrelevação de 200 mm, no entanto para a montagem apenas se admite uma sobrelevação de 100 mm.

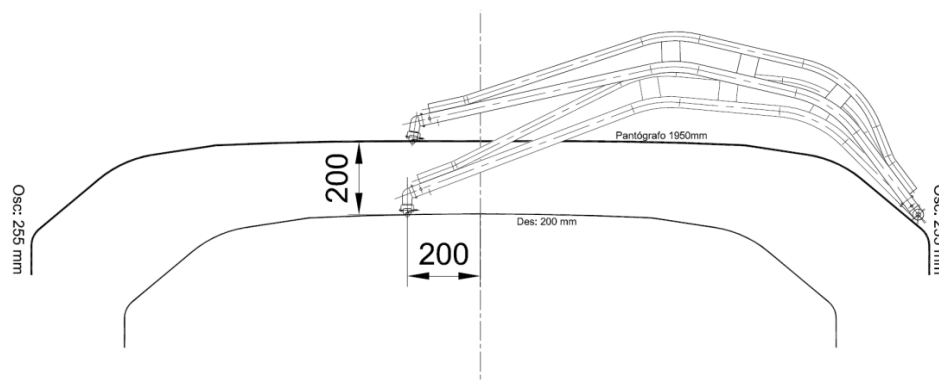


Figura 14 - Braço de chamada à compressão – Verificação de gabari dinâmico com o pantógrafo 1 950 mm

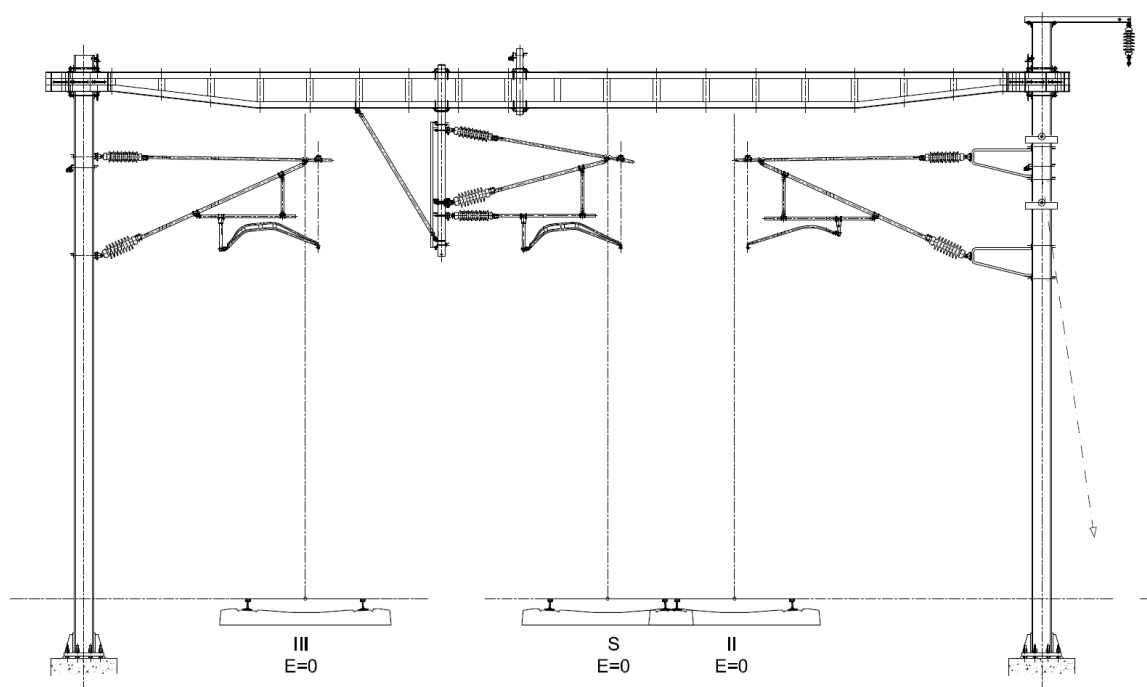


Figura 15 - Montagem em pórtico com braços à compressão

4.1.7 Lanços e compensação da catenária

As catenárias a aplicar serão do tipo compensadas. A gama de temperaturas considerada para este troço respeita o definido na IT.CAT.034 (-10 °C a 65 °C).

Considerando que depois da última consola dupla ainda existe o vão até amarração admite-se para a LP12 um comprimento máximo do meio lanço de 700 m, que corresponde a um lanço com comprimento máximo de 1 400 m.

Os aparelhos tensores a aplicar com relação 1:5 respeitarão também o especificado na IT.CAT.034. Para um meio lanço com 700 m, o curso do aparelho tensor estará limitado a 4,15 m ($0,83 \times 5$).

No caso da LP12 o equipamento tensor é único com amarração do fio de contacto e do cabo de suporte serão amarrados em conjunto (EC-219, EC-230 e EC-231).

Os contrapesos a aplicar são os de ferro fundido (EC-221).

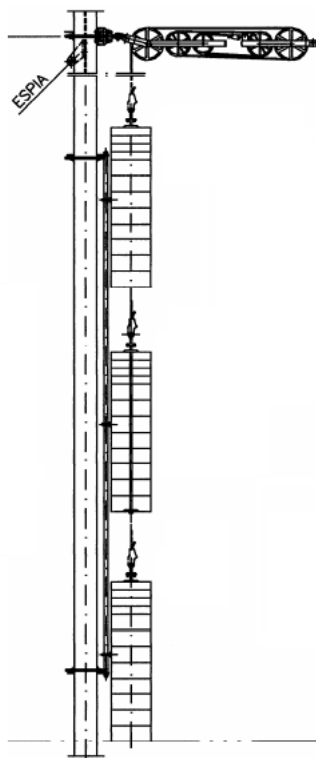
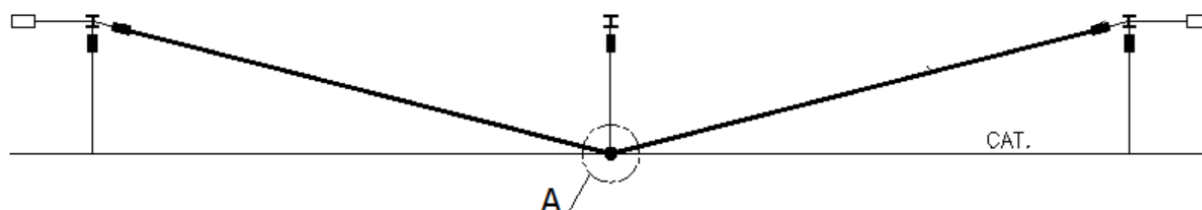


Figura 16 - Aparelhos Tensores LP12

4.1.8 Antideslizamento

Os antideslizamentos na catenária LP12 serão realizados ao cabo de suporte conforme especificado na IT.CAT.034. A imobilização do CS é feita através de um cabo Bz de 65 mm² de secção, que liga a pinça do CS da consola de eixo do antideslizamento aos dois postes adjacentes (des. E-6192).



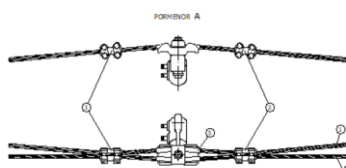


Figura 17 - Antideslizamento LP12

4.1.9 Pêndulos

Os pêndulos permitem suportar o fio de contacto do cabo de suporte (E-7173, mont. IV), neste sistema os mesmos não têm a função de condução elétrica, tendo de ser instaladas conexões ao longo do traçado. A fixação dos pêndulos aos cabos é realizada por encaixe e os cabos cravados mecanicamente aos terminais.

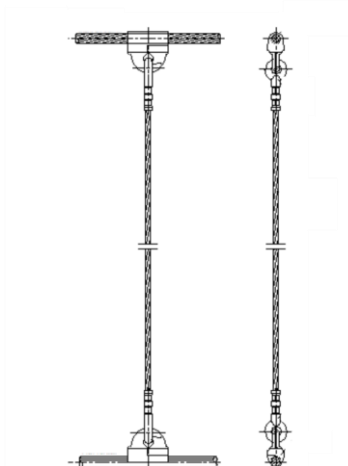


Figura 18 - Pendulo LP12

A distância máxima entre pêndulos é de 9,00m.

4.1.10 Zonas Comuns e Seccionamentos de Lâmina de Ar

As zonas comuns e seccionamentos de lâmina de ar efetuam a separação mecânica de dois lanços.

As zonas comuns e seccionamentos de lâmina de ar são efetuados normalmente em 4 vãos, sendo dois de amarração conforme especificado pela IP. Ambos os lanços serão suportados por consolas montadas em postes ou em pórticos rígidos.

O esquema simplificado da montagem consta das duas figuras seguintes:

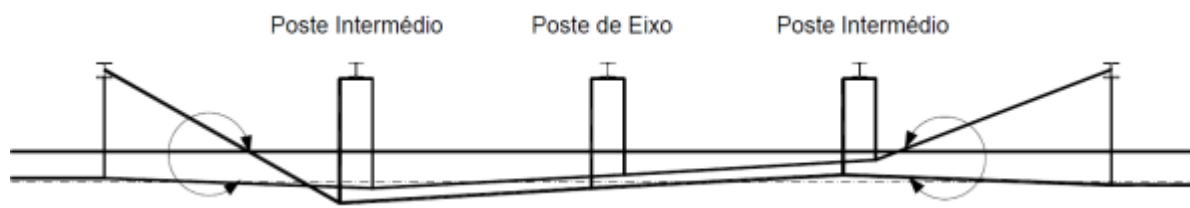


Figura 19 - Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em planta



Figura 20 - Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em perfil

O valor da sobrelevação do fio de contacto (r) é variável dependendo do valor do vão entre os postes intermédios.

4.1.10.1 Zonas Comuns

As zonas comuns destinam-se a fazer a separação mecânica de dois lanços de catenária sem os separar eletricamente. São montagens essenciais na compensação das catenárias face às variações de temperatura desta.

Nos dois vãos de sobrelevação, os dois lanços de catenária desenvolvem-se em planos paralelos distanciados de 0,20 m.

No caso de montagem em plena via, os postes intermédios suportarão consolas duplas sendo uma delas montada com o cabo de suporte a 1,80 m acima do Fio de Contacto em serviço (Consola sobrelevada), e a outra montada com a abertura nominal de 1,40 m (Consola em serviço). No poste de eixo da zona comum a consola curta terá uma abertura de 1,80 m e a consola longa de 1,40 m.

O esquema de princípio das zonas comuns, com consolas montadas em postes, em alinhamento reto e curva consta das duas figuras seguintes:

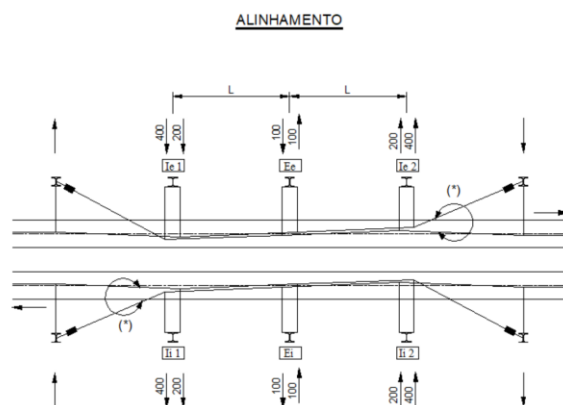


Figura 21 - Zona comum – piquetagem em alinhamento reto

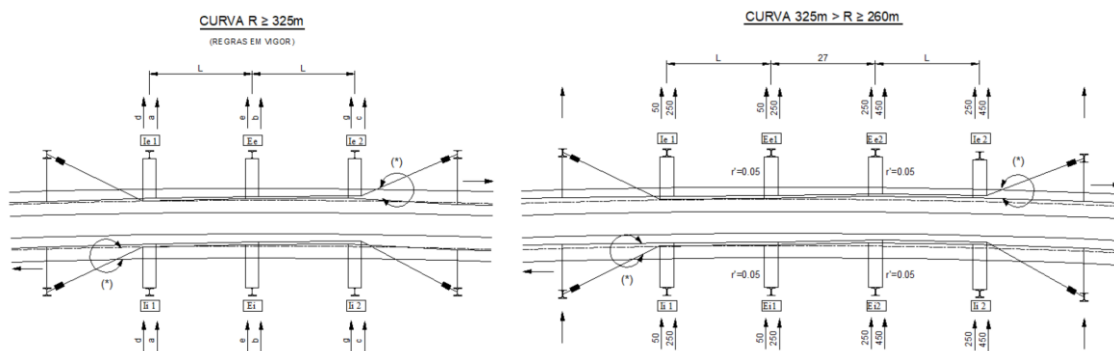


Figura 22 - Zona comum – piquetagem em curvas

O esquema de princípio das zonas comuns, com pórticos, em alinhamento reto e curva consta das duas figuras seguintes:

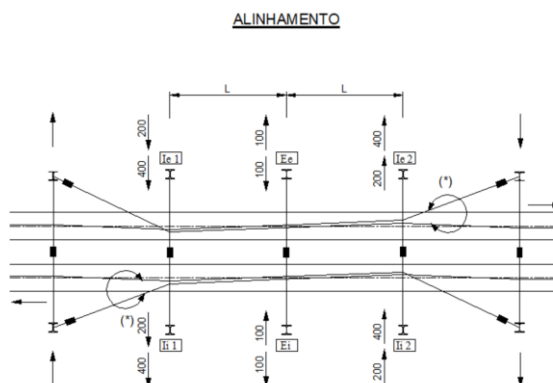


Figura 23 - Zona comum em pórticos – piquetagem em alinhamento reto

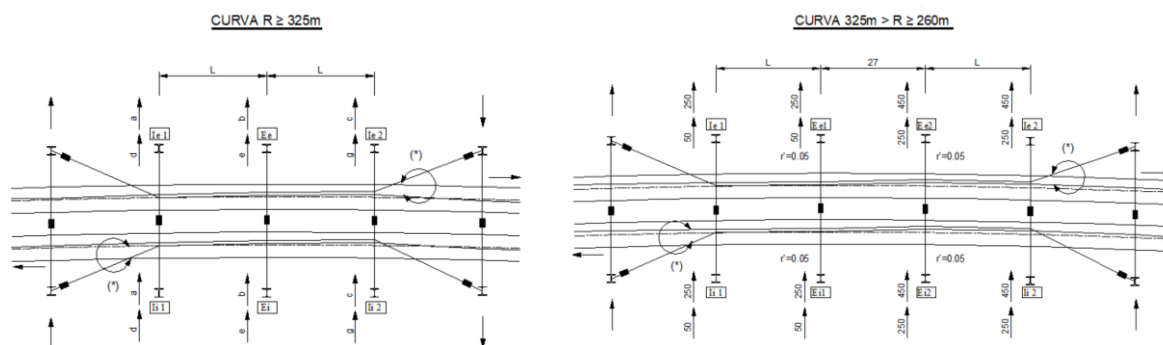


Figura 24 - Zona comum em pórticos – piquetagem em curvas

No caso de curvas com raio entre 260 m e 325 m a zona comum tem um comprimento maior sendo equipada com mais postes com as respetivas consolas ou pórtico.

O valor dos vãos de sobrelevação (L) e dos desalinhamentos (a, b, c, d, e, g) são definidos, tendo em conta o raio da curva, de acordo com o apresentado nos quadros do desenho E-7175 da IP.

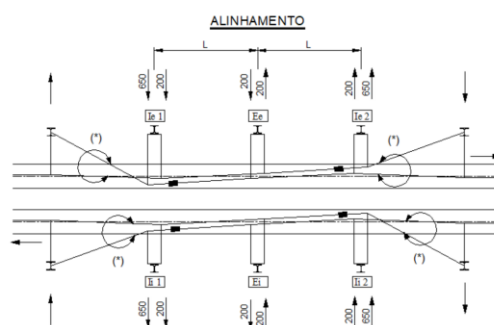
4.1.10.2 Seccionamentos de Lâmina de Ar

Os seccionamentos de lâmina de ar destinam-se a permitir a separação elétrica entre dois lanços de catenária fazendo simultaneamente a sua separação mecânica. A ligação elétrica é realizada através de um seccionador São também efetuados normalmente em 4 vãos, sendo dois de amarração.

Nos dois vãos de sobrelevação, os dois lanços de catenária desenvolvem-se em planos paralelos distanciados de 0,40 m, existindo um isolamento para realizar a separação elétrica.

No caso de montagem em plena via, os postes intermédios suportarão consolas duplas sendo uma delas montada com o cabo de suporte a 1,80 m acima do Fio de Contacto em serviço (Consola sobrelevada), e a outra montada com a abertura nominal de 1,40 m (Consola em serviço). No poste de eixo do seccionamento de lâmina de ar a consola curta terá uma abertura de 1,80 m e a consola longa de 1,40 m.

O esquema de princípio dos seccionamentos de lâmina de ar em alinhamento reto e curva consta das duas figuras seguintes:



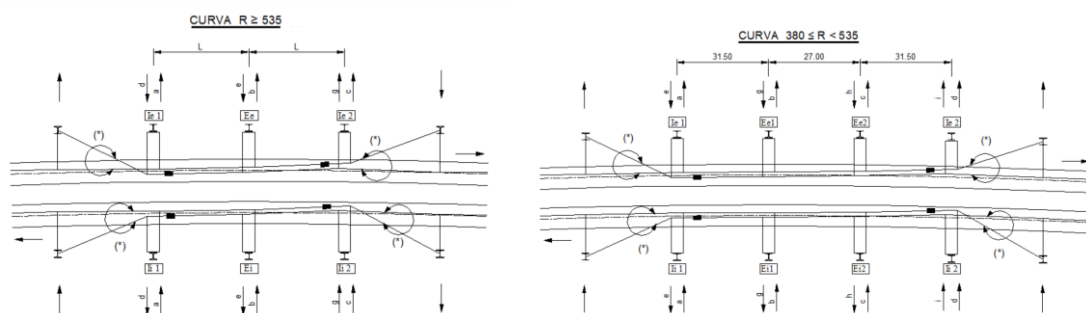


Figura 25 - Seccionamento de lâmina de ar – piquetagem em alinhamento reto e curva

O esquema de princípio dos seccionamentos de lâmina de ar, com pórticos, em alinhamento reto e curva consta das duas figuras seguintes:

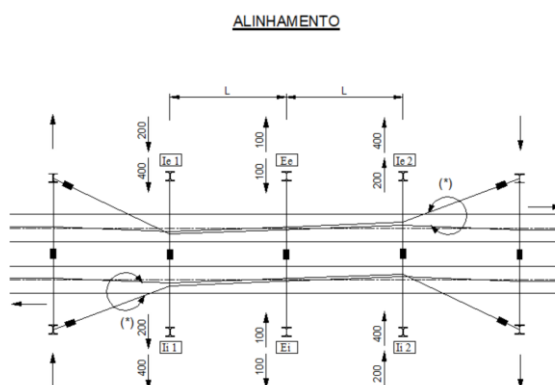


Figura 26 - Seccionamento de lâmina de ar com pórticos – piquetagem em alinhamento reto

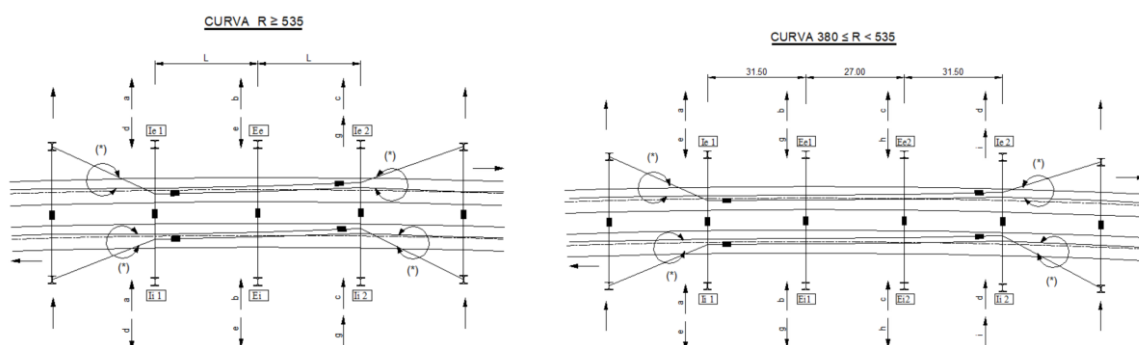


Figura 27 - Seccionamento de lâmina de ar com pórticos– piquetagem em curvas

No caso de curvas com raio entre 260 m e 325 m o seccionamento de lâmina de ar tem um comprimento maior sendo equipada com mais postes com as respetivas consolas ou pórtico.

O valor dos vãos de sobrelevação (L) e dos desalinhamentos (a, b, c, d, e, g, h, i) são definidos, tendo em conta o raio da curva, de acordo com o apresentado nos quadros do desenho E-7178 da IP.

4.1.11 Aparelhos de Mudança de Via

Com este tipo de catenária só se encontra previsto a eletrificação dos AMVs de ligação à Linha do Norte ao PK281+260.

Neste caso será utilizado um equipamento tangencial que se caracteriza por a catenária que equipa o ramo direto do aparelho não cruzar em serviço a catenária que equipa o ramo desviado. Um poste de AMV garantirá os necessários desalinhamentos às duas catenárias para que seja garantido o bom funcionamento do sistema. Todos os pormenores cumprem o especificado na IT.CAT.044 da IP.

4.1.12 Zonas Neutras

A interface entre a linha de alta velocidade e a Linha do Norte será realizada através de duas ligações em Canelas, onde se prevê a implementação de uma zona neutra, conforme ilustrado na **Error! Reference source not found..** Esta zona neutra, que se estende do pk 7+881 ao pk 7+960 para a via ascendente, e do pk 7+863 ao pk 7+942 para a via descendente, terá como função principal a separação elétrica. Será constituída por duas zonas neutras seccionadas (curtas - 79 m), em conformidade com as especificações da Norma EN 50367 e da Norma GR.IT.CAT.045.

A zona neutra é composta por cinco vãos, três vãos de 27,0 m, um de transição e dois de amarração. O vão de transição tem como função minimizar as forças radiais da catenária que vem da amarração.

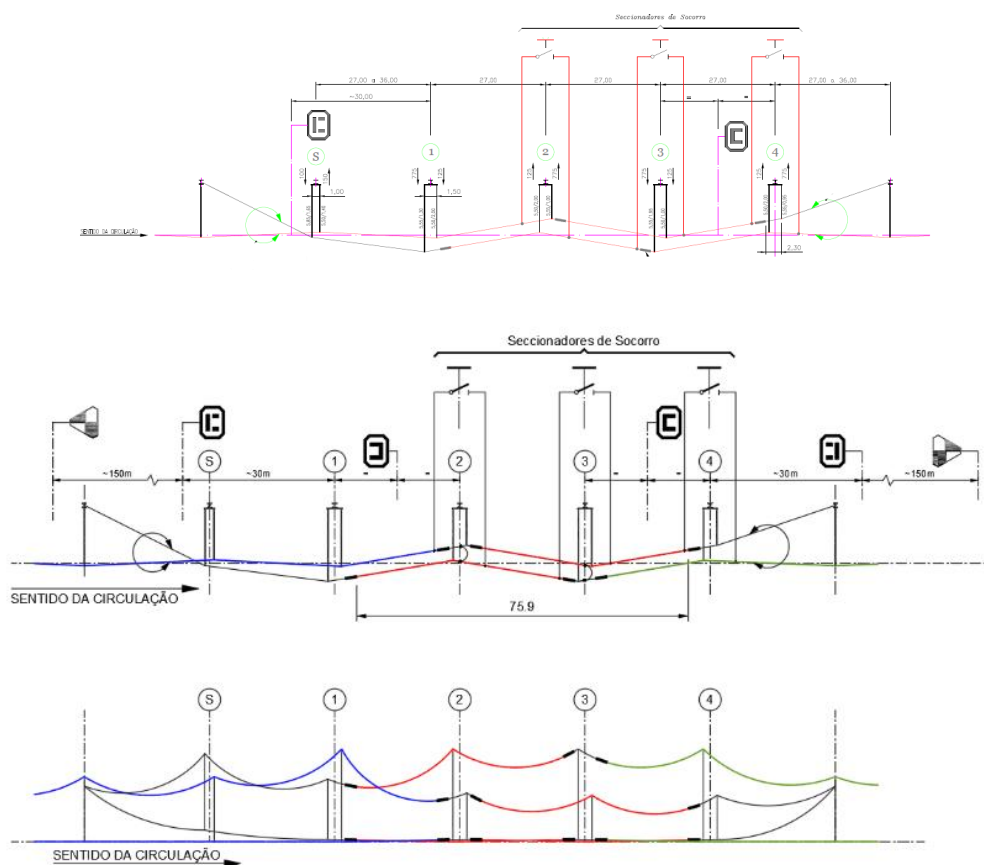


Figura 28 - Zona neutra seccionada – Planta

Os isolamentos encontram-se a 2,3 m do suporte de acordo com o desenho EC-118 da IP. As catenárias das consolas do mesmo poste encontram-se ao mesmo potencial pelo que não há necessidade de assegurar guarda de ar entre elas.

As Zonas Neutras foram relocizadas em relação à proposta inicial do caderno de encargos. Originalmente, estava previsto que se localizariam entre o Pk 7+660 e o Pk 7+760 para a via ascendente, e entre o Pk 7+846 e o Pk 7+946 para a via descendente. Essa alteração foi feita para evitar que as Zonas Neutras coincidisse com o âmbito do Passo Superior 23.1 (Pk 23+417 da LAV), que cruza tanto as vias gerais quanto as vias da ligação de Canelas.

O sistema de energia de alta velocidade operará de forma autónoma e ininterrupta, mesmo perante avarias na rede ferroviária convencional. Isso significa que nenhuma falha na linha convencional (Linha do Norte) afetará a disponibilidade e o funcionamento do sistema de alta velocidade.

A Zona Neutra (ZN) seccionada curta é composta por três lâminas-de-ar e é utilizada em linhas com velocidades inferiores a 220 km/h. Possui duas catenárias paralelas com troços neutros desfasados, montadas entre os apoios 1 e 4, com vãos de 27,0 m. O comprimento efetivo da ZN é 75,90 m.

Para pantógrafos múltiplos, é exigido que a distância entre pantógrafos não consecutivos seja superior a 81 m. A montagem requer um alinhamento reto mínimo de 81 m.

As três lâminas-de-ar asseguram:

- Guarda de ar estática de 540 mm (cumulativa).
- Guarda de ar dinâmica de 300 mm por lâmina (permitindo curto-circuito de duas durante a passagem de trens).

Nos apoios, as duas catenárias apresentam um desalinhamento de 650 mm, mas os isolamentos garantem que consolas e catenárias estejam ao mesmo potencial.

A montagem cumpre os requisitos de interoperabilidade, com um comprimento de ZN dentro do limite permitido. A montagem desta ZN exige um alinhamento reto mínimo de 81 m.

4.1.13 Feeder negativo

A ligação convencional de Canelas é eletrificada a 1x25kV CA sem Feeder.

4.1.14 Cabo de Terra Aéreo

O cabo de terra aéreo é um dos elementos que constitui o sistema de Retorno de Corrente de Tração, Terras e Proteções (RCT+TP). Tem como função, em conjunto com restantes componentes do RCT+TP, assegurar um caminho para a corrente de retorno do sistema de tração e criar um ambiente seguro para pessoas e equipamentos contra os fenómenos eletromagnéticos que existem devido à eletrificação ferroviária. Todos os postes de catenária serão ligados entre si por um cabo de terra aéreo de alumínio-aço de 93,3 mm² de secção. A cota de fixação do cabo de terra aéreo ao poste é tipicamente 20 cm abaixo da fixação do tirante (consola simples).

O cabo de terra aéreo é montado com uma força tensora de 300 kgf à temperatura de 20 °C, sem vento.

4.1.15 Postes

Os postes de suporte da catenária serão vigas do tipo HE. Para minimizar a diversidade de perfis a aplicar, que terá benefícios diretos tanto na execução da obra como para a manutenção, decorrente da experiência acumulada de outros projetos, apenas serão utilizados 6 perfis diferentes: HEA200; HEB220; HEB240; HEA300; HEB320.

As vigas terão uma base soldada, de acordo com o especificado no desenho C-11032, que serão fixadas aos maciços através de pernos roscados – tipo cércea, permitindo um melhor faseamento e melhores rendimentos em obra. O número de pernos e dimensão da base/cércea depende dos esforços aplicados. As cérceas usadas e o momento máximo aplicado são as seguintes:

- C1 – 6000 daNm;
- C2 – 9500 daNm;
- C3 – 20000 daNm.

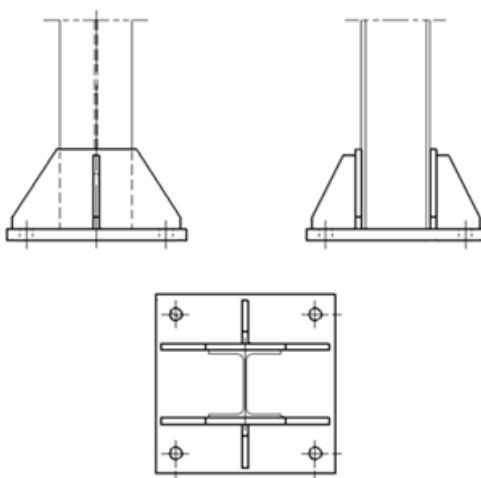


Figura 29 - Base em cércea

Esta solução aplica-se à totalidade do troço, seja em plataforma ou em obra de arte.

4.1.16 Espiamento

O espiamento a utilizar neste troço será do tipo sobreelevado. À semelhança das vigas dos postes de catenária, as vigas a utilizar nos postaletes das espias serão do tipo HE fixadas às fundações através de cércea (C1 a C3 conforme desenho C-11032). Esta solução aplica-se à totalidade do troço, seja em plataforma ou em obra de arte.

Preferencialmente serão utilizadas fundações cilíndricas para as espias (conforme detalhado no ANEXO II). A espia será instalada com um ângulo de 45° e a altura de fixação ao postaleta é 2,10m.

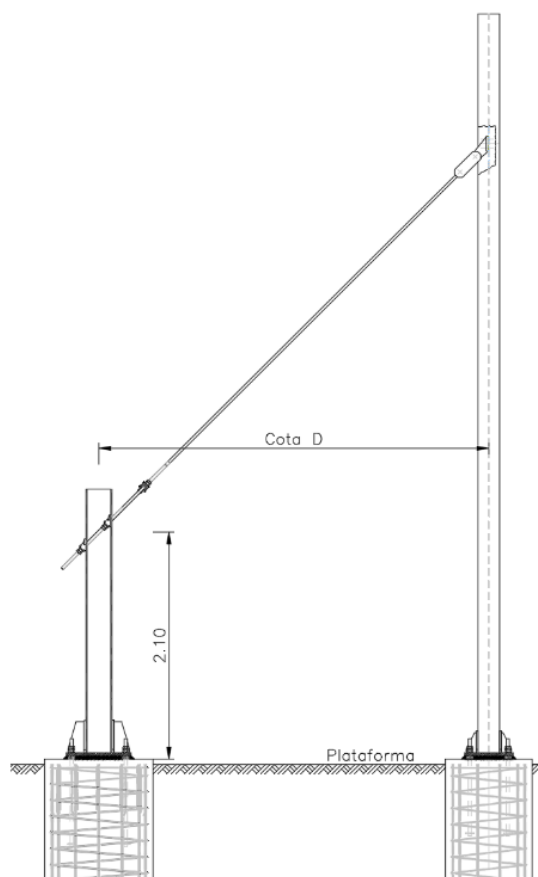


Figura 30 - Espiamento sobrelevado – Exemplo de fundação cilíndrica

4.1.17 Fundações

4.1.17.1 Plataforma / Solo

Os maciços de fundação a utilizar nos postes de catenária são do tipo cilíndrico em betão armado. Para os maciços de fundação dos espiamentos são utilizados maciços em betão armado com tipologia cilíndrica para as aplicações com menores esforços de tração e paralelepipedica para as aplicações com maiores esforços.

O dimensionamento dos maciços depende da caracterização geológica dos solos e da plataforma a executar.

Para utilização neste projeto, serão utilizados tipos de maciços de fundação normalizados apresentados na GR.IT.CAT.004.

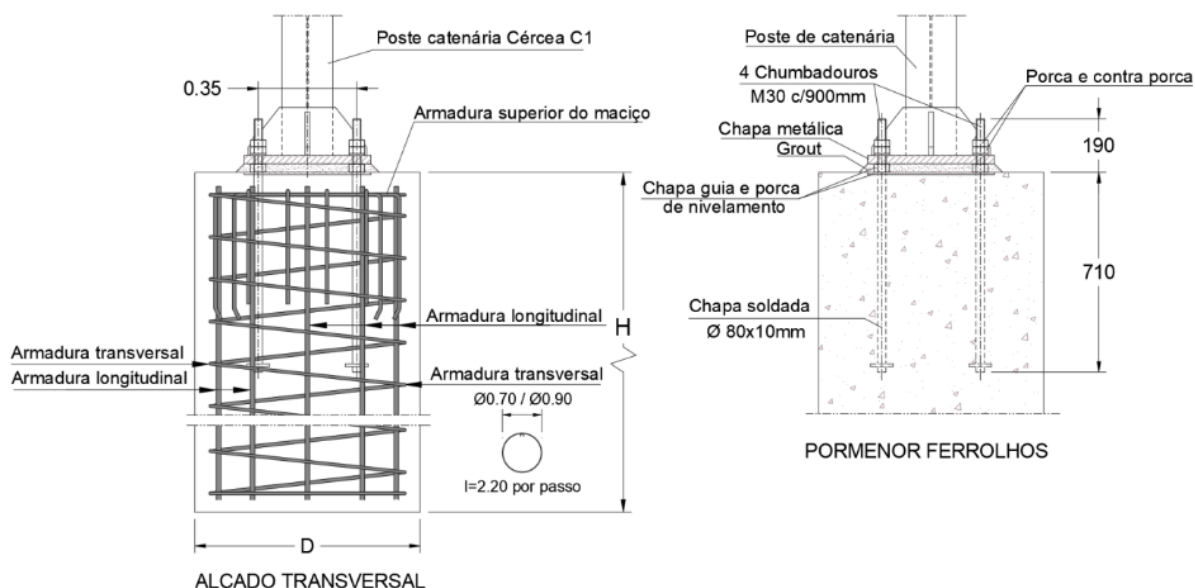


Figura 31 - Detalhe fundação cilíndrica

Os tipos de fundação selecionados seguirão apenas os princípios definidos no GR.IT.CAT.004, conforme apresentado na tabela seguinte. Para mais detalhes, referir-se ao Anexo II.

Quadro 10 – Tipos de Maciços de Fundação

Designação	Tipo	Tipo de Utilização	Pressão máxima admissível (MPa)
CAnt	Cilíndrico armado para poste de catenária	Aterro – terreno “normal”	0,2
CAne	Cilíndrico armado para poste de catenária	Escavação– terreno “normal”	0,2
CAre	Cilíndrico armado para poste de catenária	Escavação– terreno “rochoso”	0,4
AsCAN	Cilíndrico armado para espíamento sobreelevado	Terreno “normal”	0,2
AsCAr	Cilíndrico armado para espíamento sobreelevado	Terreno “rochoso”	0,4
AsPAN	Paralelepípedo armado para espíamento sobreelevado	Terreno “normal”	0,2

Nos postes equipados com aparelhagem elétrica (seccionadores, transformadores de tensão ou transformadores de alimentação), será instalado um tubo PEAD 110 mm entre a fundação e a caixa de inspeção para onde serão direcionados os cabos de energia. O tubo será tamponado com espuma expansiva de poliuretano.

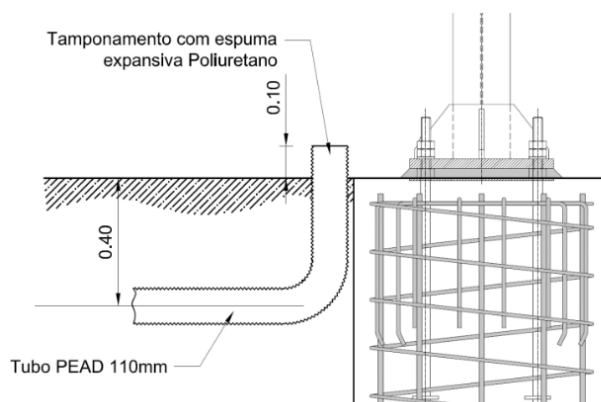


Figura 32 - Tubo PEAD 110 mm para passagem de cabos de energia entre o poste e a caixa de inspeção

4.1.18 Caracterização geotécnica (definição de fundações)

Os tipos de maciços em cada troço, em função das características do solo, serão definidos na fase sucessiva. O Anexo II descreve as diferentes tipologias de maciços com base no tipo de poste o pórtico e nas características geológicas e geotécnicas do solo.

4.1.18.1 Pontes e Viadutos

Nas pontes e viadutos os postes terão uma base soldada e serão montados na obra de arte através de 4 ou mais pernos roscados fixados na estrutura (tipo cércea). Tipicamente serão usadas as bases e cérceas definidas no normativo de catenária da IP. O número de pernos e dimensão da base/cércea depende dos esforços aplicados.

Para proteção da estrutura os pernos de fixação dos postes de catenária serão eletricamente ligados aos varões titulares de RCT+TP embutidos na estrutura.

Por redundância foram previstas sempre dois maciços de fixação idênticos e adjacentes. Os pernos do maciço de reserva serão protegidos com massa e tampas plásticas.

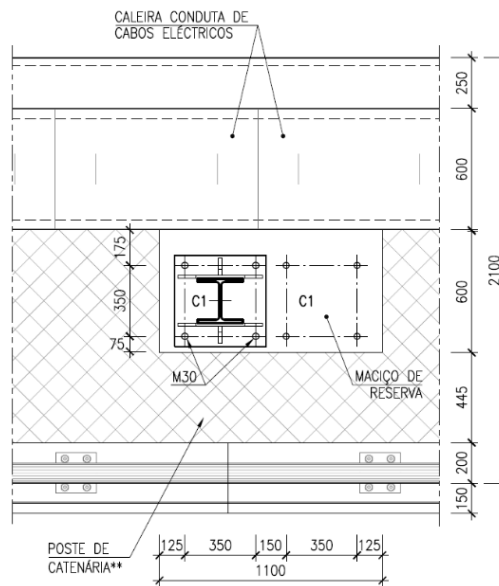


Figura 33 - Maciço de fixação de poste em obra de arte

4.1.19 Túneis

Não existem túneis no troço a eletrificar.

4.1.20 Passagens Superiores

Não existem passagens superiores no troço a eletrificar.

4.1.21 ESQUEMA ELÉCTRICO

4.1.21.1 Introdução

O esquema elétrico do presente troço foi desenvolvido tendo por base os requisitos de eletrificação e o layout de via que corresponde à solução definida em projeto.

Além dos elementos correspondentes à eletrificação, este desenho permite observar a localização das obras de arte (OAE, PS e PI e PA), devidamente compatibilizadas com o projeto de catenária.

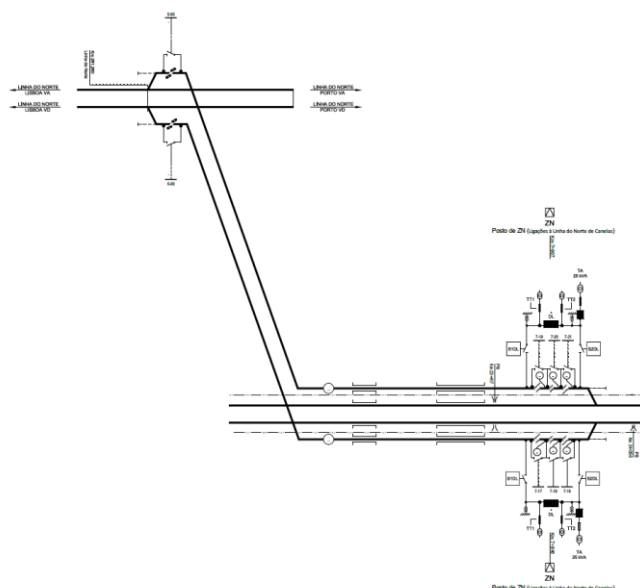


Figura 34 - Captura do esquema elétrico

4.1.22 Instalação de Seccionamentos de Lâmina de Ar

A instalação dos seccionamentos de lâmina de ar (SLA's) não poderá ser montado em curvas de raio inferior a 380m.

Tratando-se do sistema 25kV, os SLA's (na generalidade dos casos) serão equipados com um Posto Auxiliar, conforme o desenho EC-258 da IP.

4.1.23 Telecomando de Seccionadores

Os cabos a utilizar para alimentação, sinal e comando associado aos equipamentos elétricos de catenária, serão os indicados na IT.ENT.001 da IP.

Estes cabos são encaminhados para o Edifício Técnico ou cabina mais próxima. Não está prevista a construção de cabinas destinadas exclusivamente ao telecomando de catenária no âmbito deste projeto.

4.1.23.1 Ligação à Subestação e aos Postos Autotransformador

Não existem Ligação à Subestação e aos Postos Autotransformador no troço a eletrificar.

4.1.23.2 Instalação de Zonas Neutras

No âmbito da eletrificação do presente troço está prevista duas zonas neutras, uma para a via ascendente e outra para a via descendente.

4.1.23.3 Equipamento (ou Aparelhagem) Elétrico de Catenária

No presente troço é necessário instalar equipamentos elétricos, nomeadamente, transformadores de alimentação e de tensão e seccionadores que se encontram posicionados no posto da zona neutra assim como na ligação com a Linha do Norte.

4.1.23.3.1 Transformador de Alimentação

Os transformadores de alimentação são instalados em poste independente (sem consola de catenária), conforme desenho E-3214.

Quadro 11 – Transformadores de alimentação

Subtroço	PK	Potência	Instalações a alimentar
	7+907	25 kVA	ZN

A potência dos transformadores de alimentação será confirmada numa fase posterior, pela IP.

4.1.23.4 Transformador de Tensão

São previstos transformadores de tensão independentes para as secções elementares da zona neutra. Estes transformadores de tensão foram instalados, sempre que possível, junto aos postos de autotransformador para minimizar o comprimento do cabo de sinal a instalar.

Os transformadores de tensão são montados em postes de catenária recorrendo à montagem de princípio do desenho EC-237.

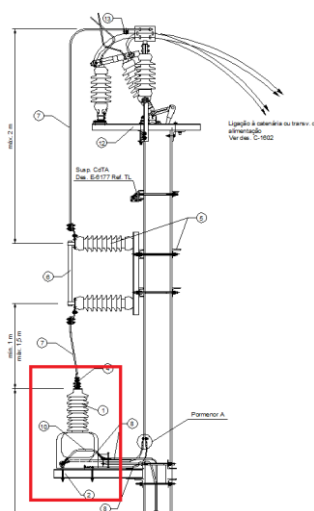


Figura 35 - Montagem de transformador de tensão em poste (EC-237)

4.1.23.5 Seccionador

Serão utilizados seccionadores simples telecomandados. Estes equipamentos apenas podem ser manobrados em vazio e serão montados em postes de catenária recorrendo à montagem de princípio do desenho C-1604.

Na zona neutra serão instalados três seccionadores simples para permitir o “socorro” em caso de paragem de comboios na zona sem tensão.

4.2 Características particulares

4.2.1.1 Traçado

O traçado para a ligação de Canelas se desenvolve entre o pk 0+000 e o pk 8+307 para a via ascendente, e entre o pk 0+000 e o pk 8+325 para a via descendente. No total, entre ambas as vias, há uma extensão aproximada de 9,4 km em plena via e 7,2 km em viaduto. Os raios de curva mais restritivos são de 1.750 m.

Neste troço estão previstas 8 obras de arte ferroviárias. Na maioria destas obras de arte será necessário instalar postes.

4.2.1.2 Perfil Tipo

Atendendo às definições apresentadas nos pontos anteriores, o perfil tipo da catenária em plena via é o apresentado na Figura 36 - Perfil tipo (normal) da catenária em Plena Via. Os cabos de energia ficarão a uma altura, em relação ao plano de rolamento de:

- Fio de contacto (FC) – 5,5 m
- Cabo de suporte (CS) – 6,9 m;

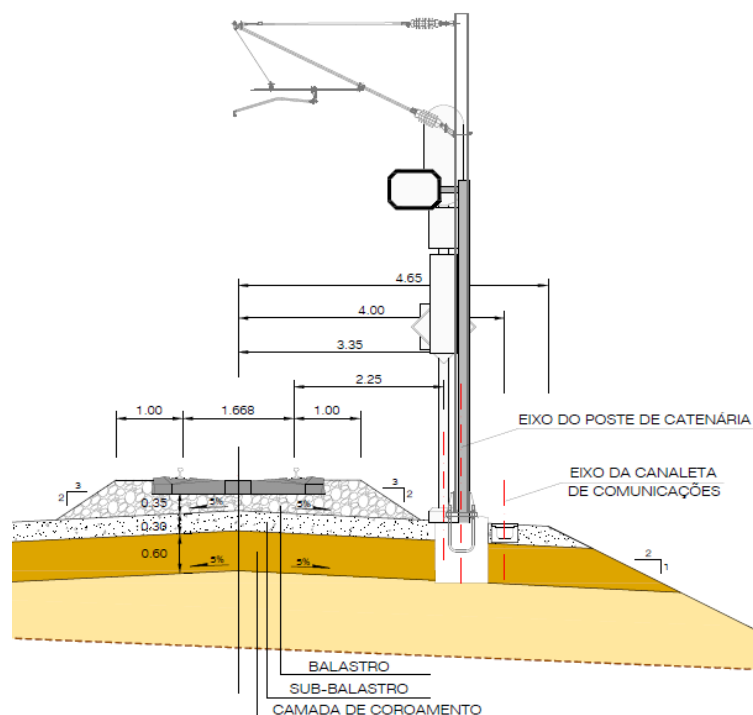


Figura 36 - Perfil tipo (normal) da catenária em Plena Via

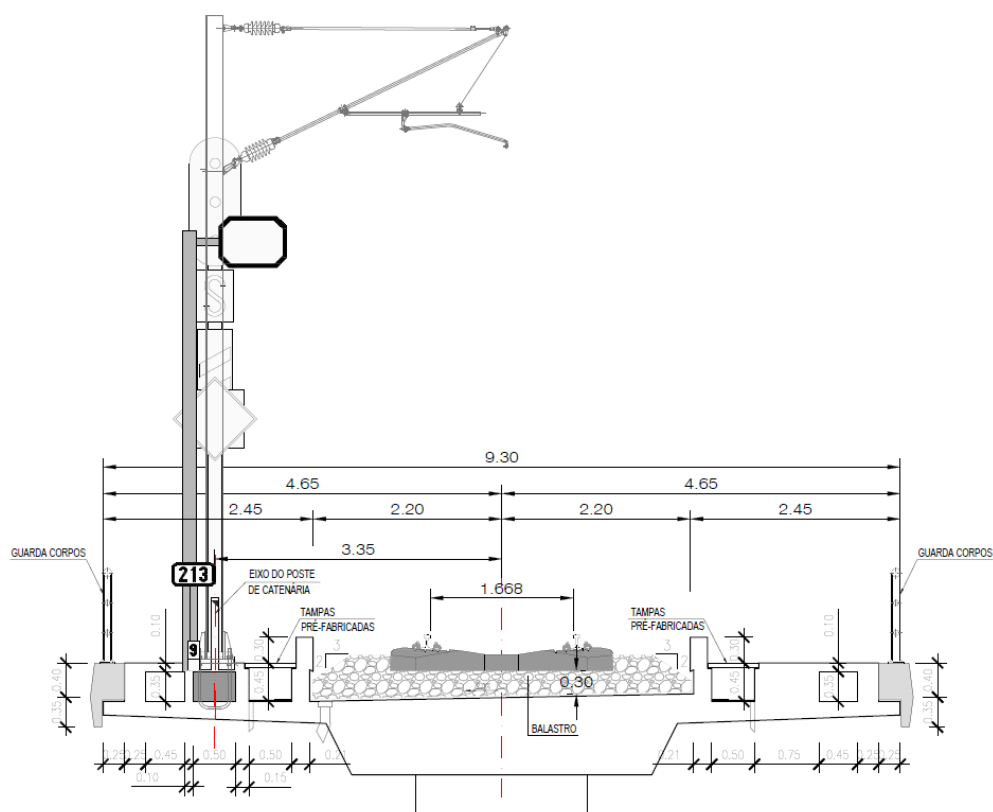


Figura 37 - Perfil tipo da catenária em Obra de Arte

4.3 Interfaces

As interfaces apresentadas no ponto são aplicáveis a este troço. Além destas, detalham-se de seguida as interfaces particulares para esta seção.

4.3.1.1 Interface entre a linha de alta velocidade e as ligações de canelas

As interconexões entre a linha de alta velocidade e as ligações de canelas serão realizadas com equipamentos similares aos tangenciais, porém com três catenárias. Esses aparelhos de mudança de via são projetados para serem instalados em vias com velocidade na via direta superior a 220 km/h (sendo a velocidade de circulação prevista de 300 km/h) e velocidade na via desviada de até 200 km/h (sendo a velocidade de circulação prevista na via desviada de 200 km/h).

Conforme pode ser observado na Figura a seguir, a transição entre os tipos de catenária (LP300 para LP12) é efetuada em uma zona comum dentro do próprio equipamento de mudança de via.

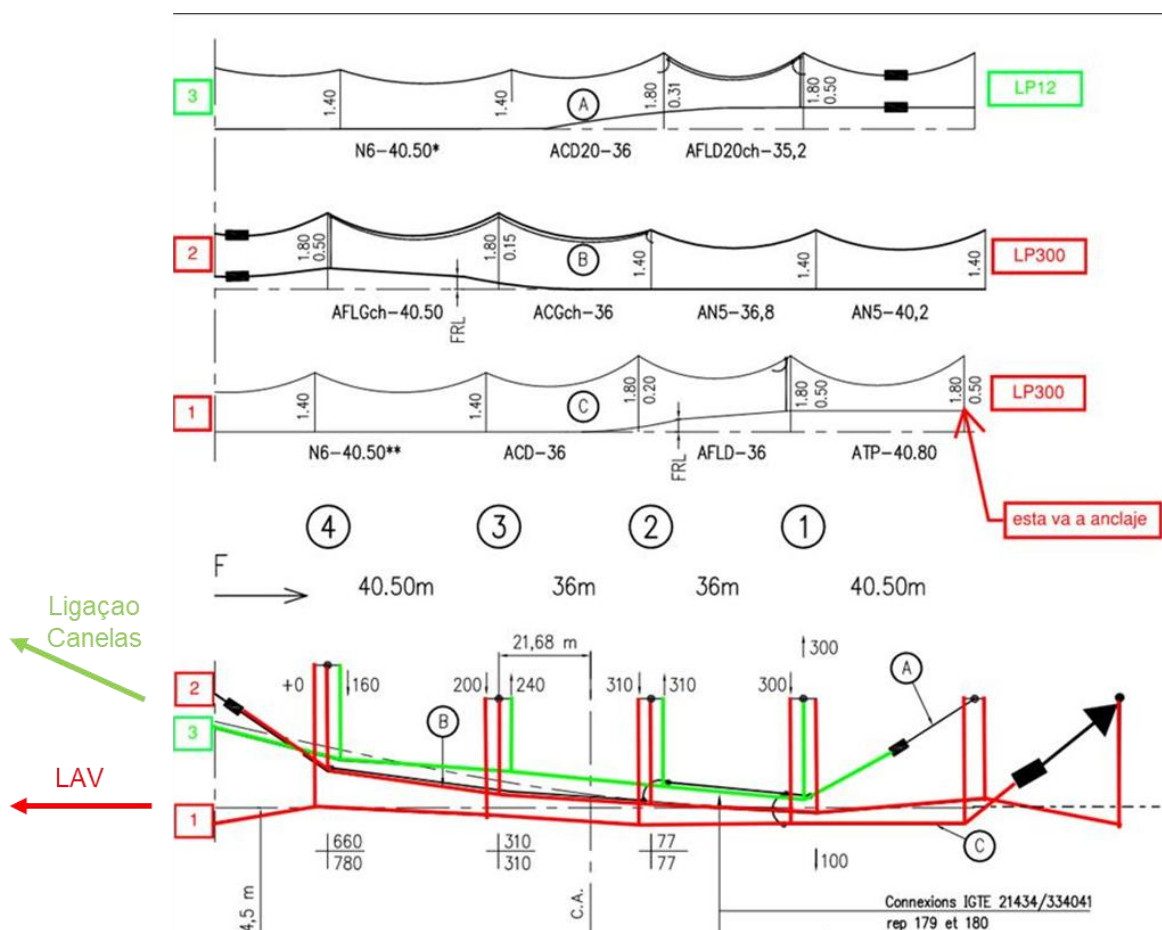


Figura 38 - AMVs eletrificados com três catenárias. Exemplo: catenária francesa (SNCF)

Esta montagem caracteriza-se pela instalação de uma terceira catenária, que servirá de catenária guia, instalada entre a catenária da via direta e a catenária da via desviada (conforme se pode verificar na **Error! Reference source not found.**). A catenária guia (catenária 2 em vermelho) estará em serviço sensivelmente até ao poste de AMV, sendo que as catenárias das vias direta (catenária 1 em vermelho) e desviada (catenária 3 em verde) entram em serviço ligeiramente antes desse poste. As

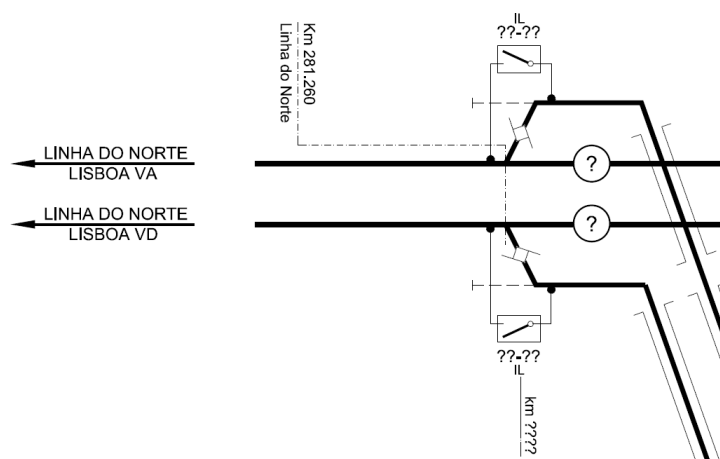


Figura 41 – AMV de incorporação à Linha do Norte do esquema eléctrico do concurso.

Considerando que a velocidade projetada para os AMV é de 200 km/h, a separação elétrica entre as duas linhas será feita então por meio de SLA (Seccionamentos de Lâmina de Ar) nas próprias ligações de Canelas, o mais próximo possível das incorporações com a Linha do Norte.

A alimentação dos trechos das ligações de Canelas será assegurada por interruptores ou seccionadores de corte em carga, e as seções elementares serão equipadas com transformadores de tensão.

Por fim, as interligações entre o RCT+TP da Linha do Norte e as ligações em Canelas serão realizadas em LTI (ligação de terras integral).

5 INTEROPERABILIDADE

Em conformidade com o artigo 15.º do DL 27/2011 a verificação da interoperabilidade é feita com base nas especificações técnicas de interoperabilidade (ETI) sendo necessário obter uma declaração CE de verificação para os subsistemas de carácter estrutural.

A ETI em vigor para o subsistema energia (ETI ENE) foi publicada a 18 de Novembro de 2014.

O subsistema Energia, composto por:

- Subestações: ligadas, do lado primário, à rede de alta tensão, sendo a alta tensão transformada numa tensão adequada para os comboios e/ou convertida para um sistema de alimentação elétrica adequado para os comboios. Do lado secundário, as subestações estão ligadas ao sistema de linhas de contacto;
- Postos de catenária: equipamento elétrico localizado em pontos intermédios entre as subestações, que permite alimentar e pôr em paralelo as linhas de contacto e assegurar a proteção, o isolamento e a alimentação auxiliar;
- Secções de separação: equipamento que efetua a transição entre sistemas eletricamente diferentes ou entre fases diferentes do mesmo sistema elétrico;
- Sistema de linhas de contacto: sistema que distribui a energia elétrica, transmitindo-a aos comboios em circulação por meio de coletores de corrente. O sistema de linhas de contacto está também equipado com seccionadores comandados manualmente ou à distância, necessários para isolar secções elementares, ou grupos de secções elementares, do sistema de linhas de contacto em função das necessidades de exploração. As linhas de alimentação (feeders) fazem igualmente parte do sistema de linhas de contacto;
- Circuito da corrente de retorno: os condutores que formam o circuito previsto de retorno da corrente de tração. Assim, quanto a este aspeto, o circuito da corrente de retorno faz parte do subsistema «energia» e faz interface com o subsistema «infraestrutura».

A Catenária será objeto de verificação no que diz respeito os pontos indicados no Quadro 35 conforme requisitos da ETI Energia. Nesta eletrificação será utilizado um componente de interoperabilidade “Catenária” com declaração de verificação intermédia para a fase de conceção (sistema LP300)

6 TABELA TÉCNICA DE VELOCIDADES

Apresenta-se no Quadro 19 a Tabela Técnica de Velocidades (TTV) para a fase de Projeto da especialidade de Catenária.

Quadro 12 – TTV de Catenária

Extensão (km)	PK		PK	Velocidade Máxima Convencional (km/h)	Motivo ou Causa
67,858	0+000	LAV	67+858	300	LP300
3,228	67+858	LAV	71+086	120	LP10
7,900	0+000	Ligação de canelas	7+900	200	LP12

ANEXOS

ANEXO I - DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA

ANEXO II - MACIÇOS DE FUNDAÇÃO PARA POSTES DE CATENÁRIA

ANEXO I. DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA

ANEXO I. DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA

ANEXO 1.1

Este documento reúne as notas de cálculo para os postes de catenária da LAV Porto-Lisboa.

O troço de alta velocidade está projetado para velocidades até 300 km/h, com suportes do tipo LP300.

Para este documento, são considerados 8 casos-tipo:

1. Consola simples em alinhamento reto com vão máximo (63 m)
2. Consola simples em curva com raio mínimo no Lote A
3. Consola simples em tramo em viaduto
4. Consola dupla para seccionamento SLA / ZC
5. Consola tripla para agulhas/desvios
6. Consola de túnel (inputs para estrutura/civil) para ancoragens químicas
7. Poste de ancoragem
8. Postalete

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Documento de referência	Título do documento
Doc 1	GR.IT.CAT.001 DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA
Doc 2	GR.IT.CAT.034 LINHAS AÉREAS PARA TRAÇÃO ELÉTRICA FERROVIÁRIA 25 kV-50 Hz
Doc 3	GR.IT.CAT.066 ESPECIFICAÇÕES GERAIS DA CATENÁRIA LP300
Doc 4	ANEXO 5: PARTE C6 – CATENÁRIA E ENERGIA DE TRAÇÃO

METODOLOGIA

A metodologia de cálculo dos postes baseia-se na INSTRUÇÃO TÉCNICA da IP GR.IT.CAT.001 “DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA”. Consiste em selecionar um perfil de viga (ex: HEA 180) e proceder a todas as verificações (tensão mecânica, torção, etc) descritas no documento. Caso alguma verificação não seja satisfeita, seleciona-se o perfil seguinte, repetindo-se as comprovações até que todas sejam verificadas com sucesso.

INPUTS DO DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA

Inputs	Valor
• Implantação eixo da Viga – eixo da Via	3,35 m
• Nivelamento	0,90 m*
• Vão médio	61,1 m
• Vão máximo	63 m
• Desalinhamento do fio de Contacto	+/-0,2 m
• Altura nominal do filo de contacto	5,10 m
• Abertura de catenária	1,40 m
• Abertura da consola	1,60 m

• Forças tensoras FC	2000 kgf
• Forças tensoras CS	1400 kgf
• Forças tensoras do Feeder	850 kgf
• Forças tensoras do CDTA	300 kgf

• Vento (Zona A)	75 kg/m ²
• Vento (Zona B)	90 kg/m ²

*Selecionou-se provisoriamente um nivelamento de 0,90 m de acordo com a norma IP, considerando um caso exigente, embora se preveja que este valor seja inferior e será ajustado em coordenação com a via férrea na fase de projeto.

CASO 1: CONSOLA SIMPLES EM ALINHAMENTO RETO (VÃO MÁXIMO 63 M)

O caso de via em troço reto, aplica-se a carga de vento do tipo A, com um vão máximo de 63 metros, assumindo-se, conforme a normativa aplicável, que o Feeder se encontra instalado do lado da via.

Definição de um perfil de viga. Para início, é seleccionado um perfil **HEA 180** e procede-se à realização das verificações.

CÁLCULO DAS FORÇAS RADIAIS NO CASO RECTO

Para calcular as forças radiais, utiliza-se a seguinte equação, onde T é a força tensora. A mesma equação é utilizada para a CS e para a FC:

$$F_R = 2 \cdot T \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

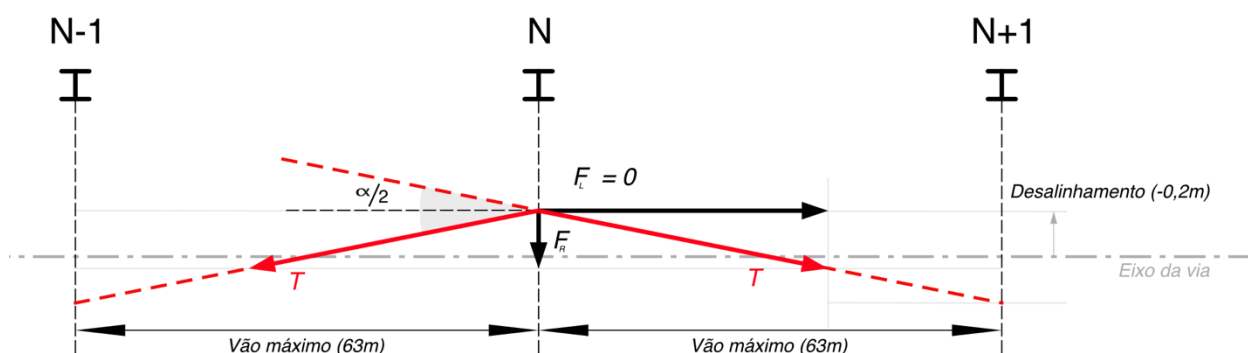


Figura 1 - Esquema das forças tensoras do FC e CS com desalinhamento (0,2) m e vão máximo (63m)

Os resultados estão apresentados na tabela seguinte:

Variável	Valor	Unidade
$F_{RAD}(FC)$	25,4	kgf
$F_{RAD}(CS)$	17,8	kgf

COTAS

Variável	Valor	Unidade
D	3,06	m
H ₁	7,40	m
H ₂	7,40	m
H ₃	6,00	m

Variável	Valor	Unidade
H_4	6,90	m
H_5	6,00	m
H_7	7,70	m

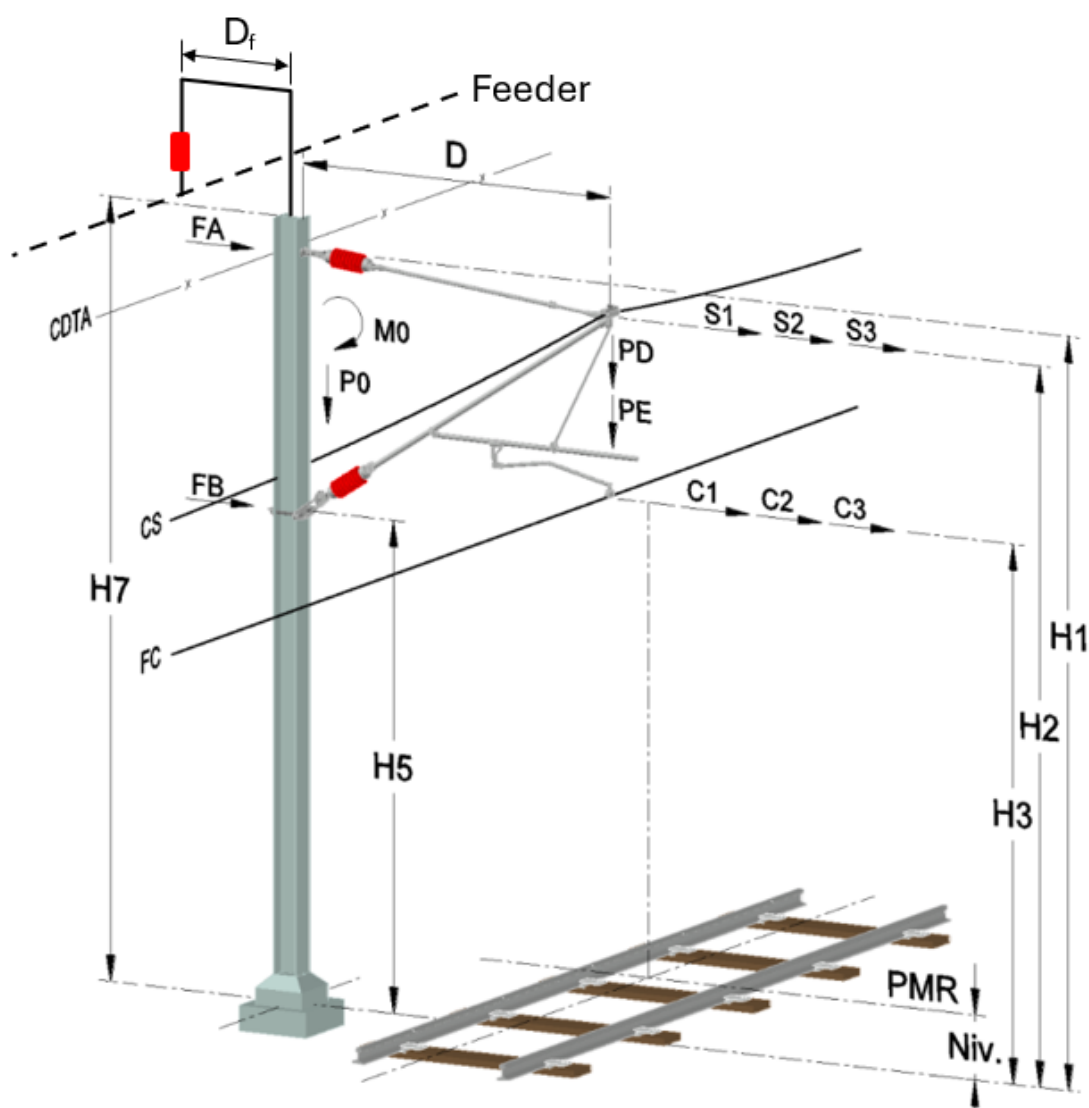


Figura 2 - Ilustração da consola normal com Feeder e CDTA

CARGAS VERTICAIS

Sem peso extra na catenária:

$$P_E = 0N$$

Peso da catenária é igual ao peso do FC mais peso do CS para o vão médio:

$$P_D = (1,33 + 0,62) \cdot \text{vao} \cdot g$$

Peso do Feeder:

$$P_F = (1,33) \cdot \text{vao} \cdot g$$

Peso do CDTA:

$$P_{CDTA} = (0,44) \cdot \text{vao} \cdot g$$

Peso da consola:

$$P_0 = P_{\text{ref}} \cdot D$$

MOMENTOS

Momento no poste devido ao peso da consola

$$M_0 = P_0 \cdot D \cdot CM$$

FORÇAS

Força do vento paralelo à via na consola:

$$V_0 = q_v \cdot A_{\text{cor}} \cdot D$$

Força radial do FC sem vento

$$C_1 = F_{\text{rad}} \cdot g$$

$$C_2 = C_1 + C_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no FC

$$C_3 = q_v \cdot g \cdot D_{\text{FC}} \cdot \text{vao} \cdot C_{\text{red}} \cdot C_{\text{forma}}$$

Força radial do CS sem vento

$$S_1 = F_{\text{rad}} \cdot 9,8$$

$$S_2 = S_1 + S_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no CS

$$S = q_v \cdot g \cdot D_{CS} \cdot vao \cdot C_{red} \cdot C_{forma}$$

Força radial do Feeder sem vento

$$F_1 = F_{rad} \cdot 9,8$$

$$F_2 = F_1 + F_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no Feeder:

$$F_3 = q_v \cdot g \cdot D_{feeder} \cdot vao \cdot C_{red} \cdot C_{forma}$$

Força radial do CDTA sem vento:

$$T_1 = F_{rad} \cdot 9,8 = 490 \text{ N}$$

$$T_2 = T_1 + T_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no CDTA:

$$T_3 = q_v \cdot g \cdot D_{CDTA} \cdot vao \cdot C_{red} \cdot C_{forma}$$

Tabela de resultados das cargas a aplicar ao poste da catenária

Variável	Valor	Unidade
V_0	383	N
C_1	249	N
C_2	692	N
C_3	443	N
S_1	174	N
S_2	524	N
S_3	350	N
F_1	0	N
F_2	480	N
F_3	480	N

Variável	Valor	Unidade
T_1	0	N
T_2	417	N
T_3	417	N

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA PROPIÁ VIGA > COMPRESSÃO > COMPRESSÃO DEVIDO AS CARGAS VERTICAIS

$$P_v = P_{un} \cdot H_7$$

>MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PERPENDICULAR A VIA SOBRE A VIGA (W 4 v)

$$V_3 = q_v \cdot g \cdot H_7 \cdot l_{ABA} \cdot Coef_{\perp}$$

$$W4v = \frac{H_7}{2} \cdot V_3$$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA PROPIÁ VIGA > COMPRESSÃO > COMPRESSÃO DEVIDO AS CARGAS VERTICAIS

$$P_v = P_{un} \cdot H_7$$

>MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PERPENDICULAR A VIA SOBRE A VIGA (W 4 v)

$$V_3 = q_v \cdot g \cdot H_7 \cdot l_{ABA} \cdot Coef_{\perp}$$

$$W4v = \frac{H_7}{2} \cdot V_3$$

Tabela de resultados esforços introduzidos pela propriá viga e momentos fletores:

Variável	Valor	Unidade
V_0	383	N
P_v	2679	N
V_3	1579	N
$W4v$	6079	$N \cdot m$
V_4	1790	N
$W5v$	6893	$N \cdot m$

MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PARALELO A VIA SOBRE A VIGA (W 5 v)

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes (no permanentes = F_{vento}) perpendicular a via (W_{11})

$$F_{Av} = \frac{S_3 \cdot (H_2 - H_5) + C_3 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5}$$

$$F_{Bv} = \frac{S_3 \cdot (H_1 - H_2) + C_3 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5}$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto ($W7v$) causada por força do vento

$$W7v = \frac{V_3}{4 \cdot H_7} \cdot H_3^2 \cdot (6 \cdot H_7^2 - 4 \cdot H_3 \cdot H_7 + H_3^2)$$

Fator de flecha **perpendicular** a via no topo de poste resultante das forças horizontais não permanentes **perpendiculares** à via ($W11v$)

$$W11v = \frac{3}{4} \cdot V_3 \cdot H_7^3$$

Fator de flecha **paralelo** a via **no topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **paralelas** à via ($W12v$)

$$W12v = \frac{3}{4} \cdot V_4 \cdot H_7^3$$

Fator de flecha **perpendicular** a via no **topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **paralelas** à via ($W12v$)

$$W13v = 0$$

Fator de flecha **paralelo** a via **no topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **perpendicular** à via ($W12v$)

$$W14v = 0$$

Tabela de resultados dos Fatores de flecha:

Variável	Valor	Unidade
$W7v$	381.925	Nm^3
$W11v$	540.649	Nm^3
$W12v$	613.027	Nm^3

Variável	Valor	Unidade
$W13v$	0	Nm^3
$W14v$	0	Nm^3

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > COMPRESSÃO

Compressão devido as cargas verticais (W1)

$$W1 = P_D + P_0 + P_E + P_F + P_{CDTA}$$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > MOMENTO FLETOR

Momento fletor devido as cargas verticais descentradas e as forças radiais sem ação do vento (w2)

$$W2 = M_0 + (P_D + P_E) \cdot D + C_1 \cdot H_3 + S_1 \cdot H_2 + F_1 \cdot (H_7 + H_P) - P_F \cdot D_F$$

Momento fletor devido as forças do vento perpendicular a via sobre os condutores (W4)

$$W4 = C_3 \cdot H_3 + S_3 \cdot H_2$$

Momento fletor devido as forças do vento paralelo à via sobre os condutores (W5)

$$W5 = V_0 \cdot \frac{(7,75 + 6,35)}{2}$$

Variável	Valor	Unidade
$W1$	1.805	N
$W2$	7.111	$N \cdot m$
$W4$	5.249	$N \cdot m$
$W5$	2.564	$N \cdot m$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > FATORES DE FLECHA

A contribuição do peso da consola e da catenária para as ações sobre o poste:

$$F_0 = \frac{(P_D + P_E) \cdot D + M_0}{H_1 - H_5}$$

As resultantes no poste das cargas exercidas pela consola e pela catenária (sem ação do vento) são:

$$F_A = \frac{S_1 \cdot (H_2 - H_5) + C_1 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5} + F_0$$

$$F_B = \frac{S_1 \cdot (H_1 - H_2) + C_1 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5} - F_0$$

Os fatores de flecha aplicados relativamente ao Tirante e ao Tubo da Consola são

$$Q_A = H_1^2 \cdot (3 \cdot H_7 - H_1) \cdot F_A$$

$$Q_B = H_5^2 \cdot (3 \cdot H_7 - H_5) \cdot F_B$$

O fator de flecha no topo do poste é dado por:

$$W6 = Q_A + Q_B$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto resultante de ações perpendiculares à via (**W7**)

Os fatores de flecha (Q) ao nível do fio de contacto são determinados com base nas ações não permanentes

(força do vento sobre os condutores):

$$\begin{cases} Q_1 = H_3^2 \cdot (3 \cdot H_2 - H_3) \cdot S_3 \\ Q_2 = 2 \cdot H_3^2 \cdot C_3 \end{cases}$$

O fator de flecha ao nível do fio de contacto é:

$$W7 = Q_1 + Q_2$$

Tabela de resultados:

Variável	Valor	Unidade
F_0	3.092	N
F_A	3.266	N
F_B	-2.843	N
Q_A	2.808.129	Nm ³
Q_B	-1.750.263	Nm ³
$W6$	1.057.867	Nm ³

Variável	Valor	Unidade
Q_1	204.158	Nm^3
Q_2	191.436	Nm^3
$W7$	395.594	Nm^3

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendicular à via (**W11**)

$$F_{Av} = \frac{S_3 \cdot (H_2 - H_5) + C_3 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5}$$

$$F_{Bv} = \frac{S_3 \cdot (H_1 - H_2) + C_3 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5}$$

Os fatores de flecha aplicados relativamente ao Tirante e ao Tubo da Consola são:

$$Q_{Av} = H_1^2 (3 \cdot H_7 - H_1) \cdot F_{Av}$$

$$Q_{Bv} = H_5^2 (3 \cdot H_7 - H_5) \cdot F_{Bv}$$

O fator de flecha no topo do poste é dado por:

$$W_{11} = Q_{Av} + Q_{Bv}$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W12**)

Contribui para a flecha a força do vento paralelo sobre a consola, que neste caso é equivalente à força concentrada V_0 :

$$W_{12} = \left(\frac{H_1 + H_3}{2} \right)^2 \cdot \left(3 \cdot H_7 - \frac{H_1 + H_3}{2} \right) \cdot V_0$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W13**)

$$W_{13} = 0$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendicular à via (**W14**)

$$W_{14} = 0$$

Tabela de resultados:

Variável	Valor	Unidade
F_{Av}	350	N
F_{Bv}	443	N
Q_{Av}	300.963	Nm^3
Q_{Bv}	272.796	Nm^3
$W11$	573.759	Nm^3
$W12$	281.770	Nm^3
$W13$	0	Nm^3
$W14$	0	Nm^3

VERIFICAÇÃO DA VIGA E DA FUNDAÇÃO

COMPRESSÃO

Compressão devido às cargas verticais (**W1T**)

$$W1_T = \sum W1_n$$

MOMENTO FLETOR

Momento fletor devido às cargas verticais descentradas e às forças radiais sem ação do vento (**W2T**)

$$W2_T = \sum W2_n$$

Momento fletor devido às cargas verticais descentradas e às forças radiais com ação do vento perpendicular à via (**W3T**)

$$W3_T = W2_T + z \cdot W4_T$$

Em que

$$\begin{cases} z = 1 & \text{se } W2_T \geq 0 \\ z = -1 & \text{se } W2_T < 0 \end{cases}$$

Momento fletor devido às forças do vento perpendicular à via sobre os condutores e as estruturas (**W4T**)

$$W4_T = \sum W4_n$$

Momento fletor devido às forças do vento paralelo à via sobre os condutores e as estruturas (**W5T**)

$$W5_T = \sum W5_n$$

Momento fletor devido às forças atuando paralelamente à via resultantes da força do vento perpendicular sobre os condutores não compensados (**W8T**)

$$W8_T = \sum W8_n$$

Momento fletor devido às forças atuando paralelamente à via resultantes de amarrações não espiadas (**W9T**)

$$W9_T = \sum W9_n$$

FATORES DE FLECHA

Fator de flecha no topo do poste resultante de ações permanentes perpendiculares à via (**W6**)

$$W6_T = \sum W6_n$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto resultante de ações perpendiculares à via (**W7**)

$$W7_T = \sum W7_n$$

Fator de flecha no topo do poste resultante de ações permanentes paralelas à via (**W10**)

$$W10_T = \sum W10_n$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendiculares à via (**W11**)

$$W11_T = \sum W11_n$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W12**)

$$W12_T = \sum W12_n$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W13**)

$$W13_T = \sum W13_n$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendiculares à via (**W14**)

$$W14_T = \sum W14_n$$

Tabela de resultados:

Compressão		
Variável	Valor	Unidade
$W1_T$	3.091	N

Momento Fletor		
Variável	Valor	Unidade
$W2_T$	6.963	$N.m$
$W3_T$	19.349	$N.m$
$W4_T$	12.385	$N.m$
$W5_T$	3.285	$N.m$
$W8_T$	0	$N.m$
$W9_T$	0	$N.m$

Fatores de Flecha		
Variável	Valor	Unidade
$W6_T$	1.031.510	Nm^3
$W7_T$	956.755	Nm^3
$W10_T$	0	Nm^3
$W11_T$	1.400.398	Nm^3
$W12_T$	367.241	Nm^3
$W13_T$	0	Nm^3

Fatores de Flecha		
Variável	Valor	Unidade
$W14_T$	0	Nm^3

VERIFICAÇÕES

MOMENTO NO ENCASTRAMENTO

Momento sem a ação do vento

$$M_{\perp} = |W2_T|$$

$$M_{\parallel} = |W9_T|$$

Momento com a ação do vento:

$$M_{v\perp} = |W3_T| + |W4v|$$

$$M_{v\parallel} = |W5_T| + |W5v| + |W9_T|$$

Tabela de resultados:

Sem ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{\perp}$	6.963	$N \cdot m$
$M_{\parallel}$	0	$N \cdot m$

Com ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{v\perp}$	25.428	$N \cdot m$
$M_{v\parallel}$	10.178	$N \cdot m$

INSTABILIDADE

$$L_e = 2L$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo x

$$f_{0\parallel} = f_{0x} = L_e \cdot (F_{0x_factor1} + F_{0x_factor2})$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo y

$$f_{0\perp} = f_{0y} = L_e \cdot (F_{0y_factor1} + F_{0y_factor2})$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo y

$$P_{cr\perp} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_e^2}$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo x

$$P_{cr\parallel} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_e^2}$$

Os momentos fletores secundários devido à instabilidade por cargas de compressão são então:

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\perp\perp} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W11_T + W11v) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\parallel\perp} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W14_T) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\parallel\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W12_T + W12v) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\perp\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W13_T) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

É também necessário verificar se o momento máximo segundo o eixo mais resistente não ultrapassa o valor do momento crítico M_{cr} (fenómeno de instabilidade de encurvadura lateral por flexo-torção).

$$M_{cr} = \frac{4790854 \cdot \sqrt{0,0521 + 2,479 \cdot 10^{-3} \cdot L^2}}{L^2}$$

Tabela de resultados:

Comprimento equivalente		
Variável	Valor	Unidade
L_e	5,4	m

Flecha inicial		
Variável	Valor	Unidade
$f_{0\parallel} = f_{0x}$	0,0140	$N \cdot m$
$f_{0\perp} = f_{0y}$	0,0131	$N \cdot m$

Carga crítica		
Variável	Valor	Unidade
$P_{cr\perp}$	1.788.854	$N \cdot m$
$P_{cr\parallel}$	658.954	$N \cdot m$

Momento fletor secundario		
Variável	Valor	Unidade
$M_{2\perp\perp}$	331	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\perp}$	43	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\parallel}$	305	$N \cdot m$

Momento fletor secundario		
Variável	Valor	Unidade
$M_{2\perp\parallel}$	141	$N \cdot m$

Momento critico		
Variável	Valor	Unidade
M_{cr}	36.053	$N \cdot m$

TENSÃO MECÂNICA

A tensão admissível (σ_{ADM}) é determinada a partir das características do aço (tensão de cedência σ_{ced}) e o coeficiente de segurança (CS) considerado.

Para um $CS = 2$

$$\sigma_{ADM} = \frac{\sigma_{ced}}{CS} = \frac{275 \cdot 10^6}{2} = 137,5 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Tabela de resultados:

Tensão Mecânica		
Variável	Valor	Unidade
σ_{ADM}	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 1 – Verificação do momento crítico e tensão de segurança com vento perpendicular:

A primeira verificação a fazer é se o momento crítico não é ultrapassado.

$$M_{v\perp} + M_{2\perp\perp} < M_{cr}$$

$$\sigma_{h1} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\perp}}{W_{ely}} + \frac{M_{v\perp}}{W_{elx}} + \frac{|W8_T| + M_{\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 2 – Verificação da tensão de segurança com vento paralelo:

$$\sigma_{h2} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\parallel}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\parallel}}{W_{ely}} + \frac{M_{\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{v\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 1			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h1}	89.433.457	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 2			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h2}	127.545.715	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS

Para além da verificação das tensões mecânicas dos postes nas hipóteses de cálculo efetuadas, deverão ser verificados os seguintes limites de deformação dos postes:

a) A flecha no topo do poste na ausência de vento deverá ser inferior a 1,2% da altura do poste acima do maciço.

$$f_{TPadm} = H_7 \cdot 0,012$$

b) A flecha do poste ao nível do fio de contacto provocada pela ação do vento, atuando sobre os condutores, cabo de terra e poste não deverá exceder 5,5 cm.

$$f_{FCadm} = 0,055 \text{ m}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})

A flecha no topo do poste é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A) e no fator de flecha total determinado no ponto 7.1.3:

$$f_{TP} = K_y \cdot W6_T < f_{TPadm}$$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})

A flecha ao nível do fio de contacto é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A), no fator de flecha total determinado no ponto 7.1.3 e no fator de flecha do vento a atuar sobre a própria viga, determinado no ponto 9.3.

$$f_{FC} = K_y \cdot (W7_T + W7_v) < f_{FCadm}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{TP}	0,034	0,092	$\frac{N}{m^2}$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{FC}	0,042	0,055	$\frac{N}{m^2}$

A tabela a seguir mostra um resumo das verificações:

Tabela resumo das verificações					
	Variável	Valor	Limite	Unidade	
Hipótese 1	σ_{h1}	89.433.457	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Hipótese 2	σ_{h2}	127.545.715	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Topo de Poste	f_{TP}	0,034	0,092	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Filo de Contato	f_{FC}	0,042	0,055	$\frac{N}{m^2}$	Ok

Estes resultados confirmam que os postes **HEA 180** são adequados para trechos retos de catenária com vão máximo de 63 m.

CASO 2: CONSOLA SIMPLES EM ALINHAMENTO CURVO

Para o caso curvo, parte-se da documentação do traçado para determinar os raios de curvatura da via. Considera-se como caso mais desfavorável o raio de curvatura mais pequeno, pois é neste que se verificam as forças radiais de maior módulo.

O raio de curvatura mais pequeno do traçado é de 1750m. Segundo o Doc 3 (ESPECIFICAÇÕES GERAIS DA CATENÁRIA LP300), para uma zona de vento do tipo A e um raio de 1750, é necessário um vão de 45 m com os seguintes desalinhamentos:

Desalinhamento nos apoios [mm]		
Vão	Exterior da curva (d_N)	Interior da Curva (d_{N+1})
45,0 m	0,2 m	-0,08 m

Definição de um perfil de viga. Para início, é seleccionado um perfil **HEA 200** e procede-se à realização das verificações.

CÁLCULO DAS FORÇAS RADIAIS NO CASO CURVO

As forças radiais do FC e do CS aumentam o seu valor, e o CDTA e o Feeder, que em trecho reto tinham as suas forças radiais compensadas, agora geram forças radiais diferentes de zero.

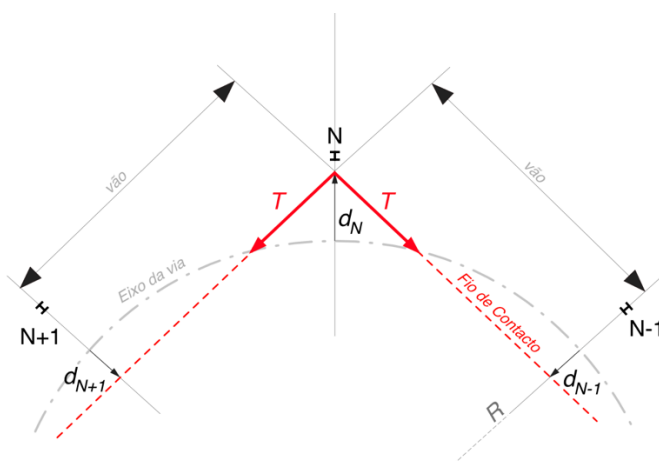


Figura 3 - Esquema das forças radiais da catenária em curva de raio R

As forças radiais do FC e do CS são calculadas através da equação:

$$F_R = T \cdot \frac{d_N - d_{N-1} - d_{N+1}}{\text{vão}} + T \cdot \frac{\text{vão}}{R}$$

As forças radiais para um raio de 1750 m estão apresentadas na tabela a seguir.

Forças radiais	Valor	Unidade
• FC	63,9	kgf
• CS	44,7	kgf
• Feeder	8,7	kgf
• CDTA	3,1	kgf

COTAS

Variável	Valor	Unidade
D	3,05	m
H_1	7,40	m
H_2	7,40	m
H_3	6,00	m
H_4	6,90	m
H_5	6,00	m
H_7	7,70	m

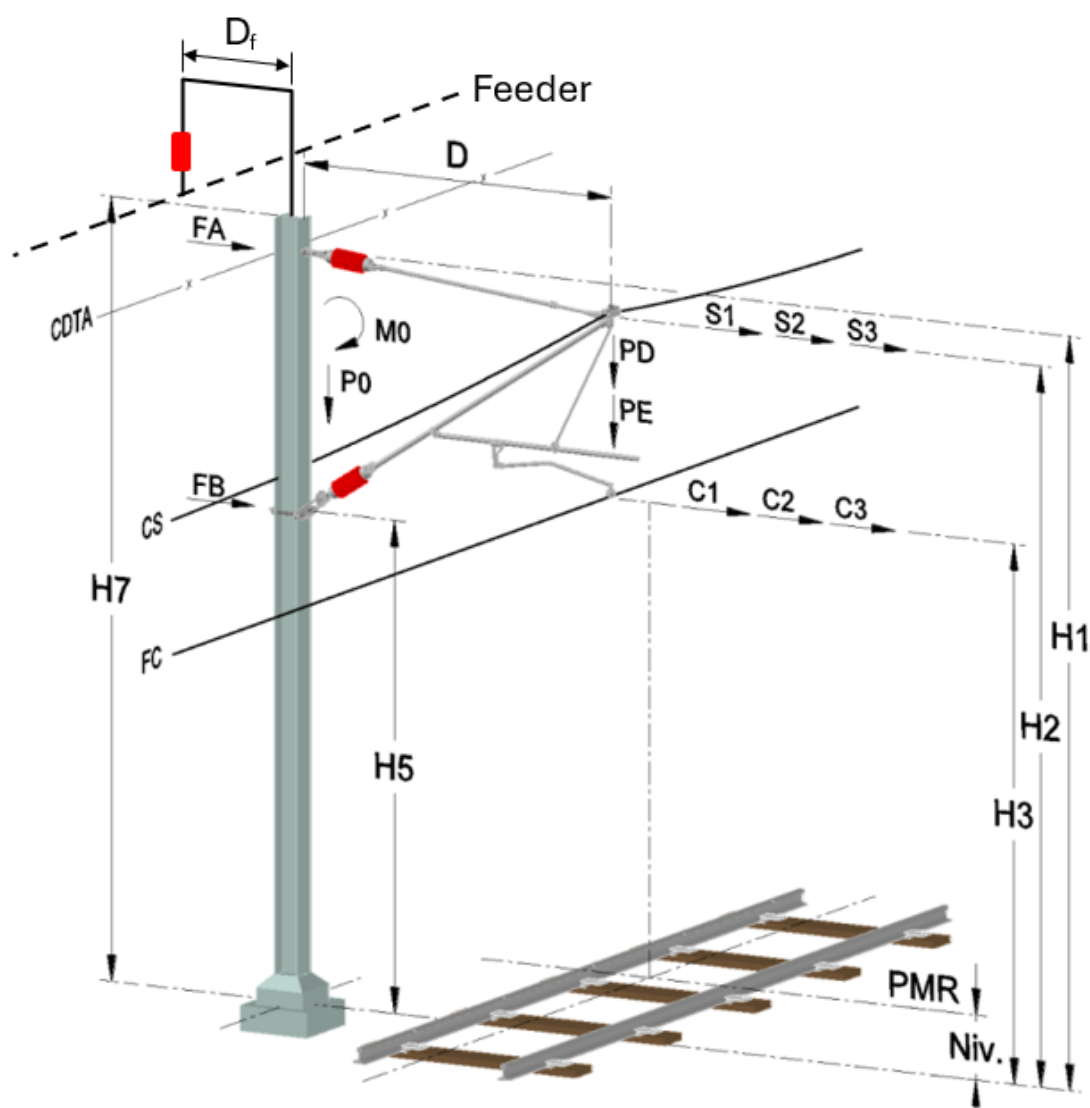


Figura 4 - Ilustração da consola normal com Feeder e CDTA

Tabela de resultados:

Compressão		
Variável	Valor	Unidade
$W1_T$	2.432	N

Momento Fletor		
Variável	Valor	Unidade
$W2_T$	11.455	$N.m$

Momento Fletor		
Variável	Valor	Unidade
$W3_T$	20.464	$N.m$
$W4_T$	9.008	$N.m$
$W5_T$	3.277	$N.m$
$W8_T$	0	$N.m$
$W9_T$	0	$N.m$

Fatores de Flecha		
Variável	Valor	Unidade
$W6_T$	1.464.996	Nm^3
$W7_T$	696.324	Nm^3
$W10_T$	0	Nm^3
$W11_T$	1.019.458	Nm^3
$W12_T$	366.320	Nm^3
$W13_T$	0	Nm^3
$W14_T$	0	Nm^3

VERIFICAÇÕES

MOMENTO NO ENCASTRAMENTO

Momento sem a ação do vento

$$M_{\perp} = |W2_T|$$

$$M_{\parallel} = |W9_T|$$

Momento com a ação do vento:

$$M_{v\perp} = |W3_T| + |W4_v|$$

$$M_{v\parallel} = |W5_T| + |W5_v| + |W9_T|$$

Tabela de resultados:

Sem ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{\perp}$	11.455	$N \cdot m$
$M_{\parallel}$	0	$N \cdot m$

Com ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{v\perp}$	27.218	$N \cdot m$
$M_{v\parallel}$	10.936	$N \cdot m$

INSTABILIDADE

$$L_e = 2L$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo x

$$f_{0\parallel} = f_{0x} = L_e \cdot (F_{0x_factor1} + F_{0x_factor2})$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo y

$$f_{0\perp} = f_{0y} = L_e \cdot (F_{0y_factor1} + F_{0y_factor2})$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo y

$$P_{cr\perp} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_e^2}$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo x

$$P_{cr\parallel} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_e^2}$$

Os momentos fletores secundários devido à instabilidade por cargas de compressão são então:

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\perp\perp} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W11_T + W11v) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\parallel\perp} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W14_T) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\parallel\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W12_T + W12v) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\perp\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W13_T) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

É também necessário verificar se o momento máximo segundo o eixo mais resistente não ultrapassa o valor do momento crítico M_{cr} (fenómeno de instabilidade de encurvadura lateral por flexo-torção).

$$M_{cr} = \frac{4790854 \cdot \sqrt{0,0521 + 2,479 \cdot 10^{-3} \cdot L^2}}{L^2}$$

Tabela de resultados:

Comprimento equivalente		
Variável	Valor	Unidade
L_e	5,4	m

Flecha inicial		
Variável	Valor	Unidade
$f_{0\parallel} = f_{0x}$	0,0135	$N \cdot m$
$f_{0\perp} = f_{0y}$	0,0127	$N \cdot m$

Carga crítica		
Variável	Valor	Unidade
$P_{cr\perp}$	2.631.254	$N \cdot m$
$P_{cr\parallel}$	952.155	$N \cdot m$

Momento fletor secundario		
Variável	Valor	Unidade
$M_{2\perp\perp}$	192	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\perp}$	33	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\parallel}$	185	$N \cdot m$
$M_{2\perp\parallel}$	108	$N \cdot m$

Momento critico		
Variável	Valor	Unidade
M_{cr}	53.027	$N \cdot m$

TENSÃO MECÂNICA

A tensão admissível (σ_{ADM}) é determinada a partir das características do aço (tensão de cedência σ_{ced}) e o coeficiente de segurança (CS) considerado.

Para um $CS = 2$

$$\sigma_{ADM} = \frac{\sigma_{ced}}{CS} = \frac{275 \cdot 10^6}{2} = 137,5 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Tabela de resultados:

Tensão Mecânica		
Variável	Valor	Unidade
σ_{ADM}	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 1 – Verificação do momento crítico e tensão de segurança com vento perpendicular:

A primeira verificação a fazer é se o momento crítico não é ultrapassado.

$$M_{v\perp} + M_{2\perp\perp} < M_{cr}$$

$$\sigma_{h1} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\perp}}{W_{ely}} + \frac{M_{v\perp}}{W_{elx}} + \frac{|W8_T| + M_{\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 2 – Verificação da tensão de segurança com vento paralelo:

$$\sigma_{h2} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\parallel}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\parallel}}{W_{ely}} + \frac{M_{\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{v\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 1			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h1}	71.827.930	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 2			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h2}	114.035.146	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS

Para além da verificação das tensões mecânicas dos postes nas hipóteses de cálculo efetuadas, deverão ser verificados os seguintes limites de deformação dos postes:

a) A flecha no topo do poste na ausência de vento deverá ser inferior a 1,2% da altura do poste acima do maciço.

$$f_{TPadm} = H_7 \cdot 0,012$$

b) A flecha do poste ao nível do fio de contacto provocada pela ação do vento, atuando sobre os condutores, cabo de terra e poste não deverá exceder 5,5 cm.

$$f_{FCadm} = 0,055 \text{ m}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})

A flecha no topo do poste é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A) e no fator de flecha total determinado no ponto 7.1.3:

$$f_{TP} = K_y \cdot W6_T < f_{TPadm}$$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})

A flecha ao nível do fio de contacto é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A), no fator de flecha total determinado no ponto 7.1.3 e no fator de flecha do vento a atuar sobre a própria viga, determinado no ponto 9.3 .

$$f_{FC} = K_y \cdot (W7_T + W7_v) < f_{FCadm}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{TP}	0,031	0,092	$\frac{N}{m^2}$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{FC}	0,024	0,055	$\frac{N}{m^2}$

A tabela a seguir mostra um resumo das verificações:

Tabela resumo das verificações					
	Variável	Valor	Limite	Unidade	
Hipótese 1	σ_{h1}	71.827.930	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Hipótese 2	σ_{h2}	114.035.146	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Topo de Poste	f_{TP}	0,031	0,092	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Filo de Contato	f_{FC}	0,024	0,055	$\frac{N}{m^2}$	Ok

Estes resultados confirmam que os postes **HEA 200** são adequados para trechos curvos com raio mínimo de 1750m.

CASO 3: VIADUTO

Definição de um perfil de viga. Para início, é selecionado um perfil **HEB 220** e procede-se à realização das verificações.

COTAS

Variável	Valor	Unidade
D	3,05	m
H_1	7,40	m
H_2	7,40	m
H_3	6,00	m
H_4	6,90	m
H_5	6,00	m
H_7	7,70	m

O Documento 2 (**GR.IT.CAT.001** DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA) especifica que, quando os postes são montados em ponte ou em viaduto onde a catenária fica a 60 m acima do nível do solo, deve-se considerar a seguinte carga de vento

Variável	Valor	Unidade
q_v	90	kg/m^2

Adicionalmente, fica especificado que o Feeder deve ser instalado do lado da via, em vez do lado do campo (**GR.IT.CAT.034** LINHAS AÉREAS PARA TRAÇÃO ELÉTRICA FERROVIÁRIA 25 kV-50 Hz).

Levando em consideração o mencionado acima, a metodologia é a mesma que para o caso reto.

$$P_0 = P_{\text{ref}} \cdot D$$

MOMENTOS

Momento no poste devido ao peso da consola

$$M_0 = P_0 \cdot D \cdot CM$$

FORÇAS

Força do vento paralelo à via na consola:

$$V_0 = q_v \cdot A_{\text{cor}} \cdot D$$

Força radial do FC sem vento

$$C_1 = F_{\text{rad}} \cdot 9,8$$

$$C_2 = C_1 + C_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no FC

$$C_3 = q_v \cdot g \cdot D_{\text{FC}} \cdot vao \cdot C_{\text{red}} \cdot C_{\text{forma}}$$

Força radial do CS sem vento

$$S_1 = F_{\text{rad}} \cdot 9,8$$

$$S_2 = S_1 + S_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no CS

$$S = q_v \cdot g \cdot D_{\text{CS}} \cdot vao \cdot C_{\text{red}} \cdot C_{\text{forma}}$$

Força radial do Feeder sem vento

$$F_1 = F_{\text{rad}} \cdot 9,8$$

$$F_2 = F_1 + F_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no Feeder:

$$F_3 = q_v \cdot g \cdot D_{\text{feeder}} \cdot vao \cdot C_{\text{red}} \cdot C_{\text{forma}}$$

Força radial do CDTA sem vento:

$$T_1 = F_{\text{rad}} \cdot 9,8 = 490 \text{ N}$$

$$T_2 = T_1 + T_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no CDTA:

$$T_3 = q_v \cdot g \cdot D_{CDTA} \cdot vao \cdot C_{red} \cdot C_{forma}$$

Tabela de resultados das cargas a aplicar ao poste da catenária

Variável	Valor	Unidade
V_0	456	N
C_1	249	N
C_2	781	N
C_3	532	N
S_1	174	N
S_2	594	N
S_3	420	N
F_1	0	N
F_2	576	N
F_3	576	N
T_1	0	N
T_2	500	N
T_3	500	N

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA PROPIÁ VIGA > COMPRESSÃO > COMPRESSÃO DEVIDO AS CARGAS VERTICAIS

$$P_v = P_{un} \cdot H_7$$

>MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PERPENDICULAR A VIA SOBRE A VIGA (W 4 v)

$$V_3 = q_v \cdot g \cdot H_7 \cdot l_{ABA} \cdot Coef_{\perp}$$

$$W4v = \frac{H_7}{2} \cdot V_3$$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA PROPIÁ VIGA > COMPRESSÃO > COMPRESSÃO DEVIDO AS CARGAS VERTICAIS

$$P_v = P_{un} \cdot H_7$$

>MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO **PERPENDICULAR** A VIA SOBRE A VIGA (W 4 v)

$$V_3 = q_v \cdot g \cdot H_7 \cdot l_{ABA} \cdot Coef_{\perp}$$

$$W4v = \frac{H_7}{2} \cdot V_3$$

Tabela de resultados esforços introduzidos pelo próprio viga e momentos fletores:

Variável	Valor	Unidade
V_0	456	N
P_v	6236	N
V_3	2677	N
$W4v$	11.912	N · m
V_4	3.195	N
$W5v$	14.217	N · m

MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO **PARALELO** A VIA SOBRE A VIGA (W 5 v)

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendicular a via (W_11)

$$F_{Av} = \frac{S_3 \cdot (H_2 - H_5) + C_3 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5}$$

$$F_{Bv} = \frac{S_3 \cdot (H_1 - H_2) + C_3 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5}$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto (W7v) causada por força do vento

$$W7v = \frac{V_3}{4 \cdot H_7} \cdot H_3^2 \cdot (6 \cdot H_7^2 - 4 \cdot H_3 \cdot H_7 + H_3^2)$$

Fator de flecha **perpendicular** a via no topo de poste resultante das forças horizontais não permanentes **perpendiculares** à via (W11v)

$$W11v = \frac{3}{4} \cdot V_3 \cdot H_7^3$$

Fator de flecha **paralelo** a via **no topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **paralelas** à via (W12v)

$$W12v = \frac{3}{4} \cdot V_4 \cdot H_7^3$$

Fator de flecha **perpendicular** a via no **topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **paralelas** à via (W12v)

$$W13v = 0$$

Fator de flecha **paralelo** a via no **topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **perpendicular** à via (W12v)

$$W14v = 0$$

Tabela de resultados dos Fatores de flecha:

Variável	Valor	Unidade
$W7v$	805.723	Nm^3
$W11v$	1.415.286	Nm^3
$W12v$	1.689.212	Nm^3
$W13v$	0	Nm^3
$W14v$	0	Nm^3

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > COMPRESSÃO

Compressão devido as cargas verticais (W1)

$$W1 = P_D + P_0 + P_E + P_F + P_{CDTA}$$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > MOMENTO FLETOR

Momento fletor devido as cargas verticais descentradas e as forças radiais sem ação do vento (w2)

$$W2 = M_0 + (P_D + P_E) \cdot D + C_1 \cdot H_3 + S_1 \cdot H_2 + F_1 \cdot (H_7 + H_P) - P_F \cdot D_F$$

Momento fletor devido as forças do vento perpendicular a via sobre os condutores (W4)

$$W4 = C_3 \cdot H_3 + S_3 \cdot H_2$$

Momento fletor devido as forças do vento paralelo à via sobre os condutores (W5)

$$W5 = V_0 \cdot \frac{(7,75 + 6,35)}{2}$$

Variável	Valor	Unidade
W1	1.801	N
W2	7.079	N · m
W4	6.299	N · m
W5	3.057	N · m

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > FATORES DE FLECHA

A contribuição do peso da consola e da catenária para as ações sobre o poste:

$$F_0 = \frac{(P_D + P_E) \cdot D + M_0}{H_1 - H_5}$$

As resultantes no poste das cargas exercidas pela consola e pela catenária (sem ação do vento) são:

$$F_A = \frac{S_1 \cdot (H_2 - H_5) + C_1 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5} + F_0$$

$$F_B = \frac{S_1 \cdot (H_1 - H_2) + C_1 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5} - F_0$$

Os fatores de flecha aplicados relativamente ao Tirante e ao Tubo da Consola são

$$Q_A = H_1^2 \cdot (3 \cdot H_7 - H_1) \cdot F_A$$

$$Q_B = H_5^2 \cdot (3 \cdot H_7 - H_5) \cdot F_B$$

O fator de flecha no topo do poste é dado por:

$$W6 = Q_A + Q_B$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto resultante de ações perpendiculares à via (**W7**)

Os fatores de flecha (*Q*) ao nível do fio de contacto são determinados com base nas ações não permanentes

(força do vento sobre os condutores):

$$\begin{cases} Q_1 = H_3^2 \cdot (3 \cdot H_2 - H_3) \cdot S_3 \\ Q_2 = 2 \cdot H_3^2 \cdot C_3 \end{cases}$$

O fator de flecha ao nível do fio de contacto é:

$$W7 = Q_1 + Q_2$$

Tabela de resultados:

Variável	Valor	Unidade
F_0	3.069	N
F_A	3.243	N
F_B	-2.820	N
Q_A	3.427.521	Nm^3
Q_B	-2.101.457	Nm^3
$W6$	1.326.064	Nm^3
Q_1	244.990	Nm^3
Q_2	229.723	Nm^3
$W7$	474.713	Nm^3

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendicular à via (**W11**)

$$F_{Av} = \frac{S_3 \cdot (H_2 - H_5) + C_3 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5}$$

$$F_{Bv} = \frac{S_3 \cdot (H_1 - H_2) + C_3 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5}$$

Os fatores de flecha aplicados relativamente ao Tirante e ao Tubo da Consola são:

$$Q_{Av} = H_1^2 (3 \cdot H_7 - H_1) \cdot F_{Av}$$

$$Q_{Bv} = H_5^2 (3 \cdot H_7 - H_5) \cdot F_{Bv}$$

O fator de flecha no topo do poste é dado por:

$$W_{11} = Q_{Av} + Q_{Bv}$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W12**)

Contribui para a flecha a força do vento paralelo sobre a consola, que neste caso é equivalente à força concentrada $V0$:

$$W_{12} = \left(\frac{H_1 + H_3}{2} \right)^2 \cdot \left(3 \cdot H_7 - \frac{H_1 + H_3}{2} \right) \cdot V_0$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W13**)

$$W_{13} = 0$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendicular à via (**W14**)

$$W_{14} = 0$$

Tabela de resultados:

Variável	Valor	Unidade
F_{Av}	420	N
F_{Bv}	532	N
Q_{Av}	443.968	Nm^3
Q_{Bv}	393.272	Nm^3
W_{11}	840.240	Nm^3
W_{12}	409.651	Nm^3
W_{13}	0	Nm^3
W_{14}	0	Nm^3

VERIFICAÇÃO DA VIGA E DA FUNDAÇÃO

COMPRESSÃO

Compressão devido às cargas verticais (**W1T**)

$$W_{1T} = \sum W_{1n}$$

MOMENTO FLETOR

Momento fletor devido às cargas verticais descentradas e às forças radiais sem ação do vento (**W2T**)

$$W_{2T} = \sum W_{2n}$$

Momento fletor devido às cargas verticais descentradas e às forças radiais com ação do vento perpendicular à via (**W3T**)

$$W3_T = W2_T + z \cdot W4_T$$

Em que

$$\begin{cases} z = 1 & \text{se } W2_T \geq 0 \\ z = -1 & \text{se } W2_T < 0 \end{cases}$$

Momento fletor devido às forças do vento perpendicular à via sobre os condutores e as estruturas (**W4T**)

$$W4_T = \sum W4_n$$

Momento fletor devido às forças do vento paralelo à via sobre os condutores e as estruturas (**W5T**)

$$W5_T = \sum W5_n$$

Momento fletor devido às forças atuando paralelamente à via resultantes da força do vento perpendicular sobre os condutores não compensados (**W8T**)

$$W8_T = \sum W8_n$$

Momento fletor devido às forças atuando paralelamente à via resultantes de amarrações não espiadas (**W9T**)

$$W9_T = \sum W9_n$$

FATORES DE FLECHA

Fator de flecha no topo do poste resultante de ações permanentes perpendiculares à via (**W6**)

$$W6_T = \sum W6_n$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto resultante de ações perpendiculares à via (**W7**)

$$W7_T = \sum W7_n$$

Fator de flecha no topo do poste resultante de ações permanentes paralelas à via (**W10**)

$$W10_T = \sum W10_n$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendiculares à via (**W11**)

$$W11_T = \sum W11_n$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W12**)

$$W12_T = \sum W12_n$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W13**)

$$W13_T = \sum W13_n$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendiculares à via (**W14**)

$$W14_T = \sum W14_n$$

Tabela de resultados:

Compressão		
Variável	Valor	Unidade
$W1_T$	3.353	N

Momento Fletor		
Variável	Valor	Unidade
$W2_T$	8.396	$N.m$
$W3_T$	24.055	$N.m$
$W4_T$	15.659	$N.m$
$W5_T$	5.721	$N.m$
$W8_T$	0	$N.m$

Momento Fletor		
Variável	Valor	Unidade
$W9_T$	0	$N \cdot m$

Fatores de Flecha		
Variável	Valor	Unidade
$W6_T$	1.639.058	Nm^3
$W7_T$	1.234.157	Nm^3
$W10_T$	0	Nm^3
$W11_T$	2.247.832	Nm^3
$W12_T$	836.442	Nm^3
$W13_T$	0	Nm^3
$W14_T$	0	Nm^3

VERIFICAÇÕES

MOMENTO NO ENCASTRAMENTO

Momento sem a ação do vento

$$M_{\perp} = |W2_T|$$

$$M_{\parallel} = |W9_T|$$

Momento com a ação do vento:

$$M_{v\perp} = |W3_T| + |W4_v|$$

$$M_{v\parallel} = |W5_T| + |W5_v| + |W9_T|$$

Tabela de resultados:

Sem ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{\perp}$	8.396	$N \cdot m$

Sem ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{\parallel}$	0	$N \cdot m$

Com ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{v\perp}$	35.967	$N \cdot m$
$M_{v\parallel}$	19.968	$N \cdot m$

INSTABILIDADE

$$L_e = 2L$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo x

$$f_{0\parallel} = f_{0x} = L_e \cdot (F_{0x_{factor1}} + F_{0x_{factor2}})$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo y

$$f_{0\perp} = f_{0y} = L_e \cdot (F_{0y_{factor1}} + F_{0y_{factor2}})$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo y

$$P_{cr\perp} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_e^2}$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo x

$$P_{cr\parallel} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_e^2}$$

Os momentos fletores secundários devido à instabilidade por cargas de compressão são então:

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\perp\perp} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W11_T + W11v) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\parallel\perp} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W14_T) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\parallel\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W12_T + W12v) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\perp\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W13_T) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

É também necessário verificar se o momento máximo segundo o eixo mais resistente não ultrapassa o valor do momento crítico M_{cr} (fenómeno de instabilidade de encurvadura lateral por flexo-torção).

$$M_{cr} = \frac{4790854 \cdot \sqrt{0,0521 + 2,479 \cdot 10^{-3} \cdot L^2}}{L^2}$$

Tabela de resultados:

Comprimento equivalente		
Variável	Valor	Unidade
L_e	6,2	m

Flecha inicial		
Variável	Valor	Unidade
$f_{0\parallel} = f_{0x}$	0,0159	$N \cdot m$
$f_{0\perp} = f_{0y}$	0,0149	$N \cdot m$

Carga crítica		
Variável	Valor	Unidade
$P_{cr\perp}$	6.006.768	$N \cdot m$
$P_{cr\parallel}$	1.516.629	$N \cdot m$

Momento fletor secundario		
Variável	Valor	Unidade
$M_{2\perp\perp}$	175	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\perp}$	53	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\parallel}$	290	$N \cdot m$
$M_{2\perp\parallel}$	89	$N \cdot m$

Momento critico		
Variável	Valor	Unidade
M_{cr}	120.318	$N \cdot m$

TENSÃO MECÂNICA

A tensão admissível (σ_{ADM}) é determinada a partir das características do aço (tensão de cedência σ_{ced}) e o coeficiente de segurança (CS) considerado.

Para um $CS = 2$

$$\sigma_{ADM} = \frac{\sigma_{ced}}{CS} = \frac{275 \cdot 10^6}{2} = 137,5 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Tabela de resultados:

Tensão Mecânica		
Variável	Valor	Unidade
σ_{ADM}	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 1 – Verificação do momento crítico e tensão de segurança com vento perpendicular:

A primeira verificação a fazer é se o momento crítico não é ultrapassado.

$$M_{v\perp} + M_{2\perp\perp} < M_{cr}$$

$$\sigma_{h1} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\perp}}{W_{ely}} + \frac{M_{v\perp}}{W_{elx}} + \frac{|W8_T| + M_{\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 2 – Verificação da tensão de segurança com vento paralelo:

$$\sigma_{h2} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\parallel}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\parallel}}{W_{ely}} + \frac{M_{\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{v\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 1			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h1}	50.399.357	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 2			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h2}	90.959.165	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS

Para além da verificação das tensões mecânicas dos postes nas hipóteses de cálculo efetuadas, deverão ser verificados os seguintes limites de deformação dos postes:

a) A flecha no topo do poste na ausência de vento deverá ser inferior a 1,2% da altura do poste acima do maciço.

$$f_{TPadm} = H_7 \cdot 0,012$$

b) A flecha do poste ao nível do fio de contacto provocada pela ação do vento, atuando sobre os condutores, cabo de terra e poste não deverá exceder 5,5 cm.

$$f_{FCadm} = 0,055 \text{ m}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})

A flecha no topo do poste é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A) e no fator de flecha total determinado no ponto 7.1.3:

$$f_{TP} = K_y \cdot W6_T < f_{TPadm}$$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})

A flecha ao nível do fio de contacto é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A), no fator de flecha total determinado no ponto 7.1.3 e no fator de flecha do vento a atuar sobre a própria viga, determinado no ponto 9.3 .

$$f_{FC} = K_y \cdot (W7_T + W7_v) < f_{FCadm}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{TP}	0,012	0,107	$\frac{N}{m^2}$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{FC}	0,014	0,055	$\frac{N}{m^2}$

A tabela a seguir mostra um resumo das verificações:

Tabela resumo das verificações					
	Variável	Valor	Limite	Unidade	
Hipótese 1	σ_{h1}	50.399.357	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Hipótese 2	σ_{h2}	90.959.165	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Topo de Poste	f_{TP}	0,012	0,107	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Filo de Contato	f_{FC}	0,014	0,055	$\frac{N}{m^2}$	Ok

Estes resultados confirmam que o perfil **HEB220** é adequado para os trechos em viadutos ou pontes.

CASO 4: CONSOLA DUPLA SLA/ZC

As consolas duplas permitem suportar duas catenárias com alturas e descentrações diferentes, com o objetivo de estabelecer um seccionamento de lâmina de ar (SLA), uma zona comum (ZC) ou uma Zona Neutra (ZN).

Como consequência desta montagem, as cargas verticais sobre o poste multiplicam-se, assim como as forças radiais aumentam em relação à montagem com uma consola simples.

COTAS

Variável	Valor	Unidade
D	3,05	m
H_1	7,40	m
H_2	7,40	m
H_3	6,00	m
H_4	6,90	m
H_5	6,00	m
H_7	7,70	m

O Documento 2 (**GR.IT.CAT.001** DIMENSIONAMENTO DE POSTES DE CATENÁRIA) Especifica que, para consola dupla, a viga deve cumprir a seguinte condição à torção.

$$WA < \phi_{max} [rad]$$

$$WB < \phi_{max} [rad]$$

Ângulo de torção ao nível do pé de consola (**WB**):

$$WB = [(F_{AL} + F_{BL}) \cdot d_L - (F_{AC} + F_{BC}) \cdot d_c] \cdot \frac{H_5 - A}{G \cdot I_T}$$

Ângulo de torção ao nível do pé do tirante (**WA**)

$$WA = (F_{AL} \cdot d_L - F_{AC} \cdot d_c) \cdot \frac{(H_1 - H_5)}{G \cdot I_T} + WB$$

Levando em consideração o mencionado acima, a metodologia é a mesma que para o caso reto.

Definição de um perfil de viga. Para início, é seleccionado um perfil **HEB 240** e procede-se à realização das verificações.

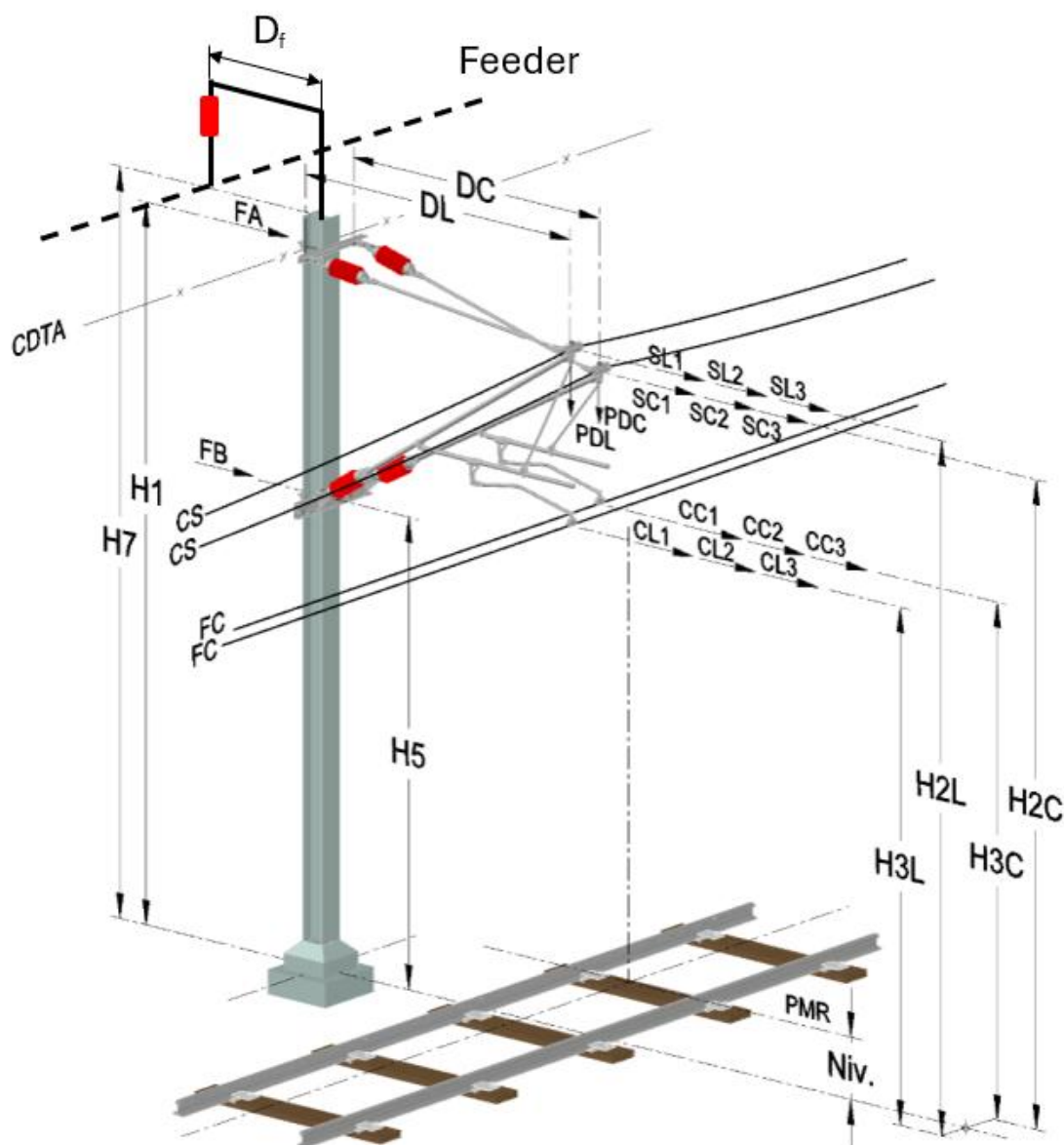


Figura 6 - Ilustração de duas consolas normais com Feeder (lado do campo) e CDTA

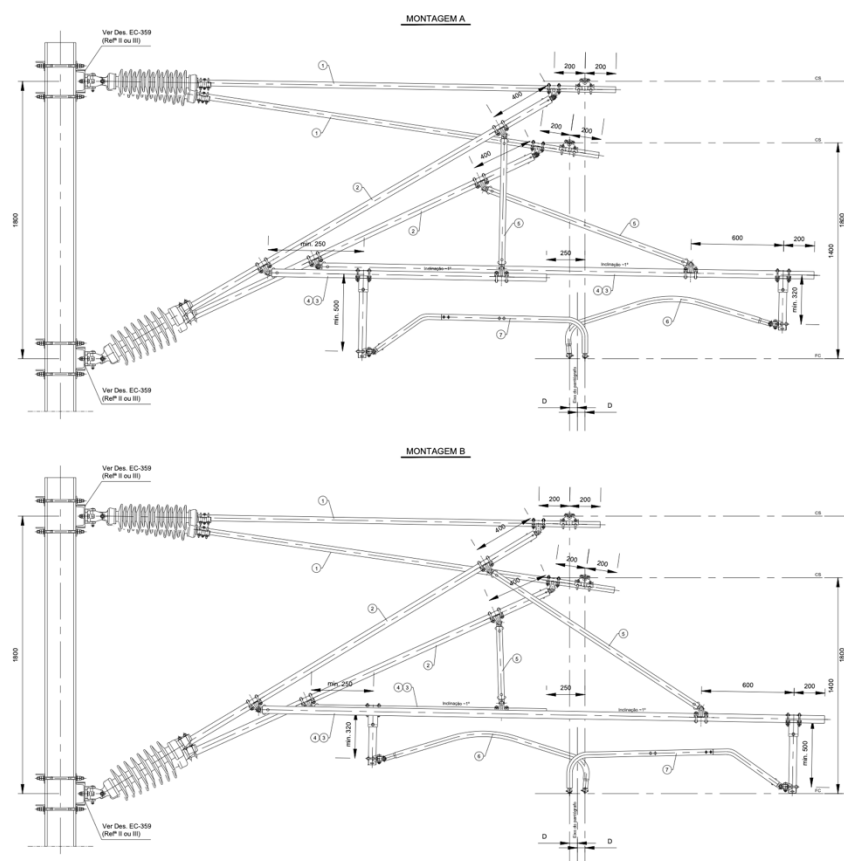


Figura 7 – Detalhe Consola Dupla (Montagens A e B – des. EC-367)

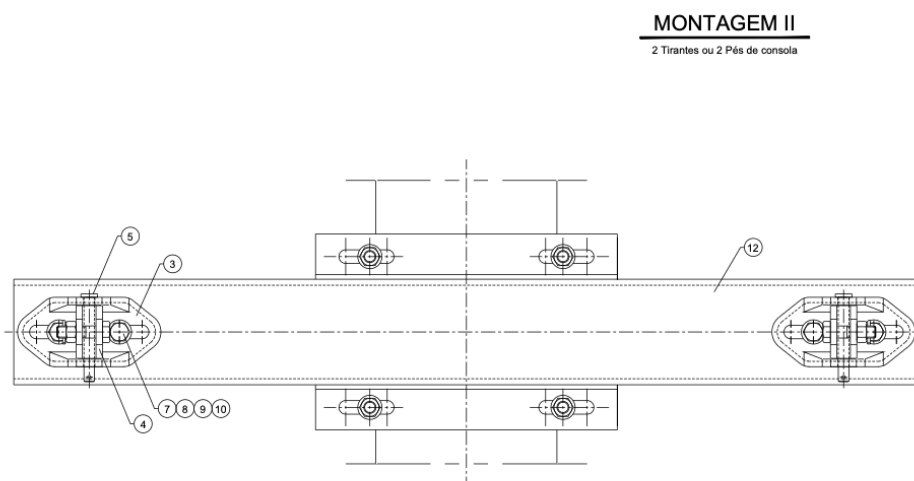


Figura 8 – Peça para fixar duas consolas ao mesmo poste de catenária (Montagem II – des. EC-359)

CARGAS VERTICAIS

Sem peso extra na catenária:

$$P_E = 0N$$

Peso da catenária é igual ao peso do FC mais peso do CS para o vão médio:

$$P_D = (1,33 + 0,62) \cdot \text{vao} \cdot g$$

Peso do Feeder:

$$P_F = (1,33) \cdot \text{vao} \cdot g$$

Peso do CDTA:

$$P_{CDTA} = (0,44) \cdot \text{vao} \cdot g$$

Peso da consola:

$$P_0 = P_{\text{ref}} \cdot D$$

MOMENTOS

Momento no poste devido ao peso da consola

$$M_0 = P_0 \cdot D \cdot CM$$

FORÇAS

Força do vento paralelo à via na consola:

$$V_0 = q_v \cdot A_{\text{cor}} \cdot D$$

Força radial do FC sem vento

$$C_1 = F_{\text{rad}} \cdot 9,8$$

$$C_2 = C_1 + C_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no FC

$$C_3 = q_v \cdot g \cdot D_{FC} \cdot \text{vao} \cdot C_{\text{red}} \cdot C_{\text{forma}}$$

Força radial do CS sem vento

$$S_1 = F_{\text{rad}} \cdot 9,8$$

$$S_2 = S_1 + S_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no CS

$$S = q_v \cdot g \cdot D_{CS} \cdot \text{vao} \cdot C_{\text{red}} \cdot C_{\text{forma}}$$

Força radial do Feeder sem vento

$$F_1 = F_{rad} \cdot 9,8$$

$$F_2 = F_1 + F_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no Feeder:

$$F_3 = q_v \cdot g \cdot D_{feeder} \cdot vao \cdot C_{red} \cdot C_{forma}$$

Força radial do CDTA sem vento:

$$T_1 = F_{rad} \cdot 9,8 = 490 \text{ N}$$

$$T_2 = T_1 + T_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no CDTA:

$$T_3 = q_v \cdot g \cdot D_{CDTA} \cdot vao \cdot C_{red} \cdot C_{forma}$$

Tabela de resultados das cargas a aplicar ao poste da catenária

Variável	Valor	Unidade
V_0	456	N
C_1	249	N
C_2	781	N
C_3	532	N
S_1	174	N
S_2	594	N
S_3	420	N
F_1	0	N
F_2	576	N
F_3	576	N
T_1	0	N
T_2	500	N
T_3	500	N

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA PROPRIÁ VIGA > COMPRESSÃO > COMPRESSÃO DEVIDO AS CARGAS VERTICAIS

$$P_v = P_{un} \cdot H_7$$

>MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PERPENDICULAR A VIA SOBRE A VIGA (W 4 v)

$$V_3 = q_v \cdot g \cdot H_7 \cdot l_{ABA} \cdot Coef_{\perp}$$

$$W4v = \frac{H_7}{2} \cdot V_3$$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA PROPRIÁ VIGA > COMPRESSÃO > COMPRESSÃO DEVIDO AS CARGAS VERTICAIS

$$P_v = P_{un} \cdot H_7$$

>MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PERPENDICULAR A VIA SOBRE A VIGA (W 4 v)

$$V_3 = q_v \cdot g \cdot H_7 \cdot l_{ABA} \cdot Coef_{\perp}$$

$$W4v = \frac{H_7}{2} \cdot V_3$$

Tabela de resultados esforços introduzidos pela própria viga e momentos fletores:

Variável	Valor	Unidade
V_0	456	N
P_v	6236	N
V_3	2677	N
$W4v$	11.912	N · m
V_4	3.195	N
$W5v$	14.217	N · m

MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PARALELO A VIA SOBRE A VIGA (W 5 v)

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes (no permanentes = F_vento) perpendicular a via (W_11)

$$F_{Av} = \frac{S_3 \cdot (H_2 - H_5) + C_3 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5}$$

$$F_{Bv} = \frac{S_3 \cdot (H_1 - H_2) + C_3 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5}$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto (W7v) causada por força do vento

$$W7v = \frac{V_3}{4 \cdot H_7} \cdot H_3^2 \cdot (6 \cdot H_7^2 - 4 \cdot H_3 \cdot H_7 + H_3^2)$$

Fator de flecha **perpendicular** a via no topo de poste resultante das forças horizontais não permanentes **perpendiculares** à via (W11v)

$$W11v = \frac{3}{4} \cdot V_3 \cdot H_7^3$$

Fator de flecha **paralelo** a via **no topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **paralelas** à via (W12v)

$$W12v = \frac{3}{4} \cdot V_4 \cdot H_7^3$$

Fator de flecha **perpendicular** a via no **topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **paralelas** à via (W12v)

$$W13v = 0$$

Fator de flecha **paralelo** a via **no topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **perpendicular** à via (W12v)

$$W14v = 0$$

Tabela de resultados dos Fatores de flecha:

Variável	Valor	Unidade
W7v	805.723	Nm ³
W11v	1.415.286	Nm ³
W12v	1.689.212	Nm ³
W13v	0	Nm ³
W14v	0	Nm ³

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > COMPRESSÃO

Compressão devido as cargas verticais (W1)

$$W1 = P_D + P_0 + P_E + P_F + P_{CDTA}$$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > MOMENTO FLETOR

Momento fletor devido as cargas verticais descentradas e as forças radiais sem ação do vento (w2)

$$W2 = M_0 + (P_D + P_E) \cdot D + C_1 \cdot H_3 + S_1 \cdot H_2 + F_1 \cdot (H_7 + H_P) - P_F \cdot D_F$$

Momento fletor devido as forças do vento perpendicular a via sobre os condutores (W4)

$$W4 = C_3 \cdot H_3 + S_3 \cdot H_2$$

Momento fletor devido as forças do vento paralelo à via sobre os condutores (W5)

$$W5 = V_0 \cdot \frac{(7,75 + 6,35)}{2}$$

Variável	Valor	Unidade
W1	1.801	N
W2	7.079	N · m
W4	6.299	N · m
W5	3.057	N · m

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > FATORES DE FLECHA

A contribuição do peso da consola e da catenária para as ações sobre o poste:

$$F_0 = \frac{(P_D + P_E) \cdot D + M_0}{H_1 - H_5}$$

As resultantes no poste das cargas exercidas pela consola e pela catenária (sem ação do vento) são:

$$F_A = \frac{S_1 \cdot (H_2 - H_5) + C_1 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5} + F_0$$

$$F_B = \frac{S_1 \cdot (H_1 - H_2) + C_1 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5} - F_0$$

Os fatores de flecha aplicados relativamente ao Tirante e ao Tubo da Consola são

$$Q_A = H_1^2 \cdot (3 \cdot H_7 - H_1) \cdot F_A$$

$$Q_B = H_5^2 \cdot (3 \cdot H_7 - H_5) \cdot F_B$$

O fator de flecha no topo do poste é dado por:

$$W6 = Q_A + Q_B$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto resultante de ações perpendiculares à via (**W7**)

Os fatores de flecha (Q) ao nível do fio de contacto são determinados com base nas ações não permanentes

(força do vento sobre os condutores):

$$\begin{cases} Q_1 = H_3^2 \cdot (3 \cdot H_2 - H_3) \cdot S_3 \\ Q_2 = 2 \cdot H_3^2 \cdot C_3 \end{cases}$$

O fator de flecha ao nível do fio de contacto é:

$$W7 = Q_1 + Q_2$$

Tabela de resultados:

Variável	Valor	Unidade
F_0	3.057	N
F_A	2.858	N
F_B	-3.197	N
Q_A	1.414.155	Nm ³
Q_B	-2.490.707	Nm ³
$W6$	488.735	Nm ³
Q_1	204.158	Nm ³
Q_2	191.436	Nm ³
$W7$	395.594	Nm ³

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendicular à via (**W11**)

$$F_{Av} = \frac{S_3 \cdot (H_2 - H_5) + C_3 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5}$$

$$F_{Bv} = \frac{S_3 \cdot (H_1 - H_2) + C_3 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5}$$

Os fatores de flecha aplicados relativamente ao Tirante e ao Tubo da Consola são:

$$Q_{Av} = H_1^2 (3 \cdot H_7 - H_1) \cdot F_{Av}$$

$$Q_{Bv} = H_5^2 (3 \cdot H_7 - H_5) \cdot F_{Bv}$$

O fator de flecha no topo do poste é dado por:

$$W_{11} = Q_{Av} + Q_{Bv}$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W12**)

Contribui para a flecha a força do vento paralelo sobre a consola, que neste caso é equivalente à força concentrada V_0 :

$$W_{12} = \left(\frac{H_1 + H_3}{2} \right)^2 \cdot \left(3 \cdot H_7 - \frac{H_1 + H_3}{2} \right) \cdot V_0$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W13**)

$$W_{13} = 0$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendicular à via (**W14**)

$$W_{14} = 0$$

Tabela de resultados:

Variável	Valor	Unidade
F_{Av}	350	N
F_{Bv}	443	N
Q_{Av}	300.963	Nm ³
Q_{Bv}	272.796	Nm ³
W_{11}	573.759	Nm ³
W_{12}	279.007	Nm ³
W_{13}	0	Nm ³
W_{14}	0	Nm ³

VERIFICAÇÃO DA VIGA E DA FUNDAÇÃO

COMPRESSÃO

Compressão devido às cargas verticais (**W1T**)

$$W1_T = \sum W1_n$$

MOMENTO FLETOR

Momento fletor devido às cargas verticais descentradas e às forças radiais sem ação do vento (**W2T**)

$$W2_T = \sum W2_n$$

Momento fletor devido às cargas verticais descentradas e às forças radiais com ação do vento perpendicular à via (**W3T**)

$$W3_T = W2_T + z \cdot W4_T$$

Em que

$$\begin{cases} z = 1 & \text{se } W2_T \geq 0 \\ z = -1 & \text{se } W2_T < 0 \end{cases}$$

Momento fletor devido às forças do vento perpendicular à via sobre os condutores e as estruturas (**W4T**)

$$W4_T = \sum W4_n$$

Momento fletor devido às forças do vento paralelo à via sobre os condutores e as estruturas (**W5T**)

$$W5_T = \sum W5_n$$

Momento fletor devido às forças atuando paralelamente à via resultantes da força do vento perpendicular sobre os condutores não compensados (**W8T**)

$$W8_T = \sum W8_n$$

Momento fletor devido às forças atuando paralelamente à via resultantes de amarrações não espiadas (**W9T**)

$$W9_T = \sum W9_n$$

FATORES DE FLECHA

Fator de flecha no topo do poste resultante de ações permanentes perpendiculares à via (**W6**)

$$W6_T = \sum W6_n$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto resultante de ações perpendiculares à via (**W7**)

$$W7_T = \sum W7_n$$

Fator de flecha no topo do poste resultante de ações permanentes paralelas à via (**W10**)

$$W10_T = \sum W10_n$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendiculares à via (**W11**)

$$W11_T = \sum W11_n$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W12**)

$$W12_T = \sum W12_n$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W13**)

$$W13_T = \sum W13_n$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendiculares à via (**W14**)

$$W14_T = \sum W14_n$$

Tabela de resultados:

Compressão		
Variável	Valor	Unidade
$W1_T$	4.884	N

Momento Fletor		
Variável	Valor	Unidade
$W2_T$	-10.287	$N.m$
$W3_T$	-27.922	$N.m$
$W4_T$	17.635	$N.m$
$W5_T$	5.799	$N.m$
$W8_T$	0	$N.m$
$W9_T$	0	$N.m$

Fatores de Flecha		
Variável	Valor	Unidade
$W6_T$	-614.173	Nm^3
$W7_T$	1.352.349	Nm^3
$W10_T$	0	Nm^3
$W11_T$	1.974.157	Nm^3
$W12_T$	643.486	Nm^3
$W13_T$	0	Nm^3
$W14_T$	0	Nm^3

VERIFICAÇÕES

MOMENTO NO ENCASTRAMENTO

Momento sem a ação do vento

$$M_{\perp} = |W2_T|$$

$$M_{\parallel} = |W9_T|$$

Momento com a ação do vento:

$$M_{v\perp} = |W3_T| + |W4_v|$$

$$M_{v\parallel} = |W5_T| + |W5_v| + |W9_T|$$

Tabela de resultados:

Sem ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{\perp}$	10.287	$N \cdot m$
$M_{\parallel}$	0	$N \cdot m$

Com ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{v\perp}$	36.028	$N \cdot m$
$M_{v\parallel}$	15.474	$N \cdot m$

INSTABILIDADE

$$L_e = 2L$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo x

$$f_{0\parallel} = f_{0x} = L_e \cdot (F_{0x_{factor1}} + F_{0x_{factor2}})$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo y

$$f_{0\perp} = f_{0y} = L_e \cdot (F_{0y_{factor1}} + F_{0y_{factor2}})$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo y

$$P_{cr\perp} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_e^2}$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo x

$$P_{cr\parallel} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_e^2}$$

Os momentos fletores secundários devido à instabilidade por cargas de compressão são então:

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\perp\perp} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W11_T + W11v) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\parallel\perp} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W14_T) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\parallel\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W12_T + W12v) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\perp\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W13_T) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

É também necessário verificar se o momento máximo segundo o eixo mais resistente não ultrapassa o valor do momento crítico M_{cr} (fenómeno de instabilidade de encurvadura lateral por flexo-torção).

$$M_{cr} = \frac{4790854 \cdot \sqrt{0,0521 + 2,479 \cdot 10^{-3} \cdot L^2}}{L^2}$$

Tabela de resultados:

Comprimento equivalente		
Variável	Valor	Unidade
L_e	5,4	m

Flecha inicial		
Variável	Valor	Unidade
$f_{0\parallel} = f_{0x}$	0,0125	$N \cdot m$
$f_{0\perp} = f_{0y}$	0,0123	$N \cdot m$

Carga crítica		
Variável	Valor	Unidade
$P_{cr\perp}$	10.633.344	$N \cdot m$
$P_{cr\parallel}$	2.317.670	$N \cdot m$

Momento fletor secundario		
Variável	Valor	Unidade
$M_{2\perp\perp}$	114	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\perp}$	61	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\parallel}$	210	$N \cdot m$
$M_{2\perp\parallel}$	44	$N \cdot m$

Momento crítico		
Variável	Valor	Unidade
M_{cr}	201.039	$N \cdot m$

TENSÃO MECÂNICA

A tensão admissível (σ_{ADM}) é determinada a partir das características do aço (tensão de cedência σ_{ced}) e o coeficiente de segurança (CS) considerado.

Para um $CS = 2$

$$\sigma_{ADM} = \frac{\sigma_{ced}}{CS} = \frac{275 \cdot 10^6}{2} = 137,5 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Tabela de resultados:

Tensão Mecânica		
Variável	Valor	Unidade
σ_{ADM}	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 1 – Verificação do momento crítico e tensão de segurança com vento perpendicular:

A primeira verificação a fazer é se o momento crítico não é ultrapassado.

$$M_{v\perp} + M_{2\perp\perp} < M_{cr}$$

$$\sigma_{h1} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\perp}}{W_{ely}} + \frac{M_{v\perp}}{W_{elx}} + \frac{|W8_T| + M_{\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 2 – Verificação da tensão de segurança com vento paralelo:

$$\sigma_{h2} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\parallel}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\parallel}}{W_{ely}} + \frac{M_{\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{v\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 1			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h1}	39.758.446	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 2			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h2}	60.099.159	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS

Para além da verificação das tensões mecânicas dos postes nas hipóteses de cálculo efetuadas, deverão ser verificados os seguintes limites de deformação dos postes:

a) A flecha no topo do poste na ausência de vento deverá ser inferior a 1,2% da altura do poste acima do maciço.

$$f_{TPadm} = H_7 \cdot 0,012$$

b) A flecha do poste ao nível do fio de contacto provocada pela ação do vento, atuando sobre os condutores, cabo de terra e poste não deverá exceder 5,5 cm.

$$f_{FCadm} = 0,055 \text{ m}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})

A flecha no topo do poste é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A) e no fator de flecha total determinado no ponto 7.1.3:

$$f_{TP} = K_y \cdot W6_T < f_{TPadm}$$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})

A flecha ao nível do fio de contacto é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A), no fator de flecha total, no fator de flecha do vento a atuar sobre a própria viga.

$$f_{FC} = K_y \cdot (W7_T + W7_v) < f_{FCadm}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{TP}	0,012	0,107	$\frac{N}{m^2}$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{FC}	0,014	0,055	$\frac{N}{m^2}$

Ângulo de torção ao nível do pé de consola (WB)

$$WB = [(f_{AL} + f_{BL}) \cdot d_L - (F_{AC} + F_{BC}) \cdot d_C] \cdot \frac{(H_5 - A)}{G \cdot I_T}$$

Ângulo de torção ao nível do pé do tirante (WA)

$$WA = (F_{AL} \cdot d_L - F_{AC} \cdot d_C) \cdot \frac{(H_1 - H_5)}{G \cdot I_T} + WB$$

Ângulo de torção ao nível do pé de consola (WB)			
Variável	Valor	Limite	Unidade
WB	0,08	0,1	rad

Ângulo de torção ao nível do pé do tirante (WA)			
Variável	Valor	Limite	Unidade
WA	0,09	0,1	rad

A tabela seguinte apresenta as verificações efetuadas para o Caso 4 - Consola Dupla:

Tabela resumo das verificações Caso 4 – Consola Dupla SLA / ZC					
	Variável	Valor	Limite	Unidade	
Hipótese 1	σ_{h1}	39.758.446	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Hipótese 2	σ_{h2}	60.099.159	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Topo de Poste	f_{TP}	0,003	0,107	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Filo de Contato	f_{FC}	0,000	0,055	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Torção pé de consola	WB	0,08	0,1	rad	Ok

Tabela resumo das verificações Caso 4 – Consola Dupla SLA / ZC

	Variável	Valor	Limite	Unidade	
Torção pé de tirante	WA	0,09	0,1	rad	Ok

Estes resultados confirmam que o perfil **HEB240** é adequado para os postes que carga com uma consola dupla.

CASO 5: CONSOLA TRIPLA

De forma análoga à consola dupla, as consolas triplas permitem suportar três catenárias com alturas e desalinhamentos diferentes, com o objetivo de estabelecer uma zona comum (ZC) o Aparelhos de mudança de via (AMV).

Também estão sujeitas à verificação de torção:

$$WA < \phi_{max} [rad]$$

$$WB < \phi_{max} [rad]$$

COTAS

Variável	Valor	Unidade
D	3,05	m
H_1	7,40	m
H_2	7,40	m
H_3	6,00	m
H_4	6,90	m
H_5	6,00	m
H_7	7,70	m

Definição de um perfil de viga. Para início, é selecionado um perfil **HEB 300** e procede-se à realização das verificações.

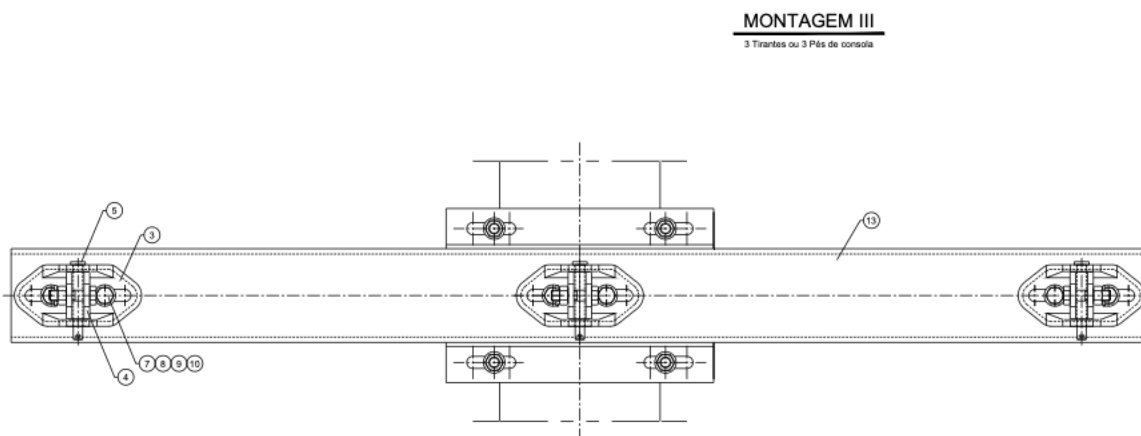


Figura 9 – Peça para fixar três consolas ao mesmo poste de catenária (Montagem III – des. EC-359)

CARGAS VERTICAIS

Sem peso extra na catenária:

$$P_E = 0N$$

Peso da catenária é igual ao peso do FC mais peso do CS para o vão médio:

$$P_D = (1,33 + 0,62) \cdot \text{vao} \cdot g$$

Peso do Feeder:

$$P_F = (1,33) \cdot \text{vao} \cdot g$$

Peso do CDTA:

$$P_{CDTA} = (0,44) \cdot \text{vao} \cdot g$$

Peso da consola:

$$P_0 = P_{\text{ref}} \cdot D$$

MOMENTOS

Momento no poste devido ao peso da consola

$$M_0 = P_0 \cdot D \cdot CM$$

FORÇAS

Força do vento paralelo à via na consola:

$$V_0 = q_v \cdot A_{\text{cor}} \cdot D$$

Força radial do FC sem vento

$$C_1 = F_{\text{rad}} \cdot 9,8$$

$$C_2 = C_1 + C_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no FC

$$C_3 = q_v \cdot g \cdot D_{FC} \cdot \text{vao} \cdot C_{\text{red}} \cdot C_{\text{forma}}$$

Força radial do CS sem vento

$$S_1 = F_{\text{rad}} \cdot 9,8$$

$$S_2 = S_1 + S_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no CS

$$S = q_v \cdot g \cdot D_{CS} \cdot vao \cdot C_{red} \cdot C_{forma}$$

Força radial do Feeder sem vento

$$F_1 = F_{rad} \cdot 9,8$$

$$F_2 = F_1 + F_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no Feeder:

$$F_3 = q_v \cdot g \cdot D_{feeder} \cdot vao \cdot C_{red} \cdot C_{forma}$$

Força radial do CDTA sem vento:

$$T_1 = F_{rad} \cdot 9,8 = 490 \text{ N}$$

$$T_2 = T_1 + T_3$$

Força exercida pelo vento perpendicular à via no CDTA:

$$T_3 = q_v \cdot g \cdot D_{CDTA} \cdot vao \cdot C_{red} \cdot C_{forma}$$

Tabela de resultados das cargas a aplicar ao poste da catenária

Variável	Valor	Unidade
V_0	1 137	N
C_1	249	N
C_2	1 388	N
C_3	1 139	N
S_1	174	N
S_2	1 074	N
S_3	900	N
F_1	0	N
F_2	1 234	N
F_3	1 234	N
T_1	0	N

Variável	Valor	Unidade
T_2	1 072	N
T_3	1 072	N

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA PROPIÁ VIGA > COMPRESSÃO > COMPRESSÃO DEVIDO AS CARGAS VERTICAIS

$$P_v = P_{un} \cdot H_7$$

>MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PERPENDICULAR A VIA SOBRE A VIGA (W 4 v)

$$V_3 = q_v \cdot g \cdot H_7 \cdot l_{ABA} \cdot Coef_{\perp}$$

$$W4v = \frac{H_7}{2} \cdot V_3$$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA PROPIÁ VIGA > COMPRESSÃO > COMPRESSÃO DEVIDO AS CARGAS VERTICAIS

$$P_v = P_{un} \cdot H_7$$

>MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PERPENDICULAR A VIA SOBRE A VIGA (W 4 v)

$$V_3 = q_v \cdot g \cdot H_7 \cdot l_{ABA} \cdot Coef_{\perp}$$

$$W4v = \frac{H_7}{2} \cdot V_3$$

Tabela de resultados esforços introduzidos pela propriá viga e momentos fletores:

Variável	Valor	Unidade
V_0	1 137	N
P_v	6 278	N
V_3	6 316	N
$W4v$	24 317	N · m
V_4	7 538	N
$W5v$	29 023	N · m

MOMENTO FLETOR> MOMENTO FLETOR DEVIDO AS FORÇAS DO VENTO PARALELO A VIA SOBRE A VIGA (W 5 v)

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes (no permanentes = F_{vento}) perpendicular a via (W_{11})

$$F_{Av} = \frac{S_3 \cdot (H_2 - H_5) + C_3 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5}$$

$$F_{Bv} = \frac{S_3 \cdot (H_1 - H_2) + C_3 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5}$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto ($W7v$) causada por força do vento

$$W7v = \frac{V_3}{4 \cdot H_7} \cdot H_3^2 \cdot (6 \cdot H_7^2 - 4 \cdot H_3 \cdot H_7 + H_3^2)$$

Fator de flecha **perpendicular** a via no topo de poste resultante das forças horizontais não permanentes **perpendiculares** à via ($W11v$)

$$W11v = \frac{3}{4} \cdot V_3 \cdot H_7^3$$

Fator de flecha **paralelo** a via **no topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **paralelas** à via ($W12v$)

$$W12v = \frac{3}{4} \cdot V_4 \cdot H_7^3$$

Fator de flecha **perpendicular** a via no **topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **paralelas** à via ($W12v$)

$$W13v = 0$$

Fator de flecha **paralelo** a via **no topo de poste** resultante das forças horizontais não permanentes **perpendicular** à via ($W12v$)

$$W14v = 0$$

Tabela de resultados dos Fatores de flecha:

Variável	Valor	Unidade
$W7v$	1.527.701	Nm^3
$W11v$	2.162.598	Nm^3
$W12v$	2.581.165	Nm^3
$W13v$	0	Nm^3

Variável	Valor	Unidade
$W14v$	0	Nm^3

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > COMPRESSÃO

Compressão devido as cargas verticais (W1)

$$W1 = P_D + P_0 + P_E + P_F + P_{CDTA}$$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > MOMENTO FLETOR

Momento fletor devido as cargas verticais descentradas e as forças radiais sem ação do vento (w2)

$$W2 = M_0 + (P_D + P_E) \cdot D + C_1 \cdot H_3 + S_1 \cdot H_2 + F_1 \cdot (H_7 + H_P) - P_F \cdot D_F$$

Momento fletor devido as forças do vento perpendicular a via sobre os condutores (W4)

$$W4 = C_3 \cdot H_3 + S_3 \cdot H_2$$

Momento fletor devido as forças do vento paralelo à via sobre os condutores (W5)

$$W5 = V_0 \cdot \frac{(7,75 + 6,35)}{2}$$

Variável	Valor	Unidade
$W1$	4.881	N
$W2$	14.059	$N \cdot m$
$W4$	13.498	$N \cdot m$
$W5$	7.618	$N \cdot m$

ESFORÇOS INTRODUZIDOS PELA CONSOLA > FATORES DE FLECHA

A contribuição do peso da consola e da catenária para as ações sobre o poste:

$$F_0 = \frac{(P_D + P_E) \cdot D + M_0}{H_1 - H_5}$$

As resultantes no poste das cargas exercidas pela consola e pela catenária (sem ação do vento) são:

$$F_A = \frac{S_1 \cdot (H_2 - H_5) + C_1 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5} + F_0$$

$$F_B = \frac{S_1 \cdot (H_1 - H_2) + C_1 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5} - F_0$$

Os fatores de flecha aplicados relativamente ao Tirante e ao Tubo da Consola são

$$Q_A = H_1^2 \cdot (3 \cdot H_7 - H_1) \cdot F_A$$

$$Q_B = H_5^2 \cdot (3 \cdot H_7 - H_5) \cdot F_B$$

O fator de flecha no topo do poste é dado por:

$$W6 = Q_A + Q_B$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto resultante de ações perpendiculares à via (**W7**)

Os fatores de flecha (Q) ao nível do fio de contacto são determinados com base nas ações não permanentes

(força do vento sobre os condutores):

$$\begin{cases} Q_1 = H_3^2 \cdot (3 \cdot H_2 - H_3) \cdot S_3 \\ Q_2 = 2 \cdot H_3^2 \cdot C_3 \end{cases}$$

O fator de flecha ao nível do fio de contacto é:

$$W7 = Q_1 + Q_2$$

Tabela de resultados:

Variável	Valor	Unidade
F_0	3.069	N
F_A	3.243	N
F_B	-2.820	N
Q_A	3.427.521	Nm ³
Q_B	-2.101.457	Nm ³
$W6$	1.326.064	Nm ³
Q_1	244.990	Nm ³
Q_2	229.723	Nm ³

Variável	Valor	Unidade
$W7$	474.713	Nm^3

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendicular à via (**W11**)

$$F_{Av} = \frac{S_3 \cdot (H_2 - H_5) + C_3 \cdot (H_3 - H_5)}{H_1 - H_5}$$

$$F_{Bv} = \frac{S_3 \cdot (H_1 - H_2) + C_3 \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - H_5}$$

Os fatores de flecha aplicados relativamente ao Tirante e ao Tubo da Consola são:

$$Q_{Av} = H_1^2 (3 \cdot H_7 - H_1) \cdot F_{Av}$$

$$Q_{Bv} = H_5^2 (3 \cdot H_7 - H_5) \cdot F_{Bv}$$

O fator de flecha no topo do poste é dado por:

$$W_{11} = Q_{Av} + Q_{Bv}$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W12**)

Contribui para a flecha a força do vento paralelo sobre a consola, que neste caso é equivalente à força concentrada V_0 :

$$W_{12} = \left(\frac{H_1 + H_3}{2} \right)^2 \cdot \left(3 \cdot H_7 - \frac{H_1 + H_3}{2} \right) \cdot V_0$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W13**)

$$W_{13} = 0$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendicular à via (**W14**)

$$W_{14} = 0$$

Tabela de resultados:

Variável	Valor	Unidade
F_{Av}	420	N
F_{Bv}	532	N
Q_{Av}	443.968	Nm^3
Q_{Bv}	393.272	Nm^3
$W11$	840.240	Nm^3
$W12$	409.651	Nm^3
$W13$	0	Nm^3
$W14$	0	Nm^3

VERIFICAÇÃO DA VIGA E DA FUNDAÇÃO

COMPRESSÃO

Compressão devido às cargas verticais (**W1T**)

$$W1_T = \sum W1_n$$

MOMENTO FLETOR

Momento fletor devido às cargas verticais descentradas e às forças radiais sem ação do vento (**W2T**)

$$W2_T = \sum W2_n$$

Momento fletor devido às cargas verticais descentradas e às forças radiais com ação do vento perpendicular à via (**W3T**)

$$W3_T = W2_T + z \cdot W4_T$$

Em que

$$\begin{cases} z = 1 & \text{se } W2_T \geq 0 \\ z = -1 & \text{se } W2_T < 0 \end{cases}$$

Momento fletor devido às forças do vento perpendicular à via sobre os condutores e as estruturas (**W4T**)

$$W4_T = \sum W4_n$$

Momento fletor devido às forças do vento paralelo à via sobre os condutores e as estruturas (**W5T**)

$$W5_T = \sum W5_n$$

Momento fletor devido às forças atuando paralelamente à via resultantes da força do vento perpendicular sobre os condutores não compensados (**W8T**)

$$W8_T = \sum W8_n$$

Momento fletor devido às forças atuando paralelamente à via resultantes de amarrações não espiadas (**W9T**)

$$W9_T = \sum W9_n$$

FATORES DE FLECHA

Fator de flecha no topo do poste resultante de ações permanentes perpendiculares à via (**W6**)

$$W6_T = \sum W6_n$$

Fator de flecha ao nível do fio de contacto resultante de ações perpendiculares à via (**W7**)

$$W7_T = \sum W7_n$$

Fator de flecha no topo do poste resultante de ações permanentes paralelas à via (**W10**)

$$W10_T = \sum W10_n$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendiculares à via (**W11**)

$$W11_T = \sum W11_n$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W12**)

$$W12_T = \sum W12_n$$

Fator de flecha perpendicular à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes paralelas à via (**W13**)

$$W13_T = \sum W13_n$$

Fator de flecha paralelo à via no topo do poste resultante das forças horizontais não permanentes perpendiculares à via (**W14**)

$$W14_T = \sum W14_n$$

Tabela de resultados:

Compressão		
Variável	Valor	Unidade
$W1_T$	5.993	N

Momento Fletor		
Variável	Valor	Unidade
$W2_T$	19.367	$N.m$
$W3_T$	51.457	$N.m$
$W4_T$	32.091	$N.m$
$W5_T$	9.705	$N.m$
$W8_T$	0	$N.m$
$W9_T$	0	$N.m$

Fatores de Flecha		
Variável	Valor	Unidade
$W6_T$	2.822.198	Nm^3
$W7_T$	2.479.618	Nm^3
$W10_T$	0	Nm^3
$W11_T$	3.631.029	Nm^3
$W12_T$	1.085.149	Nm^3
$W13_T$	0	Nm^3

Fatores de Flecha		
Variável	Valor	Unidade
$W14_T$	0	Nm^3

VERIFICAÇÕES

MOMENTO NO ENCASTRAMENTO

Momento sem a ação do vento

$$M_{\perp} = |W2_T|$$

$$M_{\parallel} = |W9_T|$$

Momento com a ação do vento:

$$M_{v\perp} = |W3_T| + |W4v|$$

$$M_{v\parallel} = |W5_T| + |W5v| + |W9_T|$$

Tabela de resultados:

Sem ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{\perp}$	19.367	$N \cdot m$
$M_{\parallel}$	0	$N \cdot m$

Com ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{v\perp}$	81.853	$N \cdot m$
$M_{v\parallel}$	44.774	$N \cdot m$

INSTABILIDADE

$$L_e = 2L$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo x

$$f_{0\parallel} = f_{0x} = L_e \cdot (F_{0x_factor1} + F_{0x_factor2})$$

Flecha inicial devido a imperfeições geométricas segundo o eixo y

$$f_{0\perp} = f_{0y} = L_e \cdot (F_{0y_factor1} + F_{0y_factor2})$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo y

$$P_{cr\perp} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_e^2}$$

A Carga Crítica de Euler segundo o eixo x

$$P_{cr\parallel} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_e^2}$$

Os momentos fletores secundários devido à instabilidade por cargas de compressão são então:

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\perp\perp} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W11_T + W11v) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento perpendicular à via é dado por:

$$M_{2\parallel\perp} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W14_T) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido paralelo à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\parallel\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W12_T + W12v) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

O momento fletor secundário no sentido perpendicular à via devido ao esforço de compressão com vento paralelo à via é dado por:

$$M_{2\perp\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W13_T) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

É também necessário verificar se o momento máximo segundo o eixo mais resistente não ultrapassa o valor do momento crítico M_{cr} (fenómeno de instabilidade de encurvadura lateral por flexo-torção).

$$M_{cr} = \frac{4790854 \cdot \sqrt{0,0521 + 2,479 \cdot 10^{-3} \cdot L^2}}{L^2}$$

Tabela de resultados:

Comprimento equivalente		
Variável	Valor	Unidade
L_e	6,2	m

Flecha inicial		
Variável	Valor	Unidade
$f_{0\parallel} = f_{0x}$	0,0135	$N \cdot m$
$f_{0\perp} = f_{0y}$	0,0127	$N \cdot m$

Carga crítica		
Variável	Valor	Unidade
$P_{cr\perp}$	2.631.254	$N \cdot m$
$P_{cr\parallel}$	952.155	$N \cdot m$

Momento fletor secundario		
Variável	Valor	Unidade
$M_{2\perp\perp}$	175	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\perp}$	53	$N \cdot m$
$M_{2\parallel\parallel}$	290	$N \cdot m$

Momento fletor secundario		
Variável	Valor	Unidade
$M_{2\perp\parallel}$	89	$N \cdot m$

Momento critico		
Variável	Valor	Unidade
M_{cr}	289.519	$N \cdot m$

TENSÃO MECÂNICA

A tensão admissível (σ_{ADM}) é determinada a partir das características do aço (tensão de cedência σ_{ced}) e o coeficiente de segurança (CS) considerado.

Para um $CS = 2$

$$\sigma_{ADM} = \frac{\sigma_{ced}}{CS} = \frac{275 \cdot 10^6}{2} = 137,5 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Tabela de resultados:

Tensão Mecânica		
Variável	Valor	Unidade
σ_{ADM}	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 1 – Verificação do momento crítico e tensão de segurança com vento perpendicular:

A primeira verificação a fazer é se o momento crítico não é ultrapassado.

$$M_{v\perp} + M_{2\perp\perp} < M_{cr}$$

$$\sigma_{h1} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\perp}}{W_{ely}} + \frac{M_{v\perp}}{W_{elx}} + \frac{|W8_T| + M_{\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 2 – Verificação da tensão de segurança com vento paralelo:

$$\sigma_{h2} = \frac{W1_T + P_v}{A} + \frac{M_{2\perp\parallel}}{W_{elx}} + \frac{M_{2\parallel\parallel}}{W_{ely}} + \frac{M_{\perp}}{W_{elx}} + \frac{M_{v\parallel}}{W_{ely}} < \sigma_{ADM}$$

Hipótese 1			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h1}	72.097.347	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

Hipótese 2			
Variável	Valor	Limite	Unidade
σ_{h2}	133.263.484	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$

VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS

Para além da verificação das tensões mecânicas dos postes nas hipóteses de cálculo efetuadas, deverão ser verificados os seguintes limites de deformação dos postes:

a) A flecha no topo do poste na ausência de vento deverá ser inferior a 1,2% da altura do poste acima do maciço.

$$f_{TPadm} = H_7 \cdot 0,012$$

b) A flecha do poste ao nível do fio de contacto provocada pela ação do vento, atuando sobre os condutores, cabo de terra e poste não deverá exceder 5,5 cm.

$$f_{FCadm} = 0,055 \text{ m}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})

A flecha no topo do poste é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A) e no fator de flecha total determinado no ponto 7.1.3:

$$f_{TP} = K_y \cdot W6_T < f_{TPadm}$$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})

A flecha ao nível do fio de contacto é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A), no fator de flecha total, no fator de flecha do vento a atuar sobre a própria viga.

$$f_{FC} = K_y \cdot (W7_T + W7_v) < f_{FCadm}$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{TP}	0,012	0,107	$\frac{N}{m^2}$

Flecha ao nível do fio de contacto (f_{FC})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{FC}	0,019	0,055	$\frac{N}{m^2}$

Ângulo de torção ao nível do pé de consola (WB)

$$WB = [(f_{AL} + f_{BL}) \cdot d_L - (F_{AC} + F_{BC}) \cdot d_C] \cdot \frac{(H_5 - A)}{G \cdot I_T}$$

Ângulo de torção ao nível do pé do tirante (WA)

$$WA = (F_{AL} \cdot d_L - F_{AC} \cdot d_C) \cdot \frac{(H_1 - H_5)}{G \cdot I_T} + WB$$

Ângulo de torção ao nível do pé de consola (WB)			
Variável	Valor	Limite	Unidade
WB	0,00	0,	rad

Ângulo de torção ao nível do pé do tirante (WA)			
Variável	Valor	Limite	Unidade
WA	0,00	0,1	rad

A tabela seguinte apresenta as verificações efetuadas para o Caso 5 - Consola Tripla:

Tabela resumo das verificações Caso 5 – Consola Tripla SLA / ZC					
	Variável	Valor	Limite	Unidade	
Hipótese 1	σ_{h1}	72.097.347	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Hipótese 2	σ_{h2}	133.263.484	137.500.000	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Topo de Poste	f_{TP}	0,012	0,107	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Flecha Filo de Contato	f_{FC}	0,019	0,055	$\frac{N}{m^2}$	Ok
Torção pé de consola	WB	0,000	0,1	rad	Ok
Torção pé de tirante	WA	0,000	0,1	rad	Ok

Estes resultados confirmam que o perfil **HEB300** é adequado para os postes que carga com uma consola tripla.

CASO 6: TÚNEL

Para os troços em túnel, não se dimensiona o perfil, uma vez que este está definido pelo desenho EC 107. Neste caso, calculam-se as cargas e momentos transmitidos pela montagem da catenária à estrutura do túnel (inputs para a obra civil).

A montagem definida em desenho é a seguinte: Um poste fixado à parte superior do túnel suporta a consola, conforme ilustrado na figura seguinte.

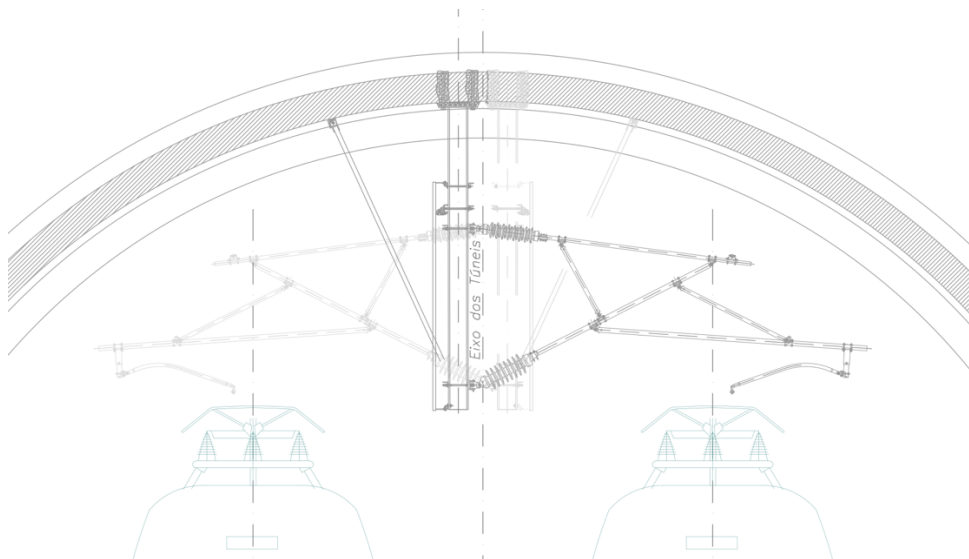


Figura 10 – Detalhe de uma secção de túnel com o postaleta fixado à parte superior e duas consolas LP300.

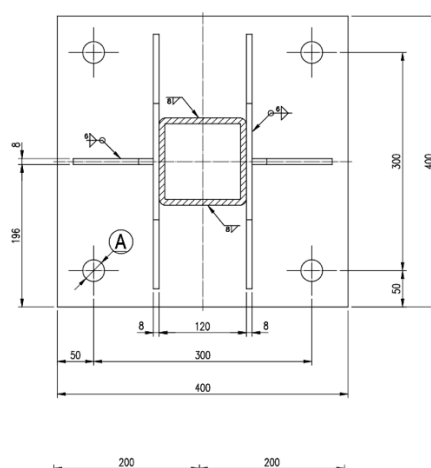


Figura 11 – Secção em planta do postaleta (des. EC-107)

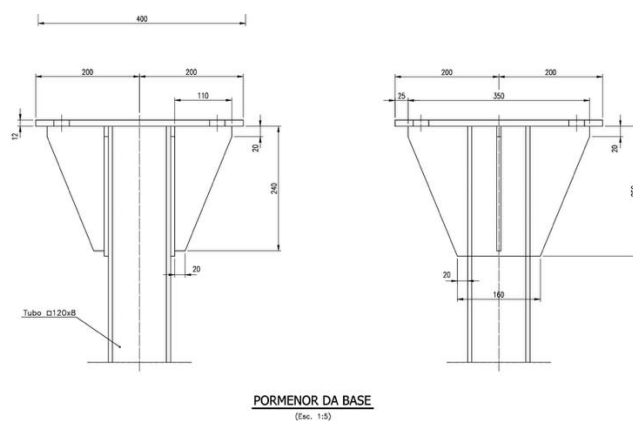


Figura 12 – Pormenor da base em alçado (des. EC-107)

TORSOR DE LIGAÇÃO

Para definir as cargas transmitidas à obra civil, define-se o torsor de ligação:

$$\text{Forças: } \begin{cases} F_x \\ F_y \\ F_z \end{cases}$$

$$\text{Momentos: } \begin{cases} M_x \\ M_y \\ M_z \end{cases}$$

Para a sua definição, considera-se o seguinte triedro ortonormal:

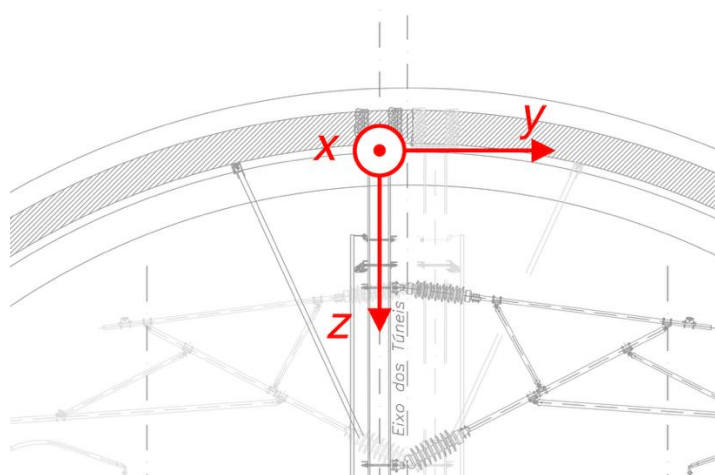


Figura 13 – Triedro ortonormal de referência (des. EC-107)

- As forças em **x** são zero, pois as tensões do FC e do CS compensam-se com o postalete seguinte e anterior.
- As forças em **y** são iguais às forças radiais devido ao descentramento da catenária. A norma fixa o vão máximo em túnel em 49,5 m (GR.IT.CAT.066 - ESPECIFICAÇÕES GERAIS DA CATENÁRIA LP300). Com esse vão obtêm-se $F_{FC} = 317 \text{ N}$ e $F_{CS} = 222 \text{ N}$.
- As forças em **z** são iguais ao peso próprio do perfil, da consola e da catenária (CS e FC) para um vão de 49,5 m: 1359 N da catenária e 752,7 N do perfil 120x8.

O torsor de ligação das forças apresenta-se na tabela seguinte:

Variável	Valor	Unidade
F_x	0	N

Variável	Valor	Unidade
F_y	539	N
F_z	2112	N

Os momentos transmitidos ao túnel ocorrem exclusivamente no eixo x, uma vez que os momentos nos eixos y e z se compensam com a catenária.

O tursor de ligação dos momentos apresenta-se na tabela seguinte:

Variável	Valor	Unidade
M_x	0	Nm
M_y	0	Nm
M_z	1386	Nm

CASO 7: POSTE DE ANCORAGEM E POSTALETE

Um poste de ancoragem é montado no início de um troço de catenária. Por ser o primeiro poste, a força de tração não é compensada pela do poste seguinte, pelo que é montado um estai para compensar a força horizontal.

Procede-se, de seguida, ao cálculo do caso correspondente a um poste implantado em plena via. A figura seguinte, E-1607, apresenta a configuração-tipo da montagem em plena via.

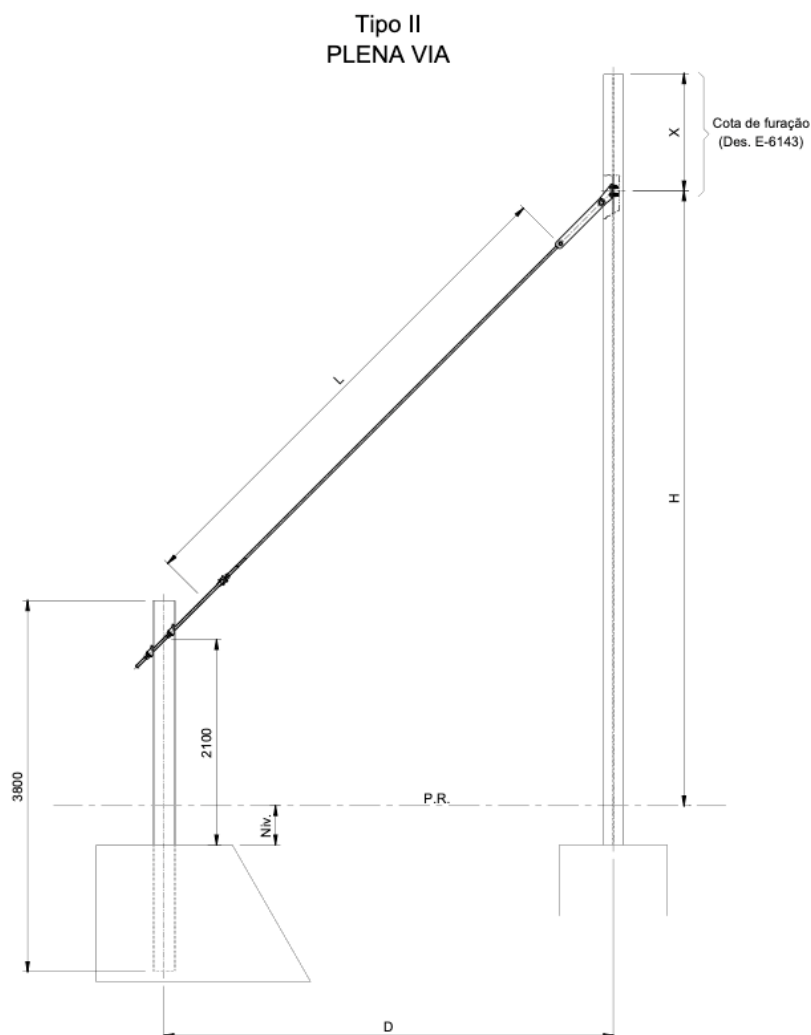


Figura 14 - Esquema do Espiamento (des. E-1607)

A montagem é composta por um poste do tipo HEB240, um postalete e uma espia. De seguida, apresenta-se o diagrama de forças sobre o poste no plano XY:

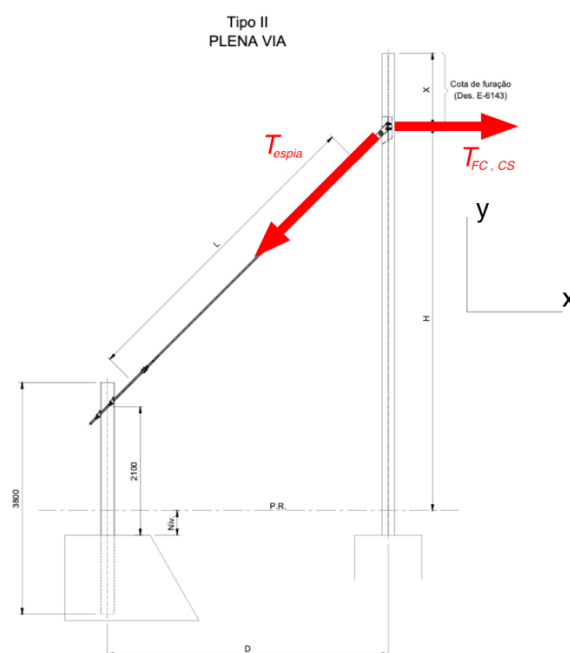


Figura 15 – Diagrama de Forças sobre o poste (des. E-1607)

O diagrama do corpo livre do poste tipo permite determinar o valor da tensão (T) da espia que é transmitida ao postalete.

$$F_{CS,FC} = (1400 + 2000) \cdot g$$

$$F_{CS,FC} = T \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Com o diagrama do corpo livre do postalete, determinam-se as tensões a que está sujeito nos eixos x e y.

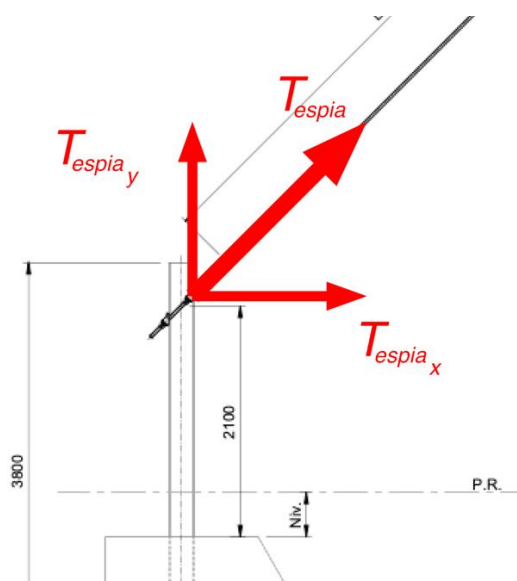


Figura 16 – Diagrama de Forças sobre o postalete (des. E-1607)

CARGAS DEVIDAS A LA ESPIA

CARGAS DEVIDAS A LA ESPIA		
Variável	Valor	Unidade
T_x	16.677	N
T_y	16.677	N
M_z	20.012	$N \cdot m$

VERIFICAÇÕES

MOMENTO NO ENCASTRAMENTO

Momento sem a ação do vento

$$M_{\perp} = |W2_T|$$

$$M_{\parallel} = |W9_T|$$

Momento com a ação do vento:

$$M_{v\perp} = |W3_T| + |W4v|$$

$$M_{v\parallel} = |W5_T| + |W5v| + |W9_T|$$

Tabela de resultados:

Sem ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{\perp}$	0	$N \cdot m$
$M_{\parallel}$	20.012	$N \cdot m$

Com ação do vento		
Variável	Valor	Unidade
$M_{v\perp}$	129	$N \cdot m$
$M_{v\parallel}$	20.141	$N \cdot m$

VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS

Para além da verificação das tensões mecânicas dos postes nas hipóteses de cálculo efetuadas, deverão ser verificados os seguintes limites de deformação dos postes:

a) A flecha no topo do postalete na ausência de vento deverá ser inferior a 1,2% da altura do postalete acima do maciço.

$$f_{TPadm} = H_7 \cdot 0,012$$

Flecha no topo do poste (f_{TP})

A flecha no topo do poste é determinada com base no coeficiente K (definido no Anexo A) e no fator de flecha total determinado no ponto 7.1.3:

$$f_{TP} < f_{TPadm}$$

Flecha no topo do postalete (f_{TP})			
Variável	Valor	Limite	Unidade
f_{TP}	0,0	0,014	m

A tabela a seguir mostra um resumo das verificações:

Tabela resumo das verificações					
	Variável	Valor	Limite	Unidade	
Flecha Topo de Poste	f_{TP}	0,006	0,014	m	Ok

As verificações de que o perfil **SHS 120x8** proposto no desenho E-1607 cumpre com as solicitações requeridas.

A tabela a seguir mostra um resumo dos postes selecionados para cada caso:

Caso	Descrição	Poste selecionado
1	Reta (vão 63 m)	HEA 180
2	Curva raio mínimo (1750 m)	HEA 200
3	Viaduto (vão 63 m)	HEB 220
4	Consola dupla SLA /ZC	HEB 240
5	Consola tripla para agulhas/desvios	HEA 300
6	Consola de túnel	Inputs OOC
7	Poste de ancoragem	HEB 240
8	Postaleta espiado	SHS 120x8 *

*Para o caso do postaleta espiado, o perfil é determinado pelo desenho E-1607. Neste caso, verifica-se a flecha no topo do poste.

1. Consola simples em alinhamento reto com vão máximo (63 m)
2. Consola simples em curva com raio mínimo no Lote A
3. Consola simples em tramo em viaduto
4. Consola dupla para seccionamento SLA / ZC
5. Consola tripla para Agulhas/desvios
6. Consola de túnel (inputs para estrutura/civil para ancoragens químicas)
7. Poste de ancoragem
8. Postaleta

ANEXO II. MACIÇOS DE FUNDAÇÃO PARA POSTES DE CATENÁRIA

ANEXO II. MACIÇOS DE FUNDAÇÃO PARA POSTES DE CATENÁRIA

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA INSTALAÇÃO

PERFIL TRANSVERSAL DA PLATAFORMA DE VIA

Consideram-se, fundamentalmente, dois tipos de perfil transversal:

1. Aterro (maciços de talude);
2. Escavação (maciços enterrados).

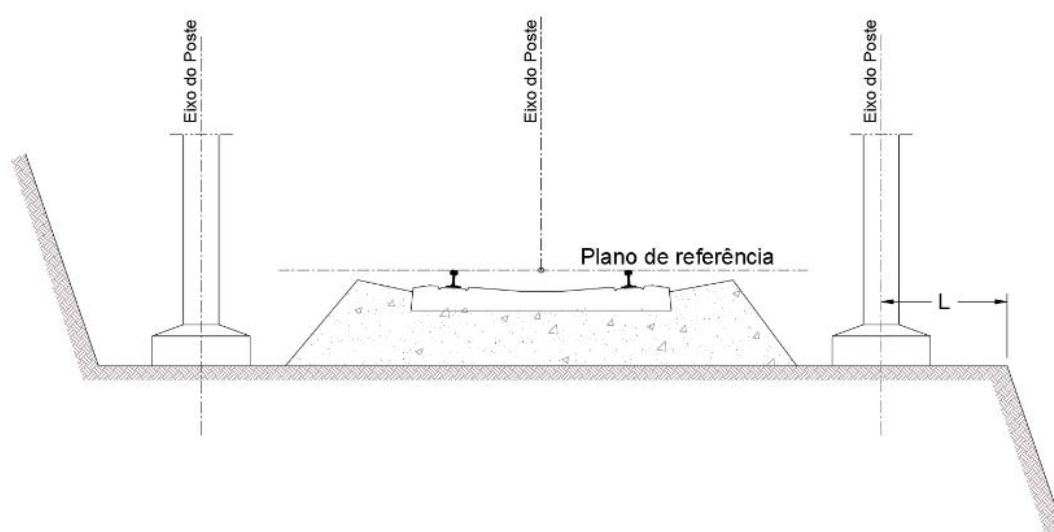


Figura 1 – Perfil transversal da plataforma da via

Um maciço será considerado de talude quando o perfil transversal de via seja de aterro e a distância (l) à crista do talude seja inferior a:

- 1,60 m se o momento de derrube for para o lado de via;
- 1,80 m se o momento de derrube for para o lado do campo.

Um maciço será considerado de escavação quando o perfil transversal de via o seja ou, quando em aterro, a distância l à crista do talude seja superior aos valores acima indicados.

Em plataformas de estações, os maciços quer de escavação, quer de talude terão configurações diferentes dos de plena via apenas quando o nivelamento seja positivo (topo do maciço acima do PMR).

CONDICIONALISMOS PARA A ESCOLHA

Os terrenos são classificados segundo a sua capacidade de resistência às solicitações mecânicas e definidos pela pressão que podem suportar (tensão admissível, a qual não deverá ser superior a 1/3 da tensão de rutura).

A avaliação dos tipos de terrenos existentes na RFN levou à tipificação dos maciços para quatro tipos de terreno:

1. Rochoso, é um terreno que pode resistir a uma tensão admissível de:
 - 2,4 MPa – rocha dura;
 - 0,5 MPa – rocha alterada ou fragmentada (rochas laminadas com pequenas fissuras estratificadas).
2. Normal, é um terreno que pode resistir a uma tensão admissível de 0,25 MPa;
3. Inconsistente, é um terreno que pode resistir a uma tensão admissível de 0,13 MPa;
4. Frágil, é um terreno que pode resistir a uma tensão admissível de 0,05 MPa.

Quando o nível freático atinja a zona do maciço, consideram-se maciços para terreno inconsistente.

Em terrenos rochosos (não alterados), os postes poderão ser fixados diretamente no terreno rochoso, abrindo-se neste apenas uma cavidade correspondente à carote (eventualmente com menor profundidade) ou montando pernos de extremidade roscada para fixação de postes.

DEFINIÇÃO DAS FUNDAÇÕES PROPOSTAS

Os maciços de fundação a utilizar nos postes de catenária são do tipo cilíndrico em betão armado. Para os maciços de fundação dos espiamentos são utilizados maciços em betão armado com tipologia cilíndrica para as aplicações com menores esforços de tração e paralelepípedica para as aplicações com maiores esforços.

O dimensionamento dos maciços depende da caracterização geológica dos solos e da plataforma a executar.

Os diferentes tipos de fundações utilizadas no RECAPE, tanto para postes de catenária quanto para amarrações, são normalizados e foram definidos de acordo com a norma GR.IT.CAT.004. A modo de resumo, eles são apresentados no quadro seguinte:

Quadro 1 – Tipos de Maciços de Fundação

Designação	Tipo	Tipo de Utilização	Pressão máxima admissível (MPa)
CAnt	Cilíndrico armado para poste de catenária	Aterro – terreno “normal”	0,2
CAne	Cilíndrico armado para poste de catenária	Escavação – terreno “normal”	0,2
CAre	Cilíndrico armado para poste de catenária	Terreno “rochoso”	0,4
AsCAN	Cilíndrico armado para espiamento sobre-elevado	Terreno “normal”	0,2

Designação	Tipo	Tipo de Utilização	Pressão máxima admissível (MPa)
AsCAr	Cilíndrico armado para espimento sobreelevado	Terreno “rochoso”	0,4
AsPAn	Paralelepípedo armado para espimento sobreelevado	Terreno “normal”	0,2

QUADROS DOS MACIÇOS NORMALIZADOS

Quadro 2 – Maciços Normalizados CAnt – Aterro em terreno “normal” (0,2 MPa)

	Tipo de Maciço	Momento na base (daNm)	Dimensões - D (m)	Dimensões - H (m)	Volume (m³)	Peso Armaduras (kg)	Desenho
d máximo = 0,50m	0 CAnt	2500	0,80	2,00	1,005	58,36	EC-314 Ref.3
	1 CAnt	4000	0,80	2,40	1,206	68,32	EC-314 Ref.6
	2 CAnt	6000	0,80	2,80	1,407	78,22	EC-314 Ref.9
	3 CAnt	7500	1,00	2,80	2,199	127,08	EC-315 Ref.5
	4 CAnt	9500	1,00	3,10	2,435	139,55	EC-315 Ref.7
	5 CAnt	12000	1,00	3,40	2,670	207,86	EC-316 Ref.8
	6 CAnt	14000	1,00	3,60	2,827	219,57	EC-316 Ref.10
	7 CAnt	17000	1,00	3,90	3,063	237,12	EC-316 Ref.13
	8 CAnt	20000	1,00	4,20	3,299	254,67	EC-316 Ref.16

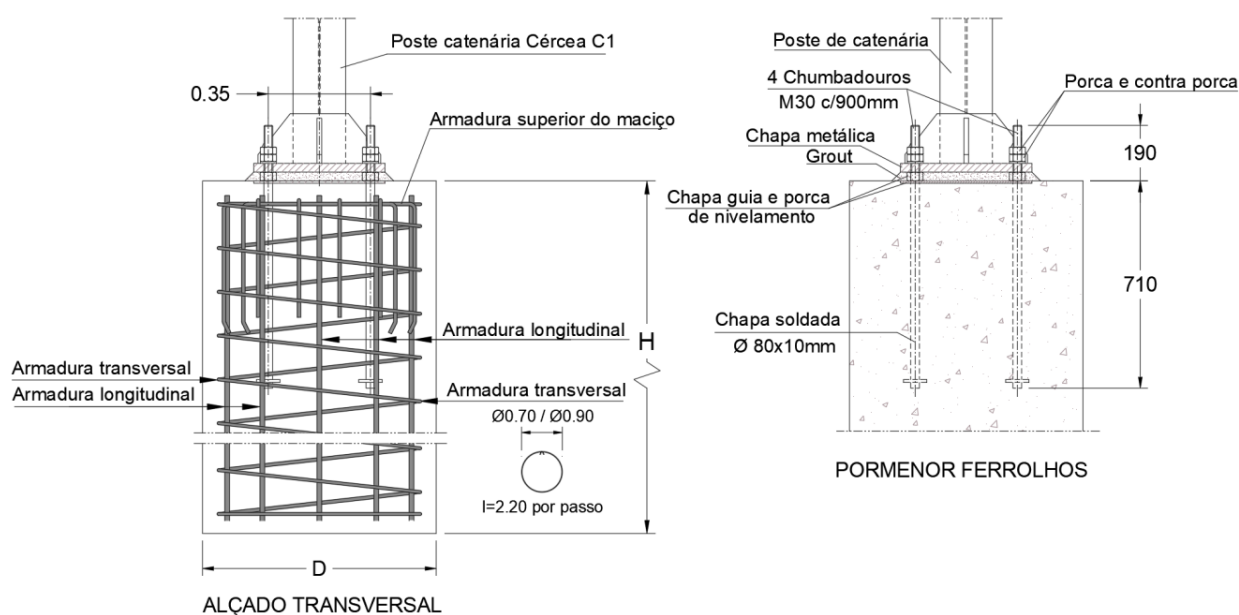


Figura 2 – Detalhe de Maciços em Talude. Armados com chumbadouros (CAnt)

Quadro 3 – Maciços Normalizados CAne – Escavação em terreno “normal” (0,2 MPa)

	Tipo de Maciço	Momento na base (daNm)	Dimensões – D (m)	Dimensões – H (m)	Volume (m³)	Peso Armaduras (kg)	Desenho
d máximo = 0,50m	0 CAne	2.500	0,80	1,80	0,905	53,41	EC-314 Ref.2
	1 CAne	4.000	0,80	2,10	1,056	60,87	EC-314 Ref.4
	2 CAne	6.000	0,80	2,30	1,156	65,81	EC-314 Ref.5
	3 CAne	7.500	1,00	2,30	1,806	106,34	EC-315 Ref.1
	4 CAne	9.500	1,00	2,50	1,963	114,61	EC-315 Ref.3
	5 CAne	12.000	1,00	2,70	2,121	166,93	EC-316 Ref.2
	6 CAne	14.000	1,00	2,90	2,278	178,65	EC-316 Ref.4
	7 CAne	17.000	1,00	3,10	2,435	190,31	EC-316 Ref.5
	8 CAne	20.000	1,00	3,30	2,592	202,03	EC-316 Ref.7

	Tipo de Maciço	Momento na base (daNm)	Dimensões – D (m)	Dimensões – H (m)	Volume (m³)	Peso Armaduras (kg)	Desenho
d máximo = 1,50m	0 CAnea	2.500	0,80	2,50	1,257	70,76	EC-314 Ref.7
	1 CAnea	4.000	0,80	2,70	1,357	75,77	EC-314 Ref.8
	2 CAnea	6.000	0,80	2,90	1,458	80,72	EC-314 Ref.10
	3 CAnea	7.500	1,00	2,90	2,278	131,28	EC-315 Ref.6
	4 CAnea	9.500	1,00	3,10	2,435	139,55	EC-315 Ref.7
	5 CAnea	12.000	1,00	3,30	2,592	202,03	EC-316 Ref.7
	6 CAnea	14.000	1,00	3,40	2,670	207,86	EC-316 Ref.8
	7 CAnea	17.000	1,00	3,60	2,827	219,57	EC-316 Ref.10
	8 CAnea	20.000	1,00	3,80	2,985	231,29	EC-316 Ref.12
d máximo = 2,50m	0 CAneb	2.500	0,80	3,30	1,659	90,68	EC-314 Ref.11
	1 CAneb	4.000	0,80	3,50	1,759	95,63	EC-314 Ref.12
	2 CAneb	6.000	0,80	3,70	1,860	100,58	EC-314 Ref.13
	3 CAneb	7.500	1,00	3,70	2,906	164,49	EC-315 Ref.9
	4 CAneb	9.500	1,00	3,90	3,063	172,82	EC-315 Ref.11
	5 CAneb	12.000	1,00	4,10	3,220	248,84	EC-316 Ref.15
	6 CAneb	14.000	1,00	4,20	3,299	254,67	EC-316 Ref.16
	7 CAneb	17.000	1,00	4,30	3,377	260,50	EC-316 Ref.17
	8 CAneb	20.000	1,00	4,50	3,534	272,21	EC-316 Ref.19

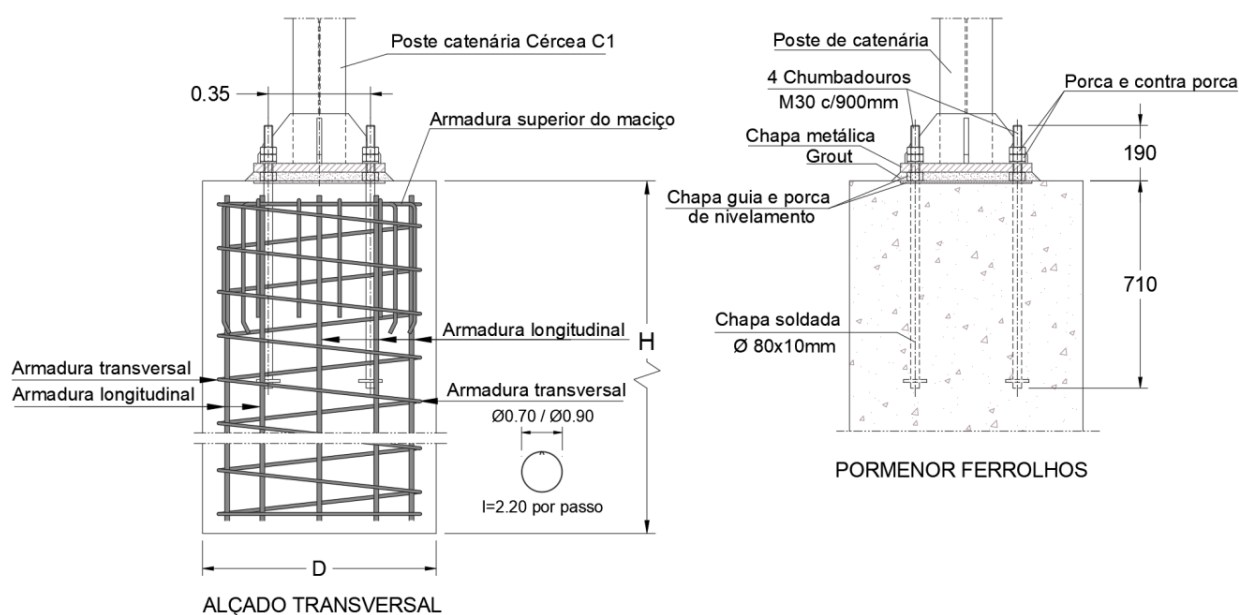


Figura 3 – Detalhe de Maciços em escavação. Armados com chumbadouros (CAne)

Quadro 4 – Maciços Normalizados CAre – Escavação em terreno “rochoso” (0,4 MPa)

	Tipo de Maciço	Momento na base (daNm)	Dimensões – D (m)	Dimensões – H (m)	Volume (m³)	Peso Armaduras (kg)	Desenho
d máximo = 0,50m	0 CAre	2.500	0,80	1,70	0,855	50,90	EC-314 Ref.1
	1 CAre	4.000	0,80	2,00	1,005	58,36	EC-314 Ref.3
	2 CAre	6.000	0,80	2,30	1,156	65,81	EC-314 Ref.5
	3 CAre	7.500	1,00	2,30	1,806	106,34	EC-315 Ref.1
	4 CAre	9.500	1,00	2,40	1,885	110,47	EC-315 Ref.2
	5 CAre	12.000	1,00	2,60	2,042	161,11	EC-316 Ref.1
	6 CAre	14.000	1,00	2,80	2,199	172,76	EC-316 Ref.3
	7 CAre	17.000	1,00	2,90	2,278	178,65	EC-316 Ref.4
	8 CAre	20.000	1,00	3,10	2,435	190,31	EC-316 Ref.5
σ máx	0 CArea	2.500	0,80	2,40	1,206	68,32	EC-314 Ref.6

	Tipo de Maciço	Momento na base (daNm)	Dimensões – D (m)	Dimensões – H (m)	Volume (m³)	Peso Armaduras (kg)	Desenho
	1 CArea	4.000	0,80	2,70	1,357	75,77	EC-314 Ref.8
	2 CArea	6.000	0,80	2,90	1,458	80,72	EC-314 Ref.10
	3 CArea	7.500	1,00	2,90	2,278	131,28	EC-315 Ref.6
	4 CArea	9.500	1,00	3,10	2,435	139,55	EC-315 Ref.7
	5 CArea	12.000	1,00	3,20	2,513	196,20	EC-316 Ref.6
	6 CArea	14.000	1,00	3,40	2,670	207,86	EC-316 Ref.8
	7 CArea	17.000	1,00	3,50	2,749	213,75	EC-316 Ref.9
	8 CArea	20.000	1,00	3,70	2,906	225,40	EC-316 Ref.11
d máximo = 2,50m	0 CAreb	2.500	0,80	3,30	1,659	90,68	EC-314 Ref.11
	1 CAreb	4.000	0,80	3,50	1,759	95,63	EC-314 Ref.12
	2 CAreb	6.000	0,80	3,70	1,860	100,58	EC-314 Ref.13
	3 CAreb	7.500	1,00	3,70	2,906	164,49	EC-315 Ref.9
	4 CAreb	9.500	1,00	3,90	3,063	172,82	EC-315 Ref.11
	5 CAreb	12.000	1,00	4,00	3,142	242,95	EC-316 Ref.14
	6 CAreb	14.000	1,00	4,10	3,220	248,84	EC-316 Ref.15
	7 CAreb	17.000	1,00	4,30	3,377	260,50	EC-316 Ref.17
	8 CAreb	20.000	1,00	4,40	3,456	266,39	EC-316 Ref.18

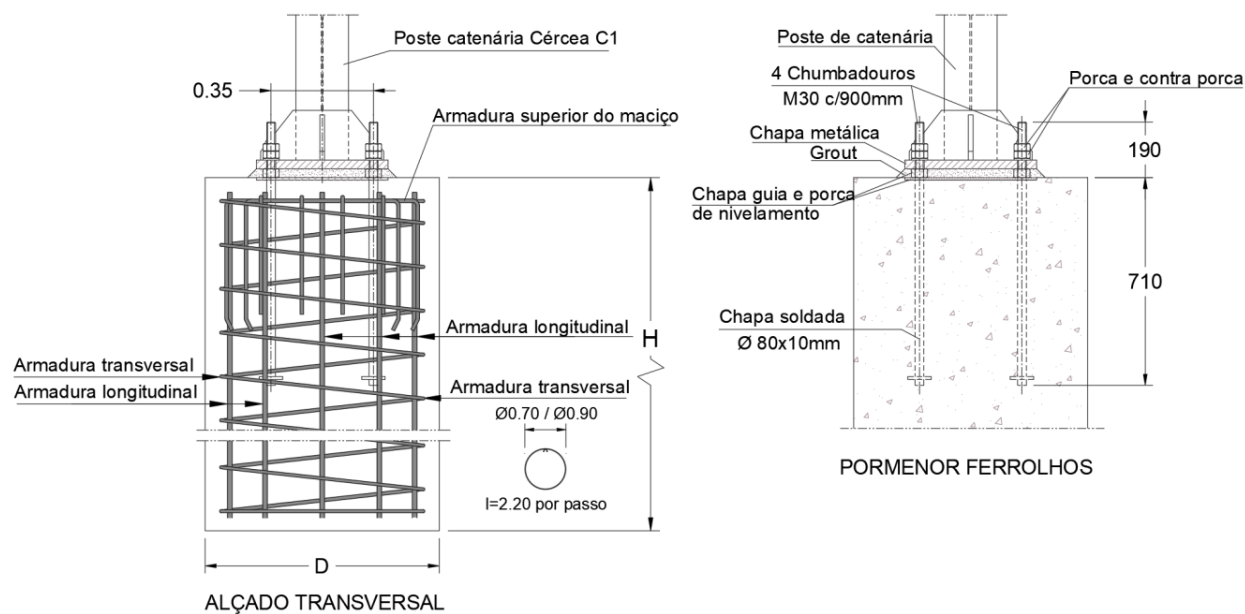


Figura 4 – Detalhe de Maciços em terreno rochoso. Armados com chumbadouros (CAn)

Quadro 5 – Maciços Normalizados AsCAn (cilíndrico) – Espiamento em terreno “normal” (0,2 MPa)

Tipo de Maciço	Momento na base (daNm)	Dimensões – D (m)	Dimensões – H (m)	Volume (m ³)	Peso Armaduras (kg)	Postalete	Desenho
0 AsCAn	1.300	1,00	2,90	2,278	131,28	HE240B	EC-315 Ref.6
1 AsCAn	2.500	1,00	3,80	2,985	168,69	HE240B	EC-315 Ref.10
2 AsCAn	3.400	1,00	4,40	3,456	266,39	HE320B	EC-316 Ref.18

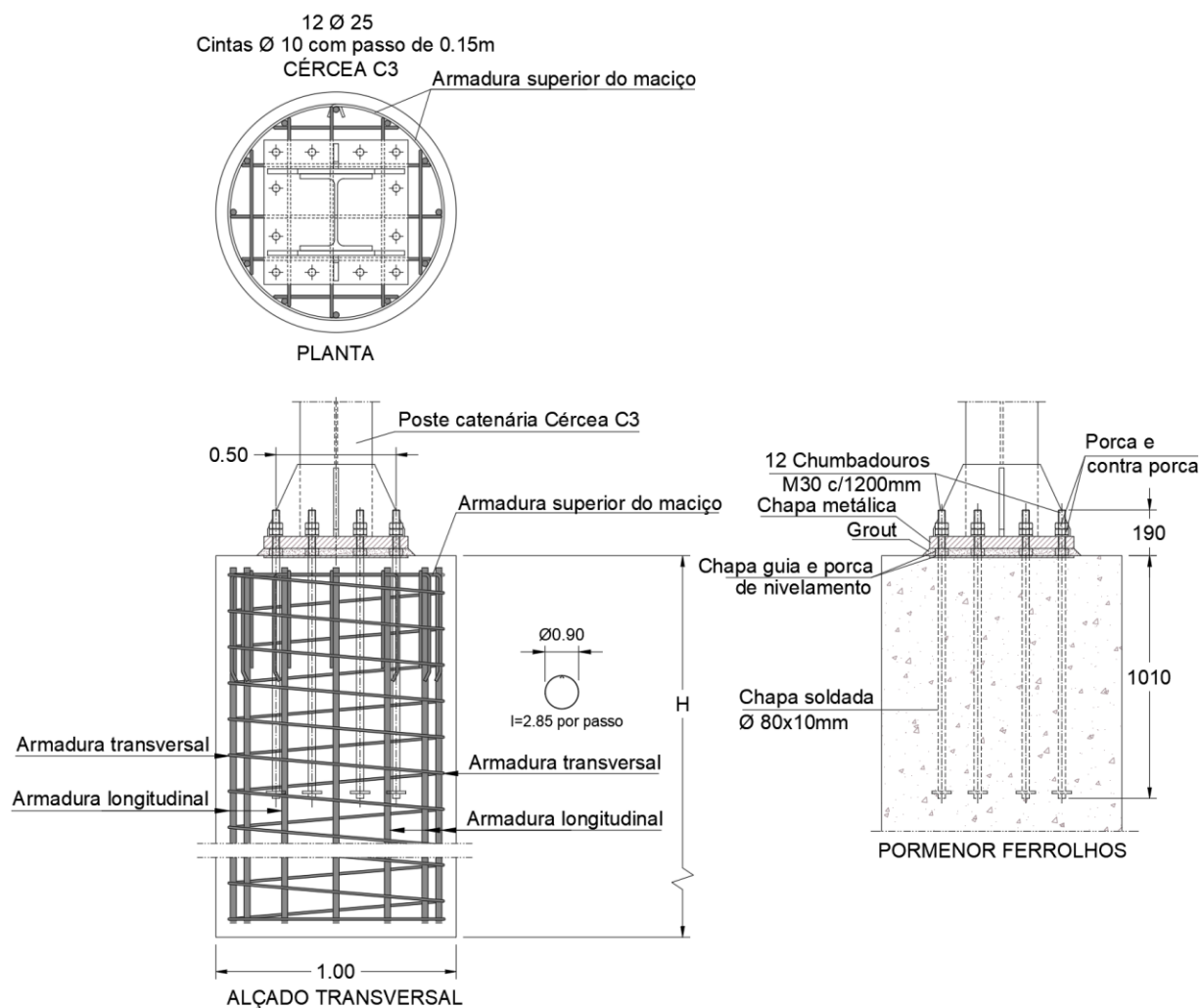


Figura 6 – Detalhe de maciços de amarração. Armados com chumbadouros – Terreno rochoso (AsCAR)

Quadro 7 – Maciços Normalizados AsPAN (paralelepípedo) – Espiamento em terreno “normal” (0,2 MPa)

Tipo de Maciço	Momento na base (daNm)	Dimensões (C x B x H, m)	Volume (m³)	Peso Armaduras (kg)	Postaleta	Desenho
1 AsPAN	2.500	1,30 x 2,90 x 1,40	5,278	75,17	HE240B	EC-317 Ref.1
2 AsPAN	3.400	1,60 x 3,10 x 1,40	6,944	75,17	HE240B	EC-317 Ref.2
3 AsPAN	4.900	1,80 x 3,50 x 1,40	8,820	98,31	HE320B	EC-317 Ref.3
4 AsPAN	5.800	2,00 x 3,70 x 1,40	10,360	98,31	HE320B	EC-317 Ref.4

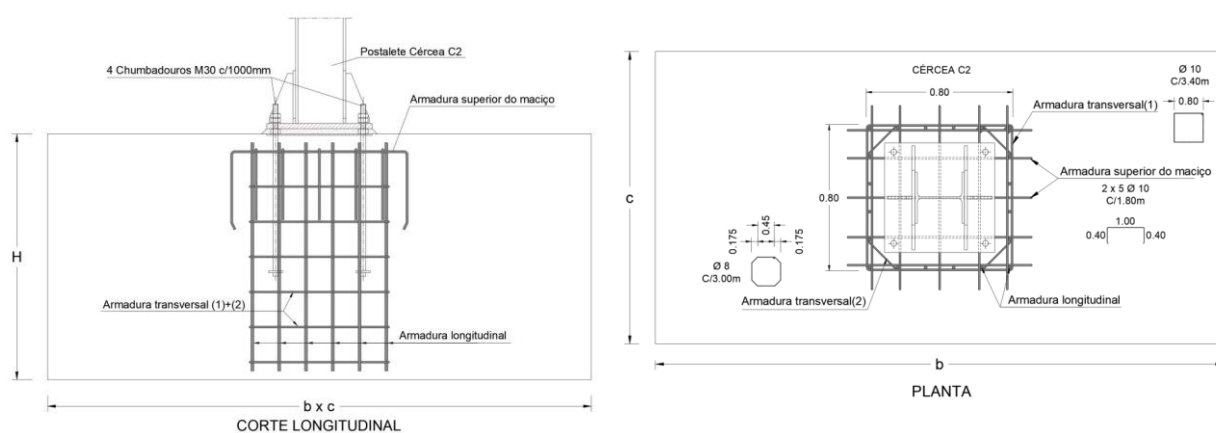


Figura 7 – Detalhe de maciços de amarração. Armados com chumbadouros (AsPan)

Adicionalmente, serão implementados maciços de assentamento para os equipamentos tensores, de modo que, para as catenárias LP12 e LP10 que possuem equipamentos tensores com compensação conjunta, o maciço de assentamento seja tal que:

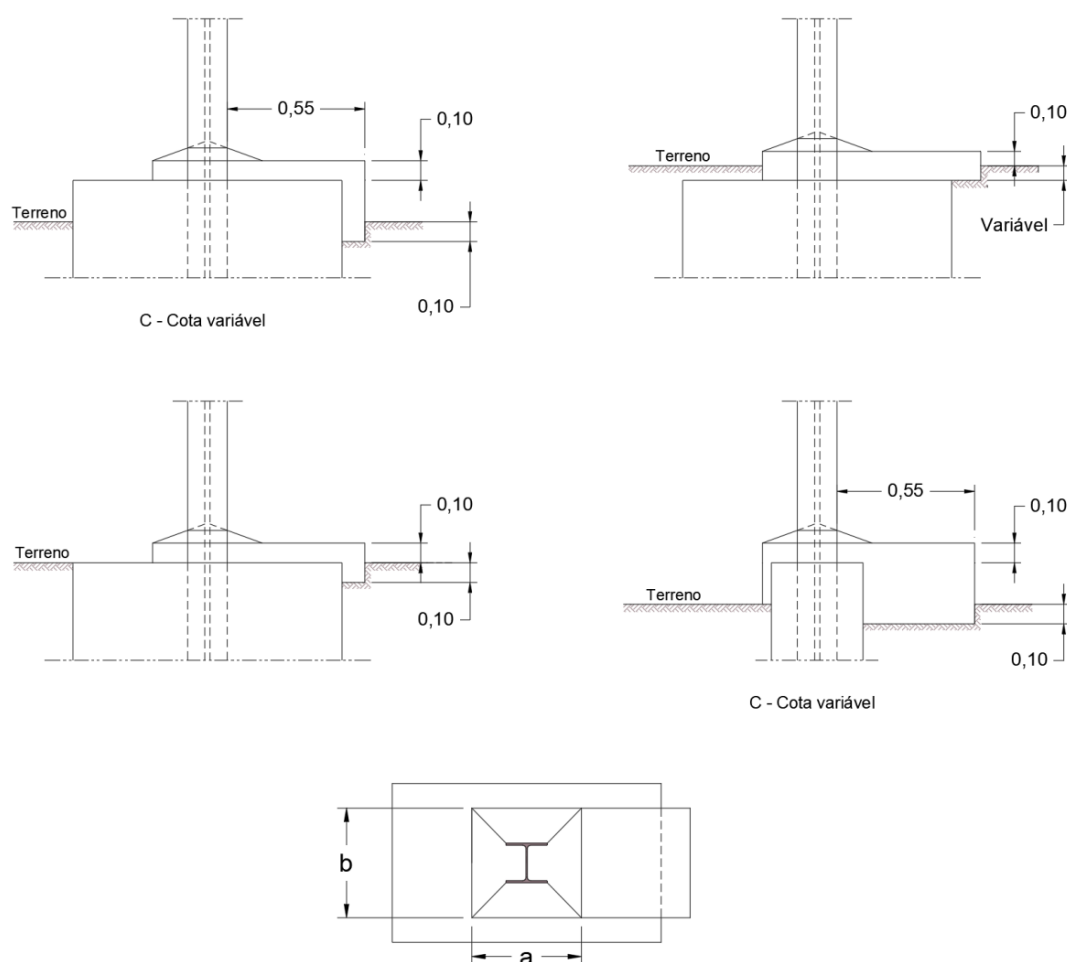


Figura 8 – Detalhe de maciços para assentamento de contrapesos. Equipamentos tensores com compensação conjunta (FC+CS). LP12 e LP10

Quadro 8 – Dimensões para assentamento de contrapesos LP12 e LP10

Vigas HE...A/B	Dimensões	
	a (m)	b (m)
180 a 200	0,40	0,40
220 a 260	0,46	0,46
280 a 300	0,50	0,50
320 a 360	0,50	0,56
380 a 400	0,50	0,60
450	0,50	0,65

E, para a catenária LP300, que utiliza equipamentos tensores com compensação independente, os maciços de assentamento são tais que:

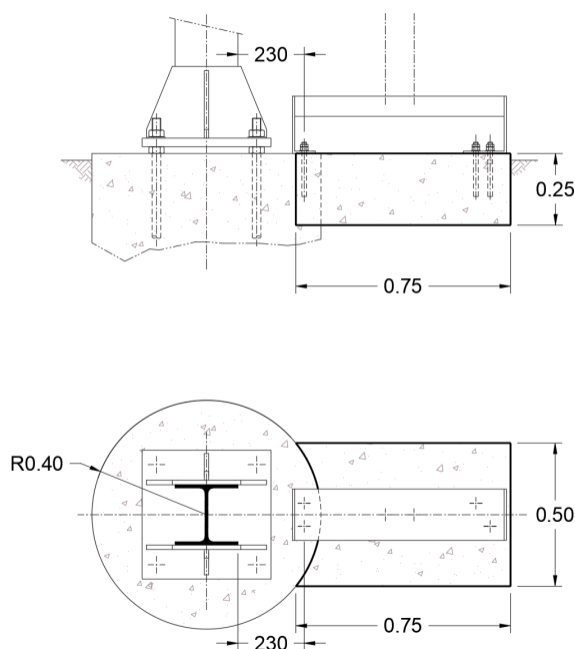


Figura 9 – Detalhe de maciços para assentamento de contrapesos LP300. Perfil HE220A.

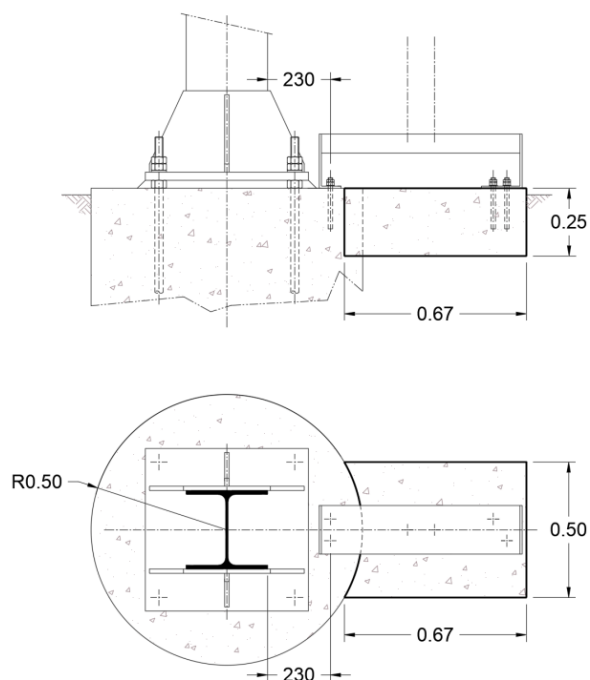


Figura 10 – Detalhe de maciços para assentamento de contrapesos LP300. Perfil HE320B.