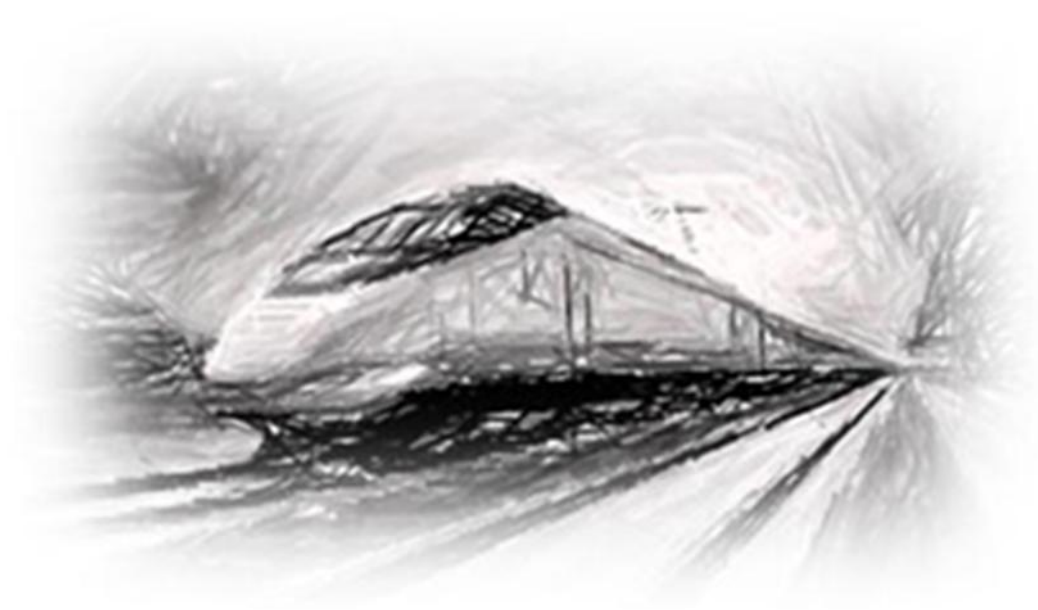


**LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE
PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA**
TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
SUBTROÇO 2 - KM 15+500 AO KM 33+200



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 A2 – KM 15+500 AO KM 33+200**

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

ÍNDICE DE PEÇAS ESCRITAS		
CÓDIGO DOCUMENTO	DATA	DESIGNAÇÃO
PF102A2.PR.07.01.00.00.IND.00	14-08-2025	ÍNDICE

ÍNDICE DE PEÇAS DESENHADAS			
CÓDIGO DOCUMENTO	DATA	DESIGNAÇÃO	Nº ORDEM
PF102A0.PR.07.01.00.00.216.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 15+000 A PK 16+000	00.216.
PF102A0.PR.07.01.00.00.217.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 16+000 A PK 17+000	00.217.
PF102A0.PR.07.01.00.00.218.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 17+000 A PK 18+000	00.218.
PF102A0.PR.07.01.00.00.219.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 18+000 A PK 19+000	00.219.
PF102A0.PR.07.01.00.00.220.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 19+000 A PK 20+000	00.220.
PF102A0.PR.07.01.00.00.221.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 20+000 A PK 21+000	00.221.
PF102A0.PR.07.01.00.00.222.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 21+000 A PK 22+000	00.222.
PF102A0.PR.07.01.00.00.223.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 22+000 A PK 23+000	00.223.
PF102A0.PR.07.01.00.00.224.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 23+000 A PK 24+000	00.224.
PF102A0.PR.07.01.00.00.225.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 24+000 A PK 25+000	00.225.
PF102A0.PR.07.01.00.00.226.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 25+000 A PK 26+000	00.226.
PF102A0.PR.07.01.00.00.227.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 26+000 A PK 27+000	00.227.
PF102A0.PR.07.01.00.00.228.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 27+000 A PK 28+000	00.228.
PF102A0.PR.07.01.00.00.229.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 28+000 A PK 29+000	00.229.
PF102A0.PR.07.01.00.00.230.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 29+000 A PK 30+000	00.230.
PF102A0.PR.07.01.00.00.231.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 30+000 A PK 31+000	00.231.
PF102A0.PR.07.01.00.00.232.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 31+000 A PK 32+000	00.232.
PF102A2.PR.07.01.00.00.233.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 32+000 A PK 33+000	00.233.
PF102A2.PR.07.01.00.00.234.00	14-08-2025	PLANTA DE PIQUETAGEM PK 33+000 A PK 34+000	00.234.

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 PF102A4.AP.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 PF102A4.AP.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****SUBTROÇO 2 - KM 15+500 AO KM 33+200****PROJETO DE EXECUÇÃO****V07 – CATENÁRIA E ENERGIA DE TRAÇÃO****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	6
1.5.2	Medidas anti-eletrocussão	7
1.5.3	Abate de árvores e desmatação	10
1.6	Interfaces	10
2	ORGANIZAÇÃO DO PROJETO	13
3	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ELETRIFICAÇÃO	14
3.1	Critérios de Projeto	14
3.2	Caracterização da Catenária	14
3.3	Caracterização do sistema de energia	14
4	TROÇOS 1,2 (INÍCIO DA CONCESSÃO / PK 67+858)	16
4.1	Definição das soluções propostas.....	16
4.1.1	Geral	16
4.1.2	Características Gerais da Instalação	16
4.1.3	Consola	17
4.1.4	Altura do fio de contacto	19
4.1.5	Regras de Piquetagem	19

4.1.6	Lanços e compensação da catenária	19
4.1.7	Antideslizamento	20
4.1.8	Pêndulos	21
4.1.9	Zonas Comuns e Seccionamentos de Lâmina de Ar	21
4.1.10	Aparelhos de Mudança de Via	26
4.1.11	Isolador de Secção	26
4.1.12	Zonas Neutras.....	27
4.1.13	Feeder negativo	28
4.1.14	Cabo de Terra Aéreo	29
4.1.15	Postes	29
4.1.16	Espiamento	30
4.1.17	Fundações	31
4.1.18	Túneis	34
4.1.19	Passagens Superiores	35
4.1.20	Pórticos	35
4.1.21	Equipamento (ou Aparelhagem) Elétrico de Catenária	36
4.1.22	Esquema Elétrico	39
4.2	Características particulares.....	42
4.2.1	Traçado	42
4.2.2	Perfil Tipo	42
4.2.3	Implantação e Nivelamento	44
4.2.4	Caracterização geotécnica (definição de fundações).....	44
4.3	Sistemas Complementares de Segurança – Monitorização de Pantógrafos	44
5	INTEROPERABILIDADE	45
6	TABELA TÉCNICA DE VELOCIDADES	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão do traçado para os trabalhos de catenária	3
Figura 2 – Sinalizadores de Catenária tipo FBF2	6
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).....	9
Figura 6 – Afastamento das partes em tensão	10
Figura 7 – Disposição simplificada das Subestações de Tração, Autotransformadores e Zonas Neutras	15
Figura 8 – Consola LP300.....	18
Figura 9 – Verificação do gabarito do pantógrafo 1950 mm como o braço de chamada LP300 (des. ED-381, mont. XVIII)	18
Figura 10 – Aparelhos Tensores LP300.....	20
Figura 11 – Antideslizamento LP300	20
Figura 12 – Pendulo condutor	21
Figura 13 – Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em planta	21
Figura 14 – Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em perfil	22
Figura 15 – Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em planta	22
Figura 16 – Zona comum – piquetagem em alinhamento reto e curvas com raio até 16 000 m.....	23
Figura 17 – Zona comum – piquetagem em curvas com raio entre 16 000 m e 2 500 m	24
Figura 18 – Seccionamento de lâmina de ar – piquetagem em alinhamento reto e curvas com raio até 16000m.....	25
Figura 19 – Seccionamento de lâmina de ar – piquetagem em curvas com raio entre 16 000 m e 4 000 m.....	25
Figura 20 – Poste de eixo do seccionamento de lâmina de ar – montagem à tração.....	26
Figura 21 – Zona neutra seccionada 142 m – Planta	27
Figura 22 – Zona neutra seccionada 142 m – Perfil	27
Figura 23 – Zona neutra seccionada 142 m – Perfil (detalhe dos vãos centrais).....	28
Figura 24 – Montagem do feeder – Pormenor da montagem para o lado do campo	29
Figura 25 – Base em cércea	30
Figura 26 – Espiamento sobrelevado – Exemplo de fundação cilíndrica	31
Figura 27 – Detalhe fundação cilíndrica.....	32
Figura 28 – Tubo PEAD 110 mm para passagem de cabos de energia entre o poste e a caixa de inspecção.....	33
Figura 29 – Maciço de fixação de poste em obra de arte	33
Figura 30 – Secção de túnel de 90 m ² com montagem de catenária LP300	34
Figura 31 – Montagem em pórtico - Gabari para as vias adjacentes	35
Figura 32 – Desenho de Princípio do Pórtico Autoportante	36
Figura 33 – Seção transversal 9 catenária LP300 em P.U.E.C	36
Figura 34 – Montagem de transformador de tensão em poste (EC-237)	39
Figura 35 – Captura do esquema elétrico troço 1,2.....	40
Figura 36 – Esquema Elétrico Tipo em um PUEC.....	42
Figura 37 – Perfil tipo (normal) da catenária em Plena Via	43
Figura 38 – Perfil tipo da catenária em Obra de Arte.....	44

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Tabela de Pk dos trechos 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 LP10.	16
Quadro 9 – Tabela 12 da EN 50119:2020	19
Quadro 10 – Zona comum – piquetagem.....	24
Quadro 11 – Zona comum – piquetagem.....	25
Quadro 12 – Localização das Zonas Neutras	27
Quadro 13 – Tipos de Maciços de Fundação	32
Quadro 14 – Transformadores de alimentação.....	37
Quadro 15 – Instalações de Energia de Tração (SST, PAT e PAT-ZN).....	41
Quadro 16 – TTV de Catenária	46

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 TRAÇÃO

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.

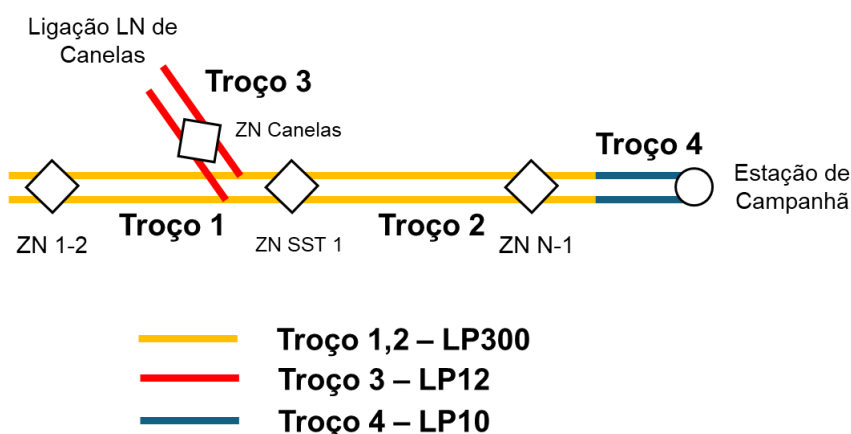


Figura 1 - Divisão do traçado para os trabalhos de catenária

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
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 Remólha #17	44+518	44+980	ST3	T1,2
Viaduto sobre A29/IC1 Ponte rib ^a Beire #18	46+499	47+799	ST4	T1,2
Viaduto sobre A29/IC1 #19	48+680	48+880	ST4	T1,2
Ponte sobre rib ^a Rio Maior #20	49+373	49+812	ST4	T1,2
Ponte rib ^a Sra Lamas #21	50+800	51+400	ST4	T1,2
Ponte sobre rib ^a 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

Instalação	PK início	PK fim	Troços de traçado	Troços de catenária
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
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.

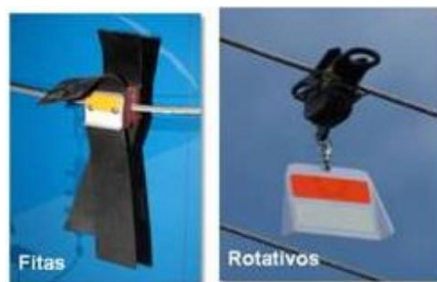


Figura 2 – Sinalizadores de Catenária tipo FBF2

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
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 (Figura 3);

- A IP, SA tem já adotado na rede ferroviária nacional (RFN) a aplicação de proteções anti-pouso e anti-nidificação das aves (Figura 44 e Figura 55). 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
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

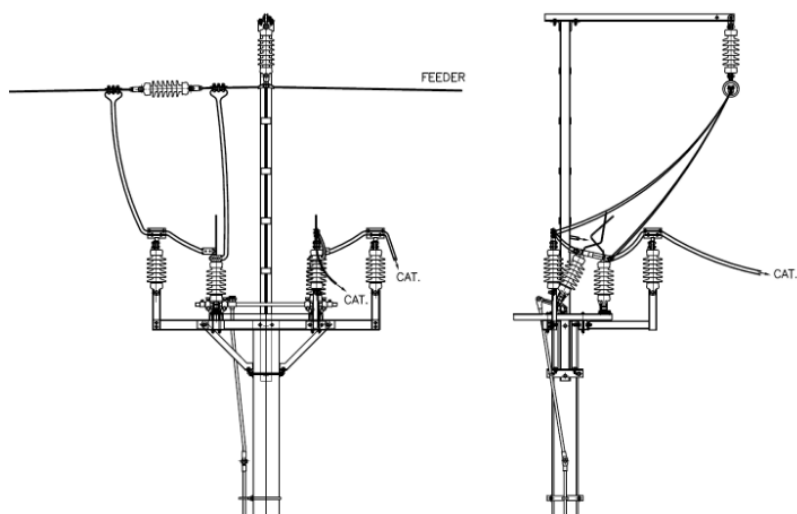


Figura 3 – Montagem de seccionador duplo em poste com Feeder (desenho IP EC-126)

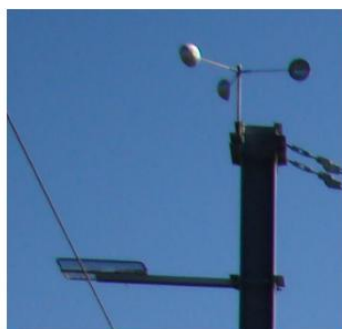


Figura 4 – Montagem de dispositivo dissuasor de nidificação e ninho artificial no Setil – (desenhos IP EC-223 e EC-226)

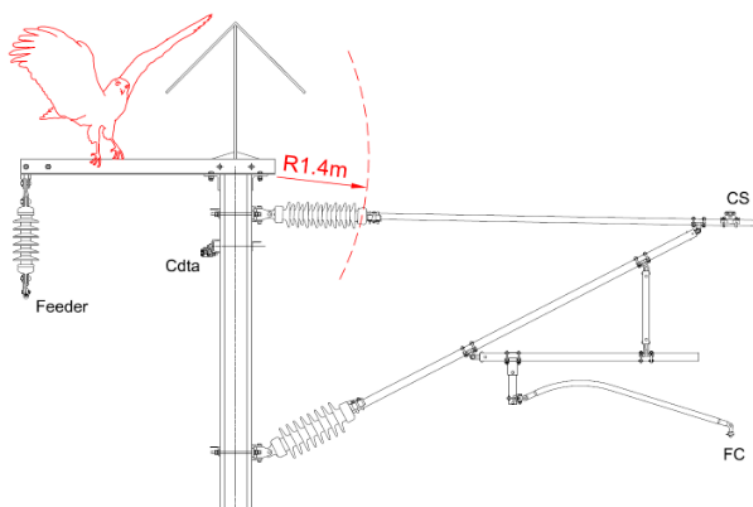


Figura 5 – Montagem de dispositivo dissuasor de nidificação em “V” invertido (desenho AV-21)

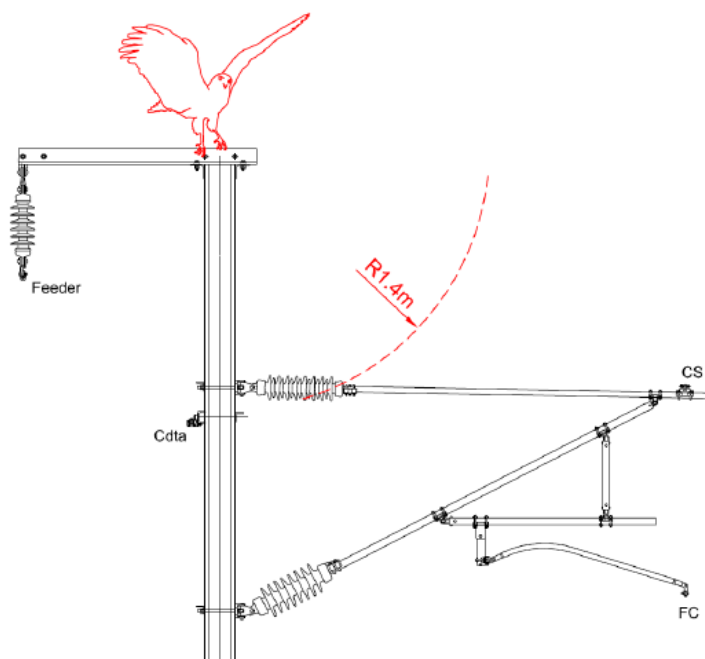


Figura 6 – Afastamento das partes em tensão

1.5.3 Abate de árvores e desmatação

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 espas. 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 direcionados 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>Plantas de Piquetagem</i>		
PF102A2.PR.07.01.00.00.216.00		Planta de Piquetagem PK 15+000 a 16+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.217.00		Planta de Piquetagem PK 16+000 a 17+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.218.00		Planta de Piquetagem PK 17+000 a 18+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.219.00		Planta de Piquetagem PK 18+000 a 19+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.220.00		Planta de Piquetagem PK 19+000 a 20+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.221.00		Planta de Piquetagem PK 20+000 a 21+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.222.00		Planta de Piquetagem PK 21+000 a 22+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.223.00		Planta de Piquetagem PK 22+000 a 23+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.224.00		Planta de Piquetagem PK 23+000 a 24+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.225.00		Planta de Piquetagem PK 24+000 a 25+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.226.00		Planta de Piquetagem PK 25+000 a 26+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.227.00		Planta de Piquetagem PK 26+000 a 27+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.228.00		Planta de Piquetagem PK 27+000 a 28+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.229.00		Planta de Piquetagem PK 28+000 a 29+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.230.00		Planta de Piquetagem PK 29+000 a 30+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.231.00		Planta de Piquetagem PK 30+000 a 31+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.232.00		Planta de Piquetagem PK 31+000 a 32+000
PF102A2.PR.07.01.00.00.233.00		Planta de Piquetagem PK 32+000 a 33+000
PF102A2p.PR.07.01.00.00.234.00		Planta de Piquetagem PK 33+000 a 34+000

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

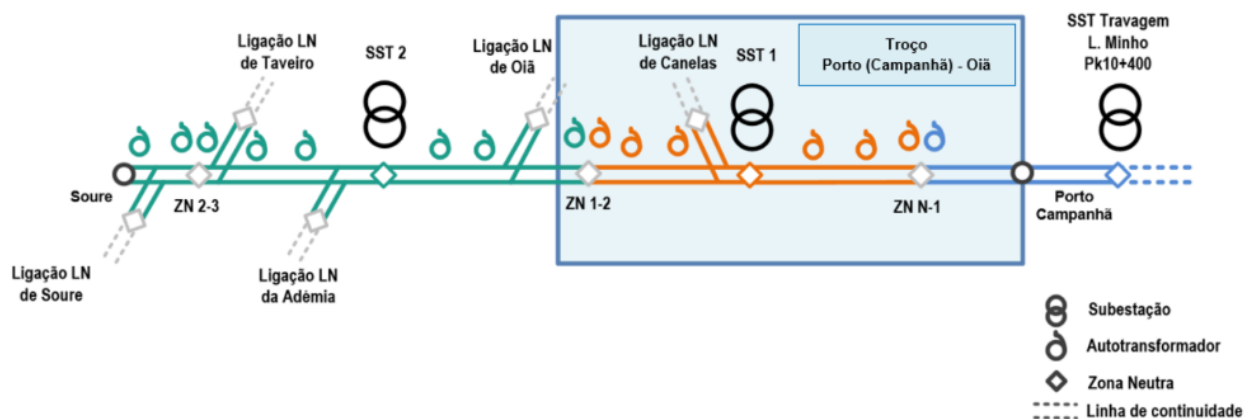


Figura 7 – Disposição simplificada das Subestações de Tração, Autotransformadores e Zonas Neutras

4 TROÇOS 1,2 (INÍCIO DA CONCESSÃO / PK 67+858)

4.1 DEFINIÇÃO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

4.1.1 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 espias 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 espias 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.

4.1.2 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 LP10 que respeitará as regras e definições do acervo normativo da IP, designadamente a GR.IT.CAT.034.

Quadro 8 – Características fundamentais catenarias LP300 e LP10.

Característica	LP300	LP10
Sistema de eletrificação	2 x 25 kV / 50 Hz	25 kV / 50 Hz
Velocidade máxima de serviço	300 km/h	120 km/h

Característica	LP300	LP10
Fio de contacto	Cobre ranhurado CuETP 150 mm ²	Cobre ranhurado 107 mm ²
Tensão Fio de contacto	1 960 daN (2 000 kgf).	980 daN (1 000 kgf)
Cabo de Suporte	Bz II 65 mm ²	Bz 65 mm ²
Tensão Cabo de Suporte	1 372 daN (1 400 kgf)	980 daN (1 000 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 LP10 estarão aptos para a passagem do pantógrafo interoperável com perfil 1600 mm conforme requisito das Especificações Técnicas de Interoperabilidade para o subsistema Energia.

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.

4.1.3 Consola

A consola da LP300 é constituída em tubos de aço galvanizado (des. EC-358). A introdução de novas peças foi minimizada recorrendo-se genericamente a peças já usadas nas catenárias LP10 e LP12.

A consola é equipada com fixação rígida do antibalançante para reduzir as oscilações da catenária. A montagem do cabo de suporte (CS) sobre o tirante é regulável.

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 reguláveis e iguais para o tubo da consola como para o tirante, assegurando-se eixos de rotação coaxiais.

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

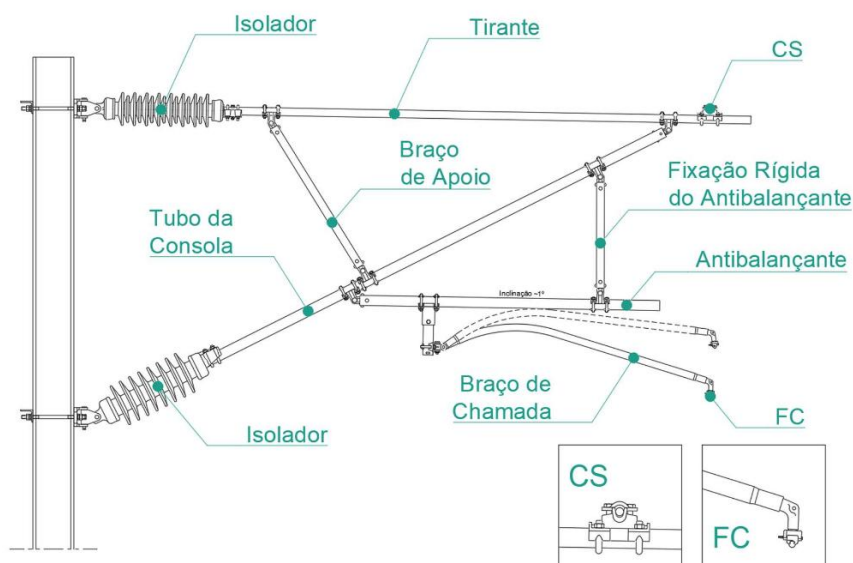


Figura 8 – Consola LP300

O braço de chamada utilizado neste sistema de catenária é do tipo curvo em alumínio com dimensões adequadas à operação com pantógrafos de 1 600 mm e 1 950 mm conforme perfis definidos na EN 50367:2012. O braço, em tubo de alumínio, tem um comprimento de 1 300 mm e um peso de aproximadamente 1,4 kg e foi desenvolvido para a LP300. O braço será dimensionado para suportar uma força de tração de 300 daN, apresentando características construtivas similares ao braço de chamada utilizado nas LP10 e LP12 (desenho EC-114).

Para este tipo de braço é considerada uma cota B fixa com um valor de 0,46 m exceto nas montagens em consola dupla.

Atendendo aos resultados obtidos nos ensaios de verificação de comportamento dinâmico da catenária LP300, a sobrelevação do braço de chamada tem um valor máximo de 8.6cm, que é obtido com a circulação de dois pantógrafos. Para verificação do gabari mecânico deve considerar-se o dobro da sobrelevação máxima. Na figura seguinte apresenta-se a verificação da compatibilidade do braço de chamada com o gabari do pantógrafo, considerando uma sobrelevação de 200 mm (superior ao máximo simulado 2x86mm) e o desalinhamento máximo de 160 mm para o interior da curva com escalas elevadas.

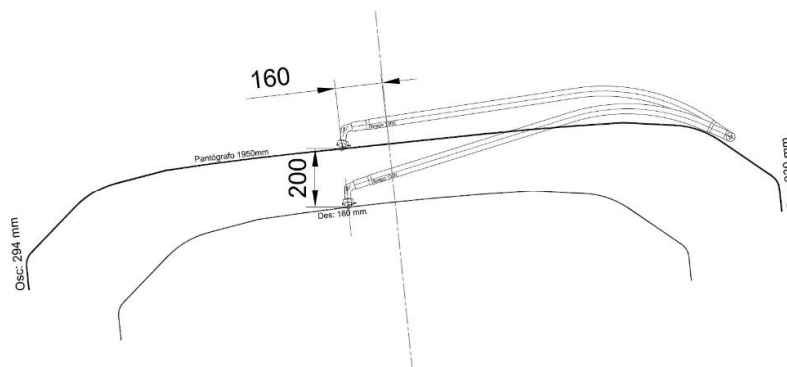


Figura 9 – Verificação do gabarito do pantógrafo 1950 mm como o braço de chamada LP300 (des. ED-381, mont. XVIII)

4.1.4 Altura do fio de contacto

A altura nominal do fio de contacto é 5,10m. A variação da altura do fio de contacto respeitará o definido na Tabela 12 da EN 50119:2020 para velocidades superiores a 250 km/h.

Quadro 9 – Tabela 12 da EN 50119:2020

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

4.1.5 Regras de Piquetagem

As regras de piquetagem definidas permitem um vão máximo de 63 m. Neste troço genericamente serão aplicadas as regras de piquetagem para a Zona de Vento A, exceto nas pontes, 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.

No desenvolvimento da piquetagem não serão instalados mais de 5 vãos consecutivos com o comprimento máximo de vão permitido.

4.1.6 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 LP300 um comprimento máximo do meio lanço de 650 m, que corresponde a um lanço com comprimento máximo de 1 300 m.

No caso da LP300 os equipamentos tensores do fio de contacto e do cabo de suporte serão independentes, sendo o do cabo de suporte montado a um nível superior ao do fio de contacto.

Os aparelhos tensores a instalar na LP300 serão idênticos e terão a mesma relação dos utilizados na catenária LP12 (1:5). Para um meio lanço com 650 m, o curso do aparelho tensor estará limitado a 4,15 m (0,83 x 5).

Em ambos os tipos de catenária os contrapesos a aplicar são os de ferro fundido (EC-221). Para o fio de contacto da catenária LP300 serão utilizados 6 pesos de 20 kg e 7 pesos de 40 kg (400 kg) e para o cabo de suporte serão utilizados 6 pesos de 20 kg e 4 pesos de 40 kg (280 kg).

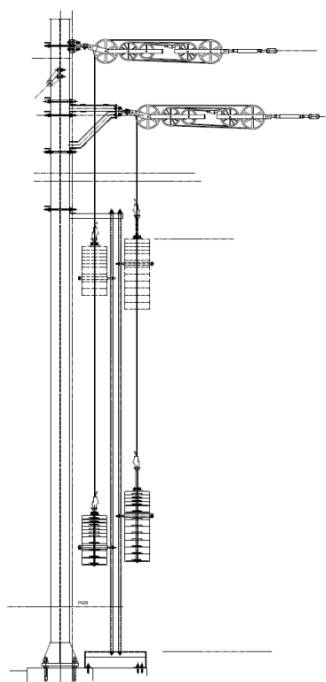


Figura 10 – Aparelhos Tensores LP300

4.1.7 Antideslizamento

Na catenária LP300 os antideslizamentos (EC-371) são realizados ao cabo de suporte com fixação do fio de contacto ao cabo de suporte nos vãos adjacentes ao poste de eixo com cabo de 35 mm² em bronze.

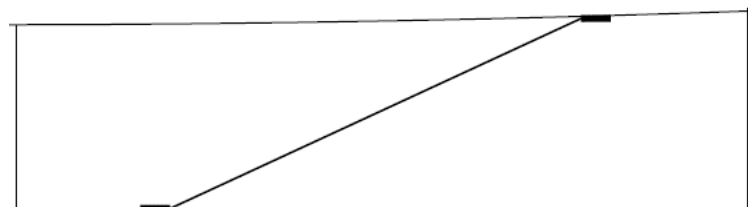


Figura 11 – Antideslizamento LP300

4.1.8 Pêndulos

Os pêndulos que suportam o fio de contacto do cabo de suporte além da função mecânica terão também a função de condução elétrica. A fixação dos pêndulos aos cabos é realizada por encaixe e os cabos cravados mecanicamente aos terminais.

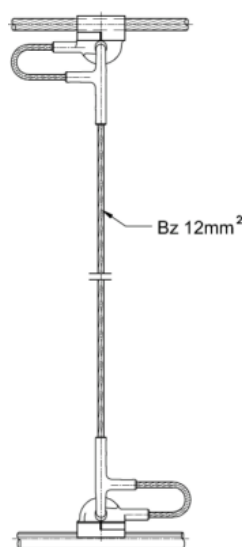


Figura 12 – Pendulo condutor

A distância máxima entre pêndulos é 6,75m, exceto nas secções extremas e nas secções intermédias de acerto onde são utilizadas distâncias máximas de 4,50m.

4.1.9 Zonas Comuns e Seccionamentos de Lâmina de Ar

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

Na LP300 as zonas comuns e seccionamentos de lâmina de ar são efetuados em 4 vãos, sendo dois de amarração conforme especificado como obrigatório na Norma UIC 799 OR. Ambos os lanços serão suportados por consolas montadas em postes ou em pórticos rígidos.

O esquema simplificado da montagem consta das duas figuras seguintes:

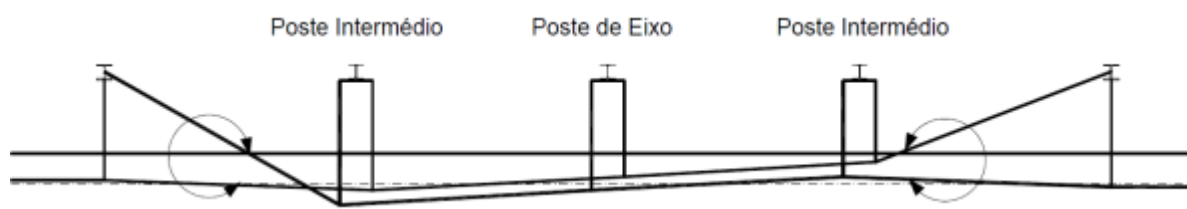


Figura 13 – Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em planta



Figura 14 – Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em perfil

Quando na zona central das montagens existam dois fios de contacto em serviço e o eixo do pantógrafo se situe entre eles admite-se um desalinhamento máximo a meio vão de 160 mm para o fio de contacto mais próximo do eixo do pantógrafo (esta situação apenas ocorre nas SLA).

Considera-se que o pantógrafo está em serviço com dois fios de contacto, não apenas na situação em que estes estão à mesma altura acima do plano dos carris, mas também na situação em que uma pequena diferença de cotas é absorvida pelo deslocamento vertical do pantógrafo.

O valor da sobrelevação do fio de contacto (r) é de 0,50 m. O fio de contacto sobrelevado deve passar sob o antibalançante da consola em serviço.

Uma zona comum ou um seccionamento de lâmina de ar diz-se “Normal” quando no sentido normal de marcha os planos das duas catenárias se cruzam no primeiro vão de amarração.

A montagem diz-se “Inversa” quando no sentido normal de marcha, os planos das duas catenárias se cruzam no último vão de amarração. O esquema simplificado da montagem consta da figura seguinte.

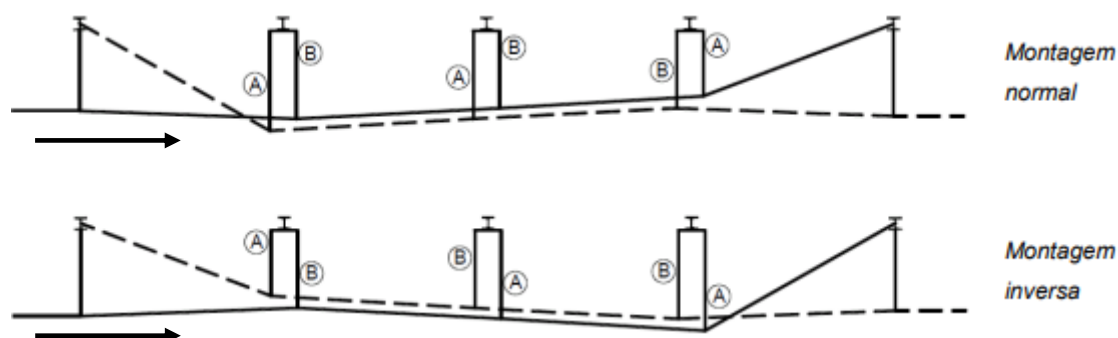


Figura 15 – Zona comum e seccionamento de lâmina de ar – representação em planta

Sempre que possível é utilizada a montagem normal, reservando-se a montagem inversa para casos particulares onde os desalinhamentos das catenárias o exijam.

4.1.9.1 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 em alinhamento reto e curva consta das duas figuras seguintes:

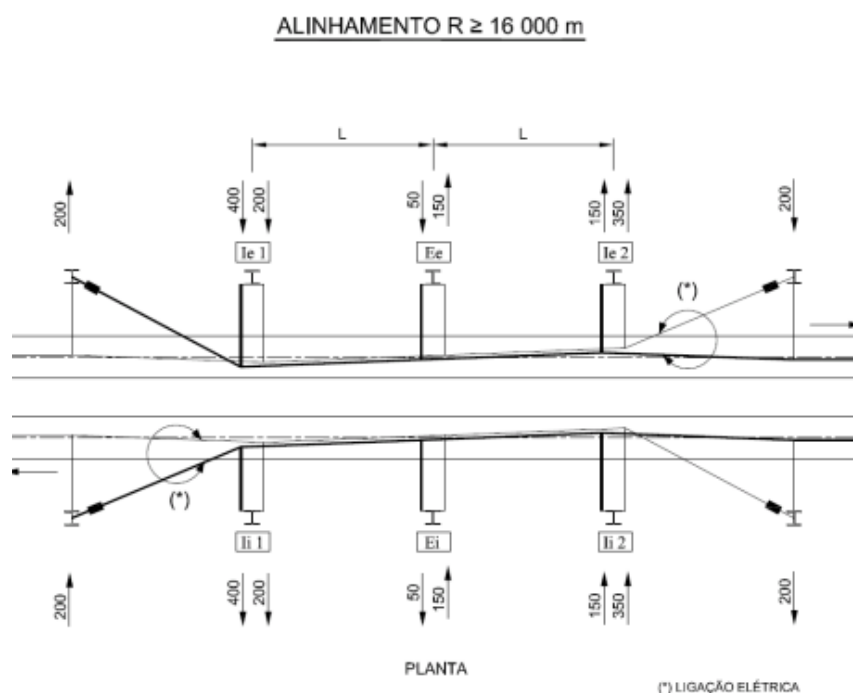


Figura 16 – Zona comum – piquetagem em alinhamento reto e curvas com raio até 16 000 m

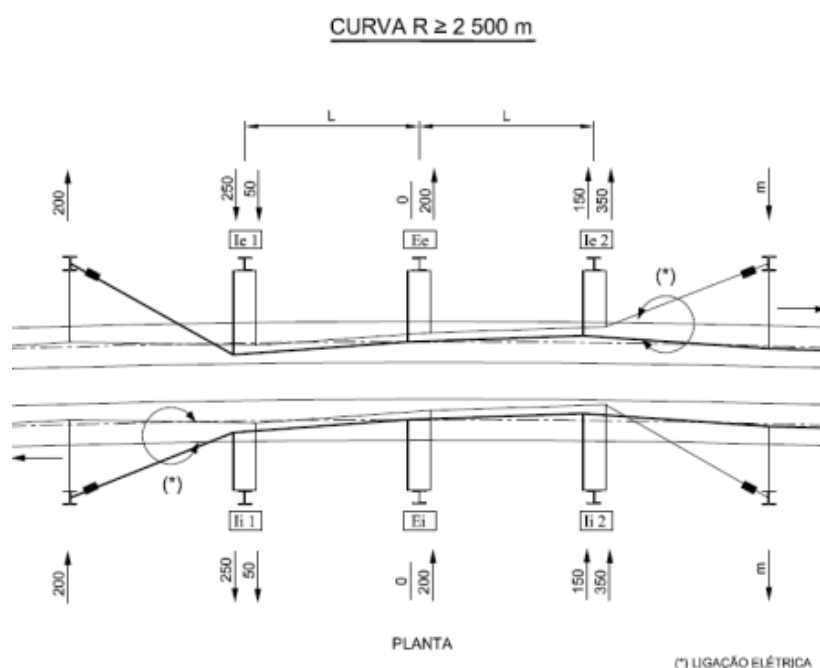


Figura 17 – Zona comum – piquetagem em curvas com raio entre 16 000 m e 2 500 m

O valor dos vãos de sobrelevação (L) é definido tendo em conta o raio da curva, conforme apresentado no quadro seguinte.

Quadro 10 – Zona comum – piquetagem

Raio	L	
	Zona A	Zona B
$R \geq 16000$	58,5	54,0
$16000 > R \geq 5000$	58,5	54,0
$5000 > R \geq 3500$	54,0	49,5
$3500 > R \geq 2500$	49,5	45,0

4.1.9.2 Seccionamentos de Lâmina de Ar (LP300)

Os seccionamentos de lâmina de ar destinam-se a permitir a separação elétrica entre dois lanços de catenária fazendo simultaneamente a sua separação mecânica. São também efetuados em 4 vãos, sendo dois de amarração, ainda de acordo com norma UIC anteriormente referida.

Nos dois vãos de sobrelevação, os dois lanços de catenária desenvolvem-se em planos paralelos distanciados de 0,40 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 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:

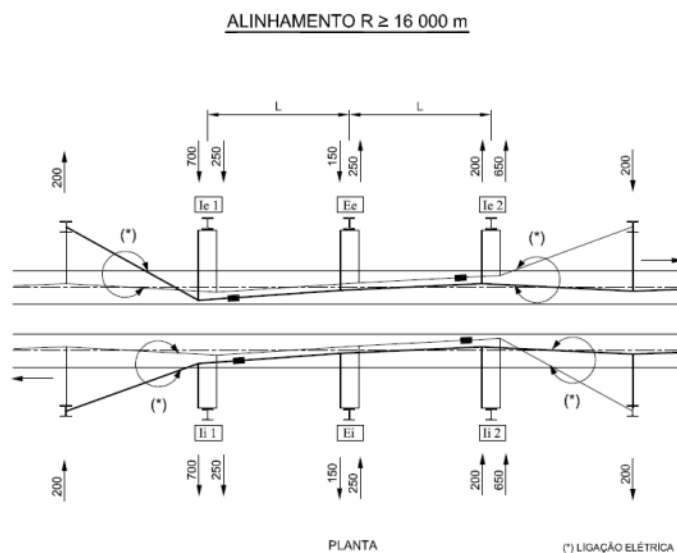


Figura 18 – Seccionamento de lâmina de ar – piquetagem em alinhamento reto e curvas com raio até 16000m

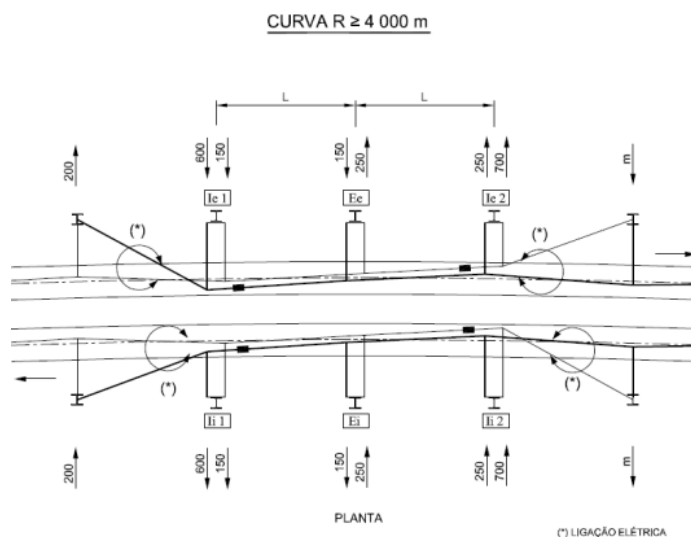


Figura 19 – Seccionamento de lâmina de ar – piquetagem em curvas com raio entre 16 000 m e 4 000 m

Quadro 11 – Zona comum – piquetagem

Raio	L	
	Zona A	Zona B
$R \geq 16\ 000$	58,5	54,0

Raio	L	
	Zona A	Zona B
$16\ 000 > R \geq 8\ 500$	58,5	54,0
$8\ 500 > R \geq 6\ 000$	54,0	49,5
$6\ 000 > R \geq 4\ 000$	49,5	45,0

No poste de eixo é necessário assegurar a guarda de ar entre as catenárias e as consolas dos dois lanços. Por defeito e uniformidade da solução, a guarda de ar a considerar é de 320 mm que corresponde à guarda de ar estática para zona marítima, conforme especificado na IT.CAT.034.

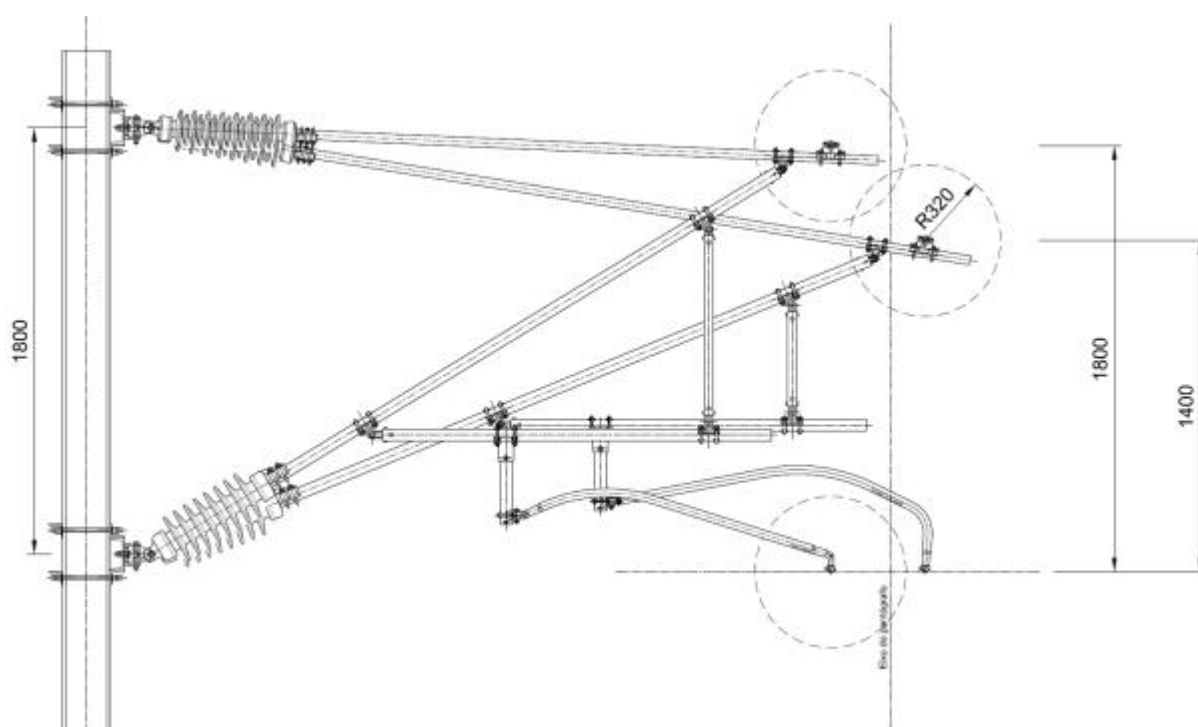


Figura 20 – Poste de eixo do seccionamento de lâmina de ar – montagem à tração

4.1.10 Aparelhos de Mudança de Via

Os aparelhos a instalar nos PIBs, PUECs e ligações de Canelas serão eletrificados com equipamento semelhante ao tangencial, mas com três catenárias, conforme será especificado por IP nos desenhos EC-394, EC-395, EC-396 e EC-397. Estes aparelhos encontram-se em trechos que serão eletrificados com velocidade de operação de 300 km/h no ramo direto. A geometria dos aparelhos é com tangente 0,021.

4.1.11 Isolador de Secção

Prevê-se a montagem de isoladores de secção nas linhas desviadas nos PUECs.

Tratando-se de zonas com velocidade máxima de 60 km/h, os isoladores de secção a aplicar serão os definidos no acervo normativo da IP para catenárias, designadamente os isoladores de secção simétricos dos desenhos EC-216, EC-345 ou EC-378.

4.1.12 Zonas Neutras

No Trecho 1,2, serão instaladas três zonas neutras, conforme o diagrama da Figura 7, e cujos pk estão refletidos na tabela a seguir. A alimentação elétrica entre a ZN 1-2 e a ZN N-1 é realizada a partir da subestação SS1 de Estarreja. A partir deste ponto, e até o final do trecho, a alimentação elétrica é feita a partir da subestação SST Travagem.

Quadro 12 – Localização das Zonas Neutras

Identificação da ZN	Descrição	Localização
ZN 1-2	Zona neutra de separação entre a SST 1 e a SST 2	pk 0+709
ZN SST 1	Zona neutra de separação entre setores norte e sul da SST 1	pk 28+005
ZN N-1	Zona neutra de separação entre a SST 1 e a SST travagem	pk 59+350

As Zonas Neutras serão do tipo “seccionada”, em conformidade com as características especificadas na EN 50367:2012 (anexo A.1.4), com a “configuração 1” que corresponde a um comprimento de 142 m.

A zona neutra é composta por três vãos de 49,0 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.

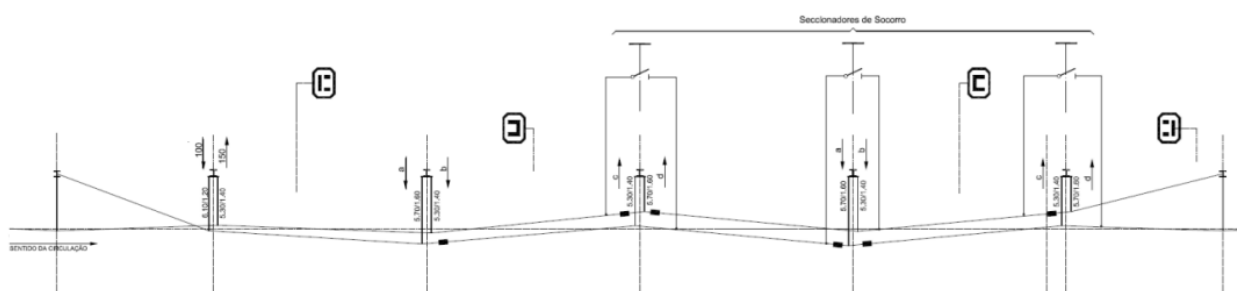


Figura 21 – Zona neutra seccionada 142 m – Planta

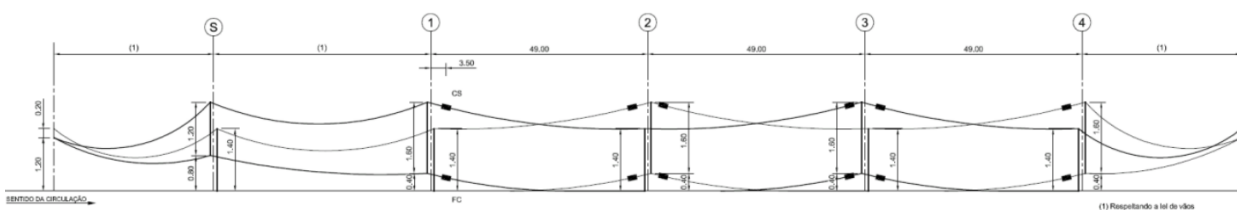


Figura 22 – Zona neutra seccionada 142 m – Perfil

Nos três vãos centrais, com comprimento de 49,0 m cada, os dois lanços de catenária desenvolvem-se em planos paralelos distanciados de 0,45 m.

Os isolamentos encontram-se a 3,5 m do poste, pelo que o comprimento efetivo da zona neutra é de 140 m ($3 \times 49,0\text{m} - 2 \times 3,5\text{m}$), que está conforme a especificação da EN 50367:2012. As catenárias das consolas do mesmo poste encontram-se ao mesmo potencial pelo que não há necessidade de assegurar guarda de ar entre elas.

A sobrelevação da catenária fora de serviço é de 0,40m. No centro dos vãos da zona neutra as catenárias encontram-se 3,5 cm acima da cota de serviço. O contacto do pantógrafo com as duas catenárias paralelas nesta zona central é assegurado pela natural elevação das catenárias que resulta da força exercida pelo pantógrafo nas mesmas (admitindo uma sobrelevação das catenárias de 1 cm, verifica-se uma zona de contacto do pantógrafo com as duas catenárias de aproximadamente 3 m).

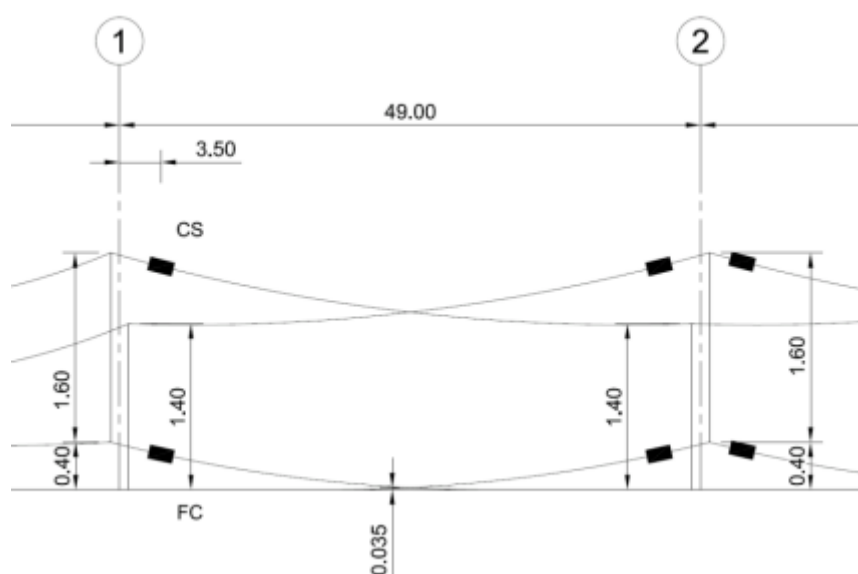


Figura 23 – Zona neutra seccionada 142 m – Perfil (detalhe dos vãos centrais)

As localizações definidas para as zonas neutras foram estudadas em função do cenário final de alimentação de forma a assegurar comprimentos de setor equilibrados. Os condicionamentos para a escolha/definição da localização das zonas neutras são essencialmente os seguintes:

- Traçado em perfil com trainel limitado a 6 ‰ numa extensão de aproximadamente 400 m.
- Traçado em planta com raio superior a 3 000 m.
- Sinais de paragem a menos de 470 m do eixo da zona neutra.

4.1.13 Feeder negativo

A necessidade de instalação de feeder negativo está relacionada com a utilização do sistema de alimentação 2x25 kV. Este feeder funciona com uma tensão elétrica de 25 kV que se encontra em oposição de fase em relação à tensão da catenária.

As regras e princípios a utilizar na aplicação do feeder negativo são as especificadas na IT.CAT.034. O feeder é constituído por um cabo de cobre multifilar de 150 mm² montado com uma força tensora de 850 kgf à temperatura de 20 °C sem vento.

O feeder é montado em consola fixada diretamente no topo do poste a uma cota de aproximadamente 6,4 m em relação ao plano de rolamento. Na situação de maior flecha, que corresponde à temperatura ambiente de 65 °C, o feeder tem uma cota em relação ao plano de rolamento superior a 5,0 m, garantindo-se um valor superior a 5,70 m ao solo.

Neste projeto, verifica-se nos túneis a necessidade de instalação de feeder em cabo seco.

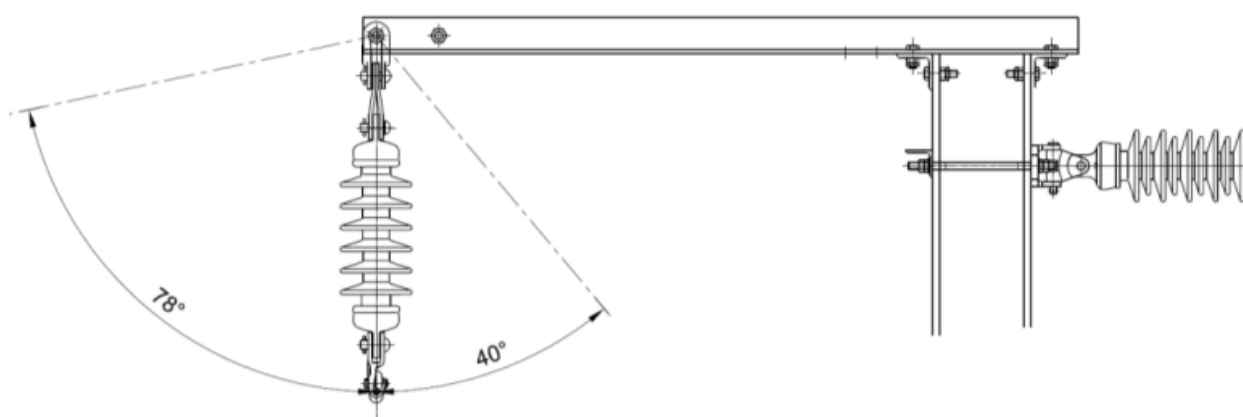


Figura 24 – Montagem do feeder – Pormenor da montagem para o lado do campo

Em plena via o feeder é preferencialmente montado do lado do campo, exceto nas pontes e viadutos em que é montado para o lado da via.

A distância mínima do feeder às partes em tensão (ao potencial da catenária) é de 0,80 m.

O comprimento máximo de um lanço de feeder é limitado a 5 000 m.

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 15 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.

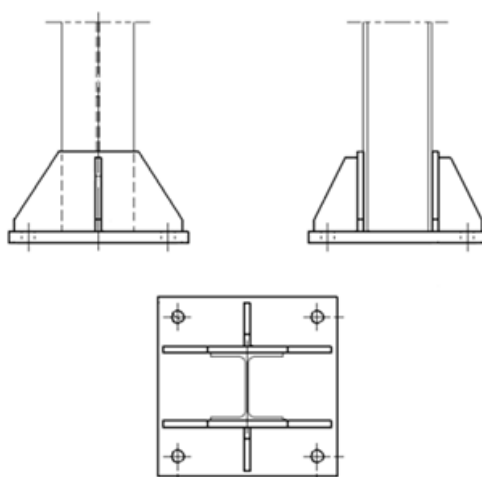


Figura 25 – Base em cércea

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.

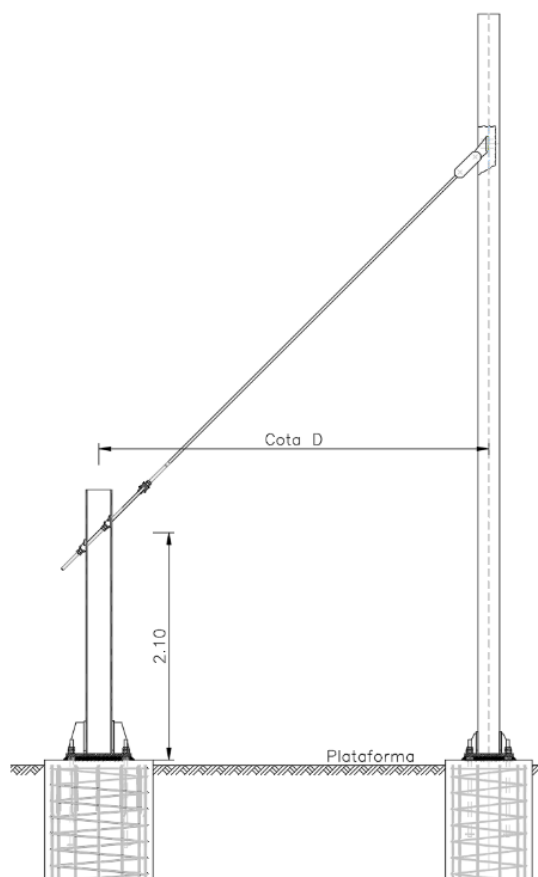


Figura 26 – Espiamento sobrelevado – Exemplo de fundação cilíndrica

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.

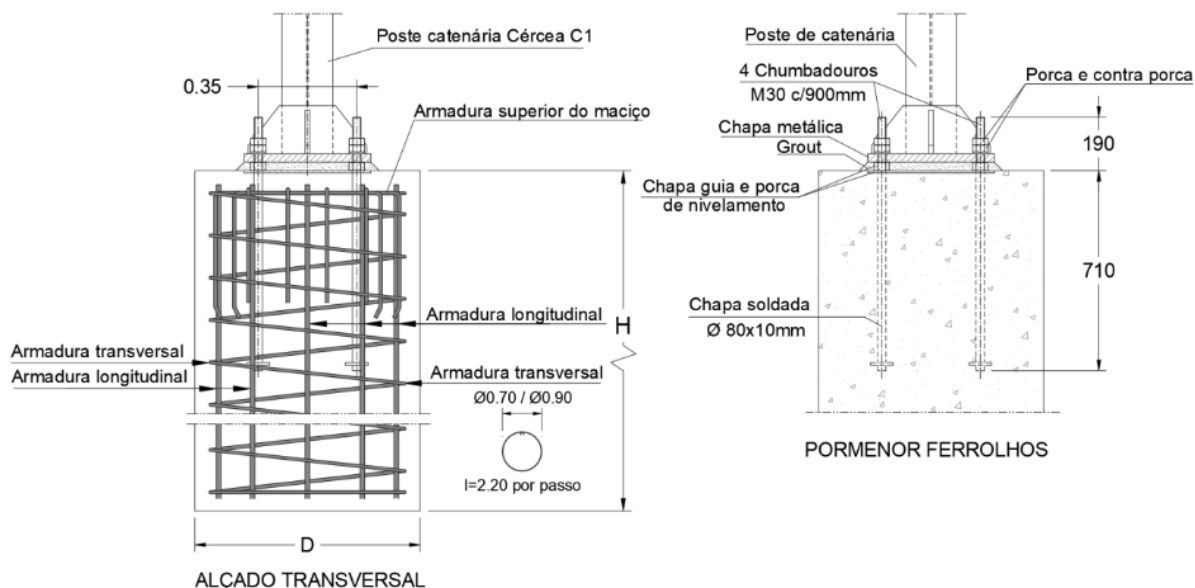


Figura 27 – Detalhe fundação cilíndrica

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 13 – 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 sobrelevado	Terreno “normal”	0,2
AsCAr	Cilíndrico armado para espíamento sobrelevado	Terreno “rochoso”	0,4
AsPAN	Paralelepípedo armado para espíamento sobrelevado	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.

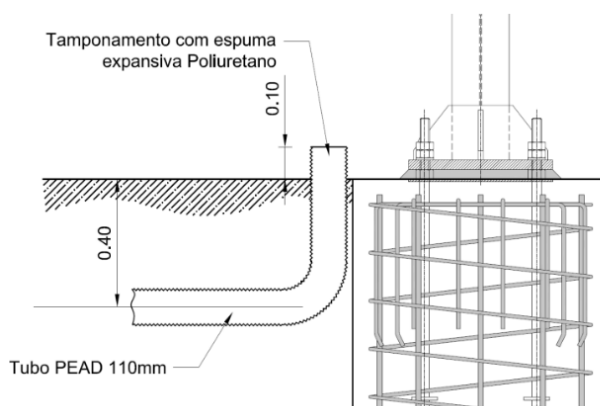


Figura 28 – Tubo PEAD 110 mm para passagem de cabos de energia entre o poste e a caixa de inspeção

4.1.17.2 Pontes e Viadutos

Nas pontes e viadutos os postes terão uma base soldada e serão montados na obra de arte através de 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.

Para utilização dos maciços de reserva para os postes de catenária será necessário proceder previamente à remoção e limpeza das proteções dos pernos e verificação do estado dos pernos.

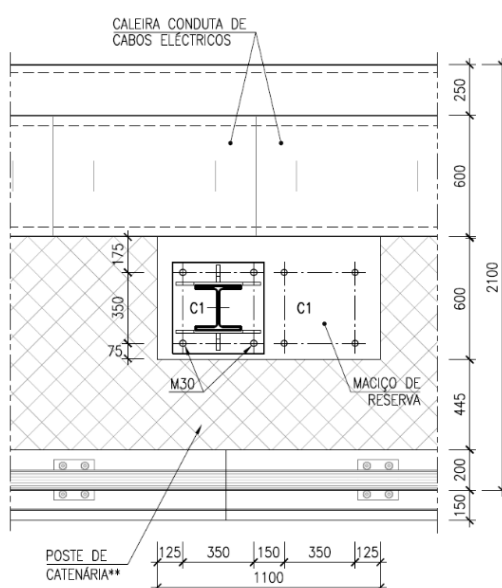


Figura 29 – Maciço de fixação de poste em obra de arte

4.1.18 Túneis

Nos túneis a catenária será suspensa em postaletes fixados na abóbada do túnel na zona da entrevia (des. EC-105). Os postaletes serão montados de modo a garantir uma distância mínima de 2,60 m entre o eixo do postaleta e o eixo da via a que respeita.

Em todos os postaletes será montada uma rede de proteção do lado oposto à via a que respeita, para permitir trabalhos de conservação com corte de tensão apenas numa das vias (des. EC-108).

Os postaletes afetos a vias diferentes serão distanciados longitudinalmente de 3,00 m.

No sistema de terras, um cabo de terra interligará todos os postaletes. Este cabo de terra terá assegurada a continuidade com o cabo de terra aéreo nas extremidades do túnel.

A abertura da catenária e o equipamento de fixação do FC serão variáveis em função do gabarito disponível no túnel.

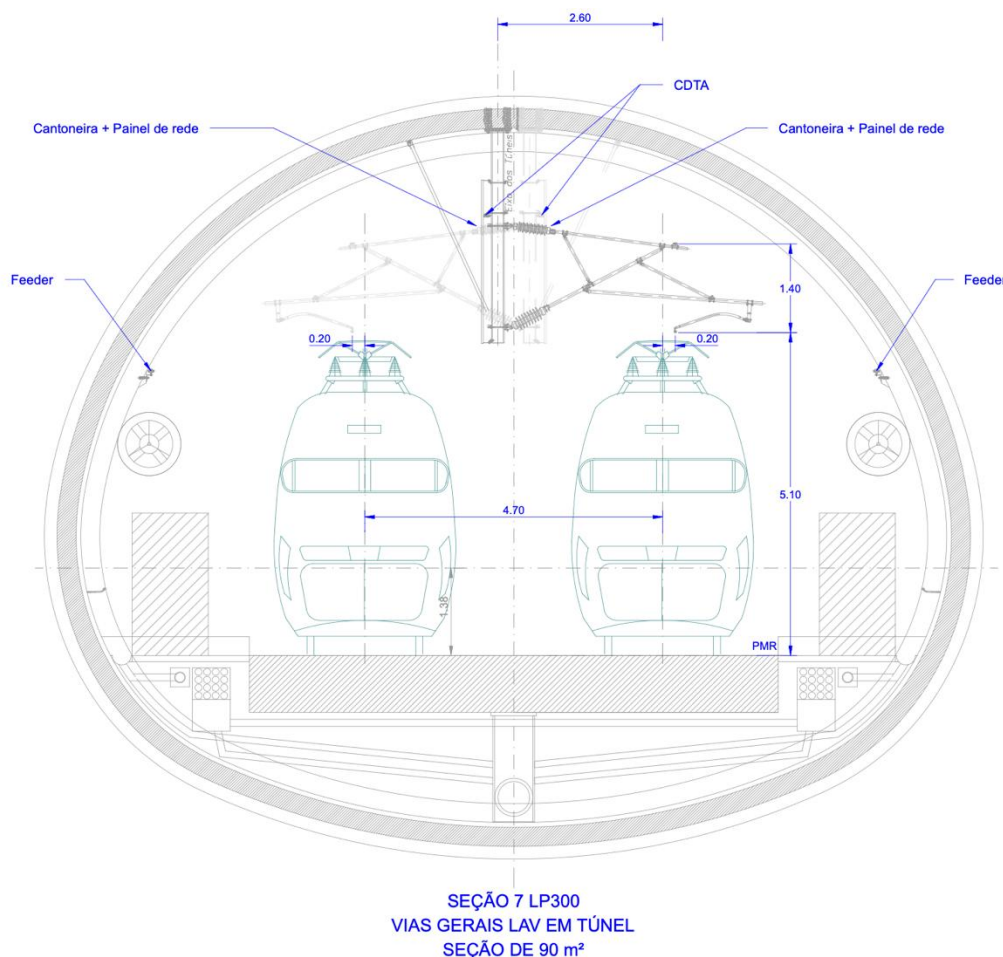


Figura 30 – Secção de túnel de 90 m² com montagem de catenária LP300

4.1.19 Passagens Superiores

O gabari vertical das Passagens Superiores (PS) é, no mínimo, de 7,50 m que permite assegurar a eletrificação com a catenária à altura e abertura nominal. Também o feeder sob as PS é instalado à altura nominal.

A instalação de zonas comuns e seccionamentos de lâmina de ar sob as PS foi evitado.

As passagens superiores serão equipadas com Painéis de Proteção conforme definido no desenho C-1545, montagem I. A montagem dos Painéis de Proteção está incluída nas obras de arte.

4.1.20 Pórticos

Na zona dos aparelhos de mudança de via, e nos PUECs os espaços para implantação dos postes são usualmente reduzidos recorrendo-se por essa razão às montagens de pórticos autosuportados. Nestas situações as consolas são fixadas a postaletes.

Considerando a velocidade de circulação prevista neste troço, os pórticos a instalar são do tipo rígidos autoportantes constituídos por postes 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 postalete a consola pode ser montada com uma distância, eixo da via – eixo do postalete, 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.

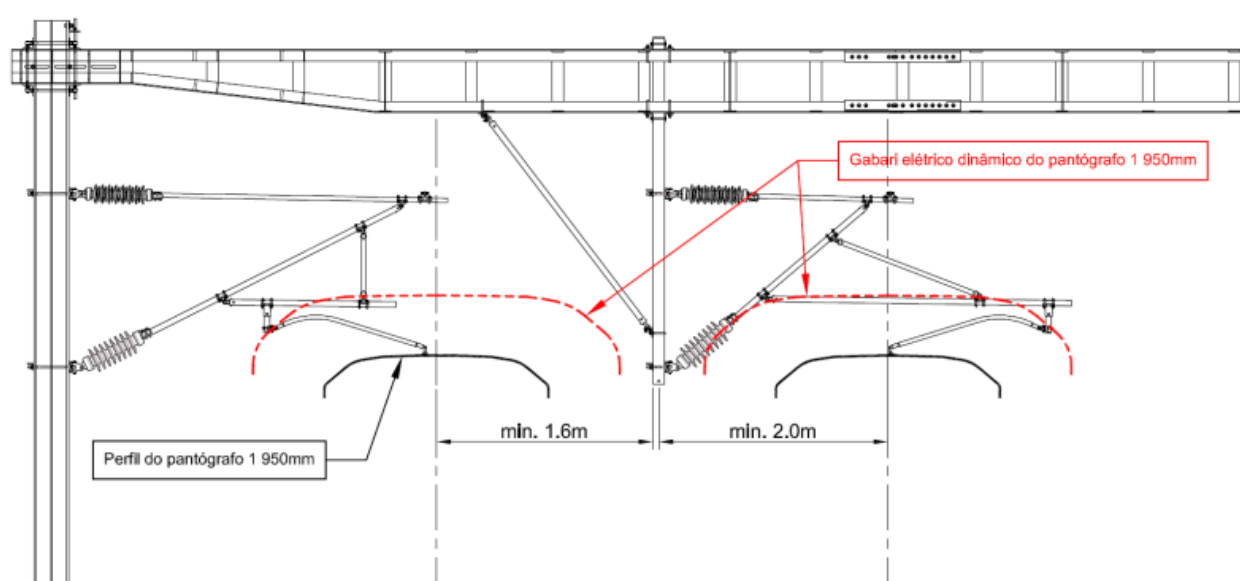


Figura 31 – Montagem em pórtico - Gabari para as vias adjacentes

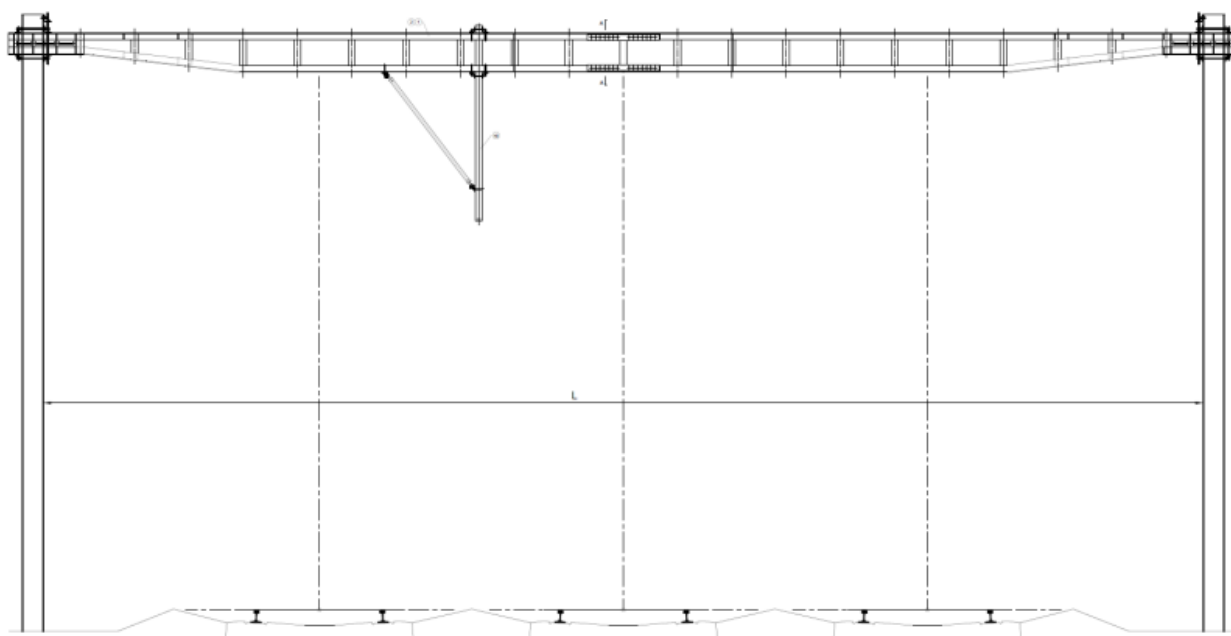


Figura 32 – Desenho de Princípio do Pórtico Autoportante

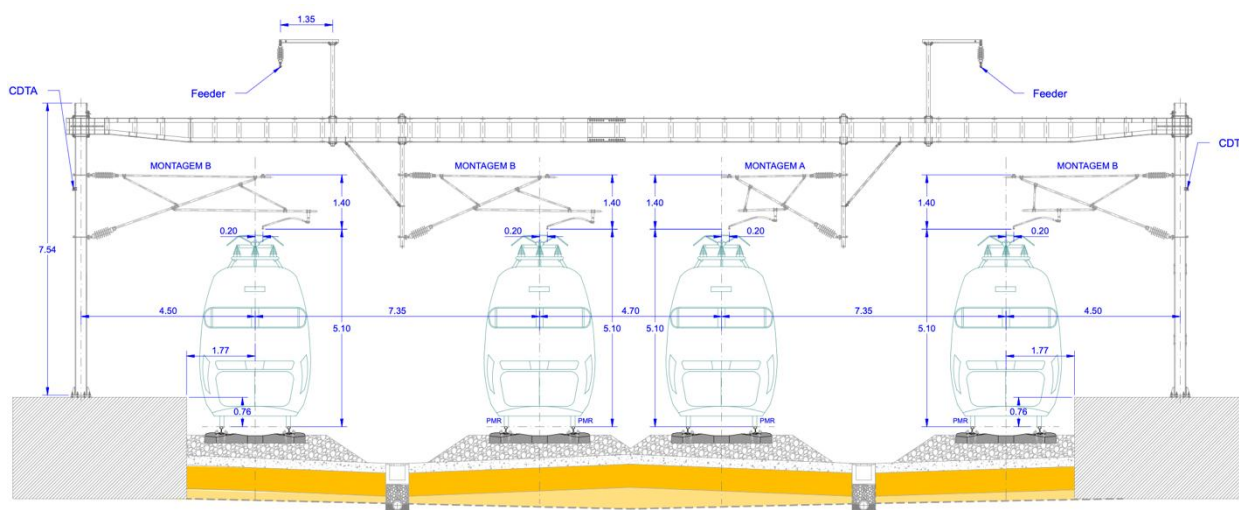


Figura 33 – Seção transversal 9 catenária LP300 em P.U.E.C

4.1.21 Equipamento (ou Aparelhagem) Elétrico de Catenária

No presente troço é necessário instalar equipamentos elétricos, nomeadamente, transformadores de alimentação e de tensão e seccionadores.

4.1.21.1 Transformador de Alimentação

O projeto de catenária considera a instalação dos transformadores de alimentação necessários para o socorro dos edifícios técnicos e armários/contentores de Sinalização e GSM-R. Os transformadores

previstos encontram-se no quadro seguinte. Os transformadores de alimentação são instalados em poste independente (sem consola de catenária), conforme desenho E-3214.

Quadro 14 – Transformadores de alimentação

Subtroço	PK	Potência	Instalações a alimentar
A1	0+450	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A1	3+500	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A1	5+100	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A1	6+525	50 - 100 kVA	Edifício – ET (PIB)
A1	7+200	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A1	11+100	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A1	12+400	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A1	15+300	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A2	17+000	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A2	19+525	50 - 100 kVA	Edifício – ET (PUEC)
A2	20+800	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A2	24+800	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A2	28+800	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A2	31+500	50 - 100 kVA	Edifício – ET (PIB)
A2	32+800	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A3	36+800	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A3	40+250	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A3	43+800	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A3	47+700	25 kVA	Contentor – Site GSM-R

Subtroço	PK	Potência	Instalações a alimentar
A4	50+672	50 - 100 kVA	Edifício ETPV
A4	51+800	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A4	54+650	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A4	56+400	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A4	58+100	50 - 100 kVA	Edifício – ET (PIB)
A4	59+950	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A4	61+550	25 kVA	Contentor – Site GSM-R
A4	62+650	25 kVA	Contentor – Site GSM-R

A potência dos transformadores de alimentação será confirmada numa fase posterior, com base na procura energética dos edifícios técnicos, a qual será disponibilizada pela IP.

4.1.21.2 Transformador de Tensão

São previstos transformadores de tensão independentes nas secções elementares da linha principal. 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.

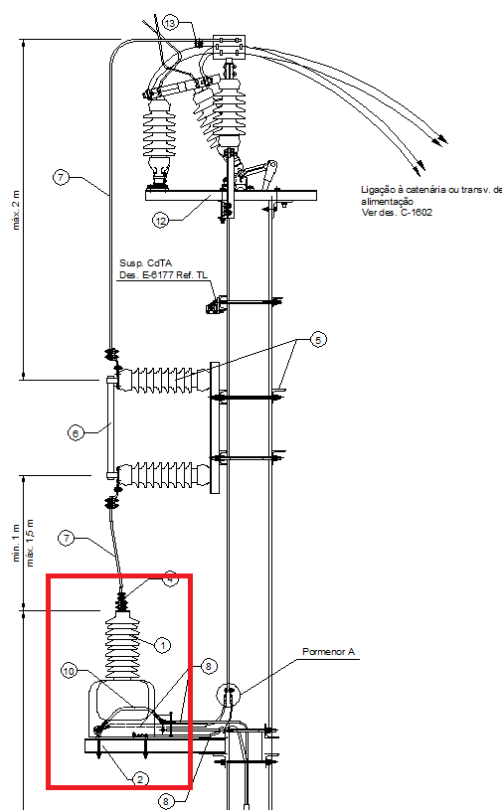


Figura 34 – Montagem de transformador de tensão em poste (EC-237)

4.1.21.3 Seccionador

Nos postes de eixo de seccionamento de lâmina de ar serão instalados seccionadores duplos (2x25 kV) de comando único motorizado. Estes seccionadores (um ligado à catenária e o outro ligado ao feeder) têm a função de interligar/desligar duas secções elementares adjacentes.

Os seccionadores duplos são montados em postes de catenária recorrendo à montagem de princípio do desenho EC-126.

Na zona neutra definida no esquema elétrico de concurso serão utilizados 3 seccionadores duplos, no entanto no desenvolvimento do projeto será estudada a possibilidade de utilização de 1 duplo e dois simples, onde os seccionadores simples permitiriam o “socorro” em caso de paragem de comboios na zona sem tensão.

4.1.22 ESQUEMA ELÉCTRICO

4.1.22.1 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.

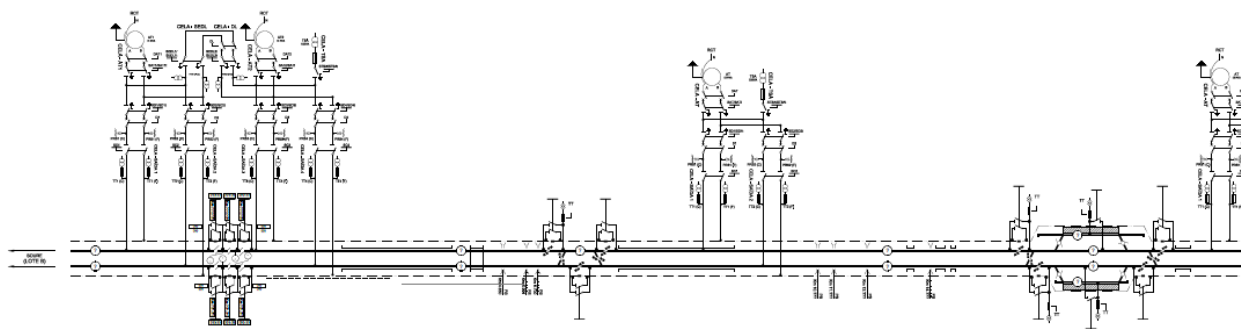


Figura 35 – Captura do esquema elétrico troço 1,2

4.1.22.2 Instalação de Seccionamentos de Lâmina de Ar

A definição da localização dos seccionamentos de lâmina de Ar (SLA), que se apresenta no esquema elétrico, teve por base as práticas instituídas, designadamente:

- Estações com Sinalização de Manobras:
 - O SLA será montado entre o sinal de entrada (S1 ou S2) e o sinal limite de manobras, se a distância entre eles o permitir.
 - Quando a distância entre o sinal de entrada e o sinal limite de manobras, não permita a montagem de um SLA, este será colocado de modo a ficar o mais próximo possível do sinal de entrada, respeitando a distância mínima compatível com o comprimento máximo dos comboios entre o poste limite do SLA e o sinal de entrada. Considerou-se um comprimento de 200 m.
- Estações sem Sinalização de Manobras:
 - O SLA será montado entre o sinal de entrada (S1 ou S2) e a junta da contralança do AMV de entrada.
 - O SLA não poderá ser montado em curvas de raio inferior a 4 000m.

Cabe ressaltar que a sinalização não faz parte do escopo da concessionária, e, portanto, a localização exata dos sinais será estudada na fase sucessiva quando no diagrama de sinalização ser disponibilizado pela IP.

Tratando-se do sistema 2x25 kV, os SLA foram equipados com um seccionador duplo. Os transformadores de tensão das secções elementares das plenas vias encontram-se junto aos postos autotransformador.

4.1.22.3 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.

4.1.22.4 Ligação à Subestação e aos Postos Autotransformador

Neste troço está prevista a construção da subestação de tração SS1 (220/2x25 kV) ao pk 58,546.

Para o sistema 2x25 kV será instalado neste um posto autotransformador de zona neutra ao pk 0+800, e outro no pk 59+350.

Quadro 15 – Instalações de Energia de Tração (SST, PAT e PAT-ZN)

Instalação	Localização
Posto Autotransformador Zona Neutra 1-2	0+800
Posto Autotransformador 1.4	10+500
Posto Autotransformador 1.3	20+140
Posto Autotransformador Zona Neutra SST-1	27+950
Subestação de Estarreja – SST1	28+546
Posto Autotransformador 1.2	38+820
Posto Autotransformador 1.1	49+280
Posto Autotransformador Zona Neutra T-1	59+350

4.1.22.5 Instalação de Zonas Neutras

No âmbito da eletrificação do presente troço está prevista três zonas neutras, conforme descrito no capítulo 4.1.12.

4.1.22.6 Isolador de Secção

Prevê-se a montagem de Isoladores de Secção (IS) nas linhas desviadas nas Estações Técnicas. Tratando-se de zonas com velocidade máxima de 60 km/h, os isoladores de secção a aplicar serão os definidos no normativo da IP, designadamente os isoladores de secção simétricos dos desenhos E-216, EC-345 ou EC-378. Estes isoladores de secção estão aptos para funcionar em catenárias com forças tensoras até 26 kN.

Os IS são montados em vãos de catenária com comprimento não superior a 54 m e onde o desalinhamento é preferencialmente nulo, nunca excedendo 5 cm. O CS e o FC devem estar na mesma vertical nas suspensões correspondentes dos suportes colaterais.

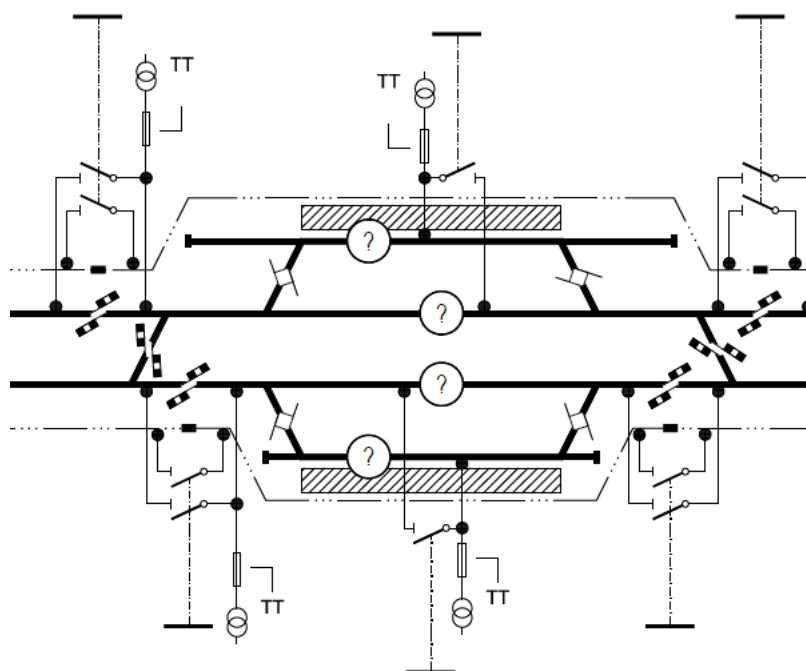


Figura 36 – Esquema Elétrico Tipo em um PUEC

4.2 Características particulares

4.2.1 Traçado

O traçado para los subtroços de catenária T1,2 desenvolve-se entre os pk 0+000 e 67+858 tem uma extensão de aproximadamente 50,9 km em plena via. Os raios de curva mais restritivos são de 4555 m.

4.2.2 Perfil Tipo

Atendendo às definições apresentadas nos pontos anteriores, o perfil tipo da catenária em plena via é o apresentado nas figuras seguintes. Os cabos de energia ficarão a uma altura, em relação ao plano de rolamento de:

- Fio de contacto (FC) – 5,1 m
- Cabo de suporte (CS) – 6,5 m

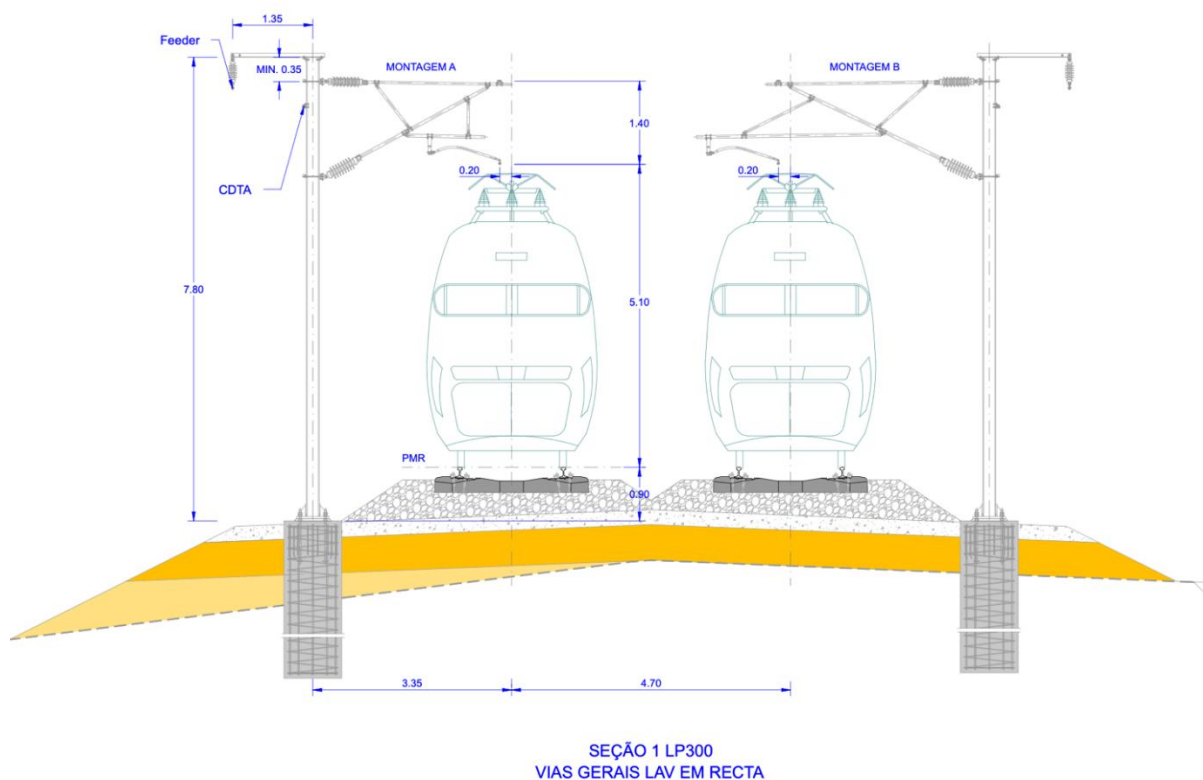


Figura 37 – Perfil tipo (normal) da catenária em Plena Via

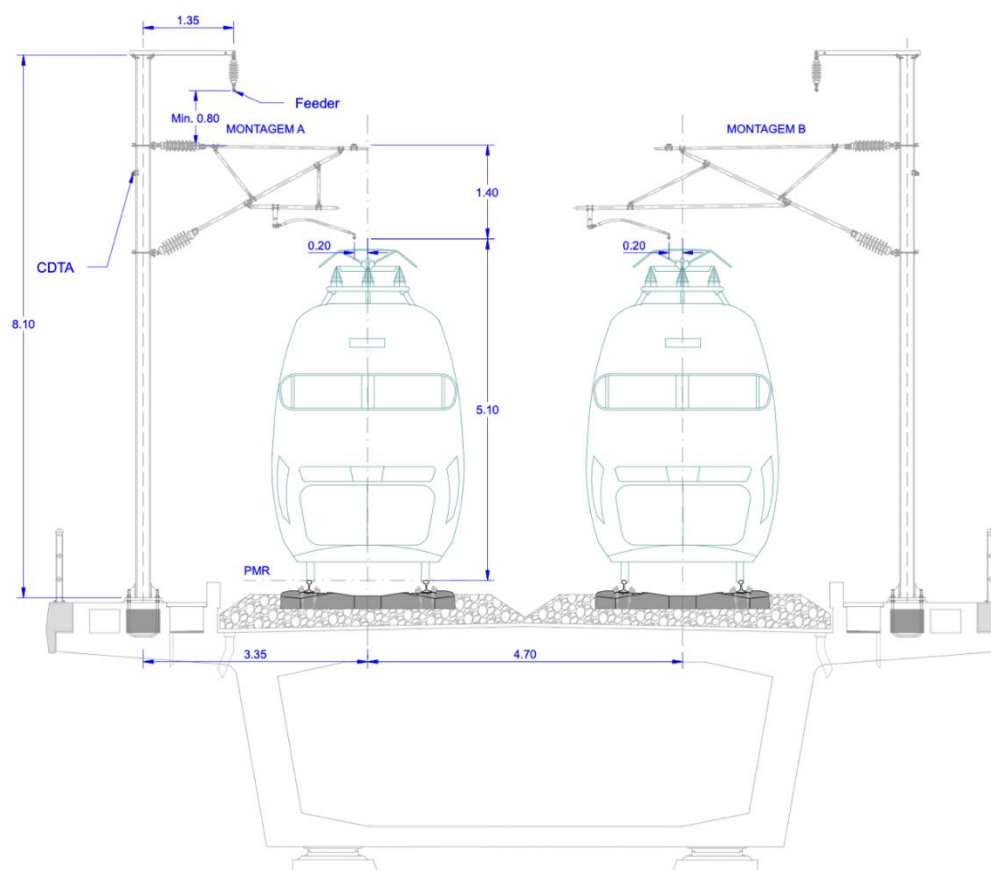


Figura 38 – Perfil tipo da catenária em Obra de Arte

4.2.3 Implantação e Nivelamento

A implantação dos postes de catenária em plena via, incluindo nas obras de arte, é de 3,35 m medida entre o eixo da via e o eixo do poste. Os postes da catenária são colocados do lado esquerdo da via.

O nivelamento considerado nesta fase de projeto é o valor máximo de -0,90 m relativamente ao plano de rolamento da via, caso limite, considerado nos cálculos do Anexo I. O nivelamento será confirmado na próxima fase de projeto no desenvolvimento da interface com o subsistema VIA. Com este nivelamento, o topo dos maciços fica aproximadamente à cota do solo. Em obra de arte, o nivelamento previsto é de -0,35 m.

4.2.4 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.

4.3 SISTEMAS COMPLEMENTARES DE SEGURANÇA – MONITORIZAÇÃO DE PANTÓGRAFOS

Será instalado um sistema de monitorização de pantógrafos na LAV. Este sistema terá como funções a medição da sobrelevação da catenária/pantógrafo e o desgaste da escova do pantógrafo.

As comunicações e alimentação de energia para o sistema serão provenientes do contentor dos Sistemas Complementares de Segurança.

Faz parte do fornecimento e instalação todos os elementos necessários à operação do sistema, incluindo eventuais postes/pórticos fundações e estruturas de suporte.

A solução a instalar será apresentada previamente à IP para verificação e validação.

5 INTEROPERABILIDADE

As condições a cumprir para realizar a interoperabilidade estão definidas no decreto-lei nº 27 de 17 de Fevereiro de 2011 (transposição da Diretiva 2008/57/EU) e consequentes alterações constantes nos decretos-lei nº 182 de 6 de Agosto de 2012 e nº 41 de 18 de Março de 2014.

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 16 a Tabela Técnica de Velocidades (TTV) para a fase de Projeto da especialidade de Catenária.

Quadro 16 – 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:

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

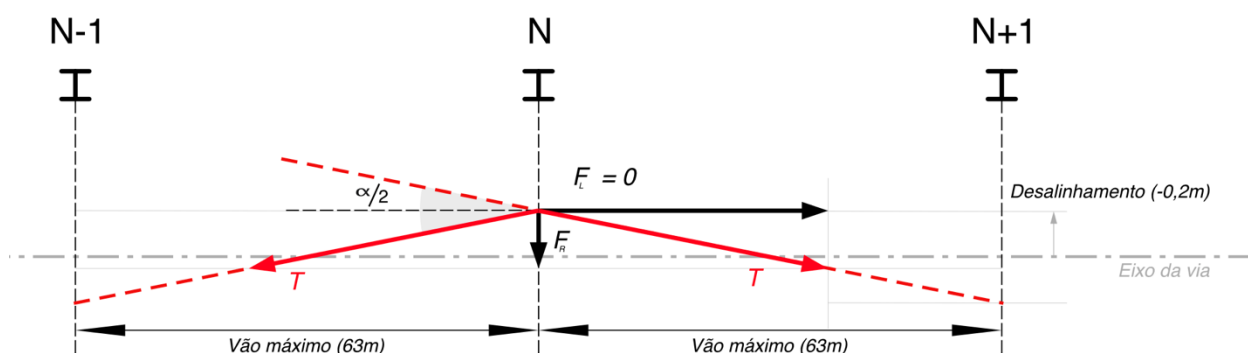


Figura 1 - Esquema das forças tensoras do FC e CS com desalinhamento (0,2) m e vão máximo (63m)

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

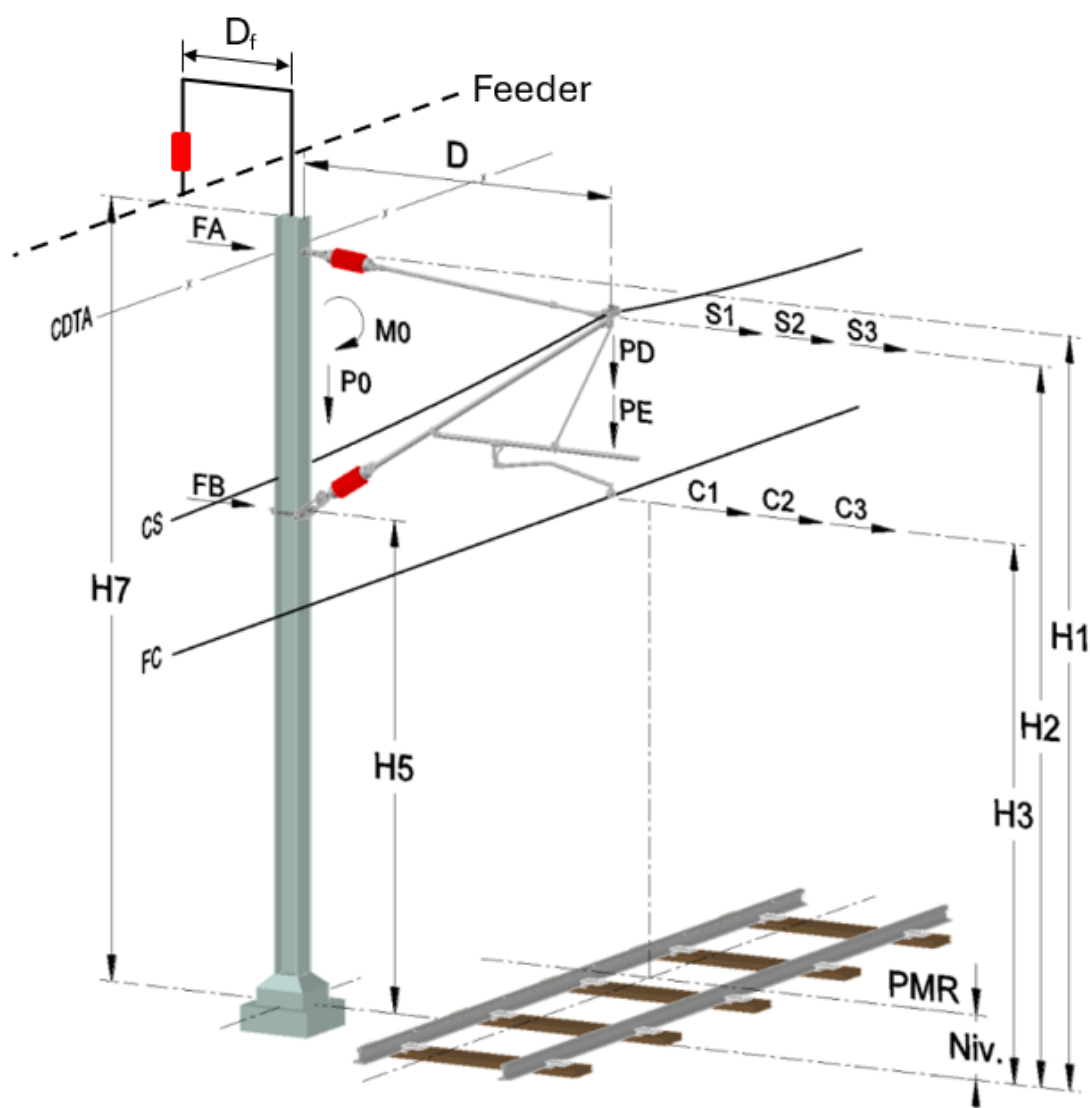


Figura 2 - Ilustração da consola normal com Feeder e CDTA

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:

$$M_{2\perp\perp} = W1_T \cdot (f_{0\perp} + (W6_T + W11_T + W11_v) \cdot K_y) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\perp}}}$$

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:

$$M_{2\parallel\parallel} = W1_T \cdot (f_{0\parallel} + (W10_T + W12_T + W12_v) \cdot K_x) \cdot \frac{1}{1 - \frac{W1_T}{P_{cr\parallel}}}$$

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.

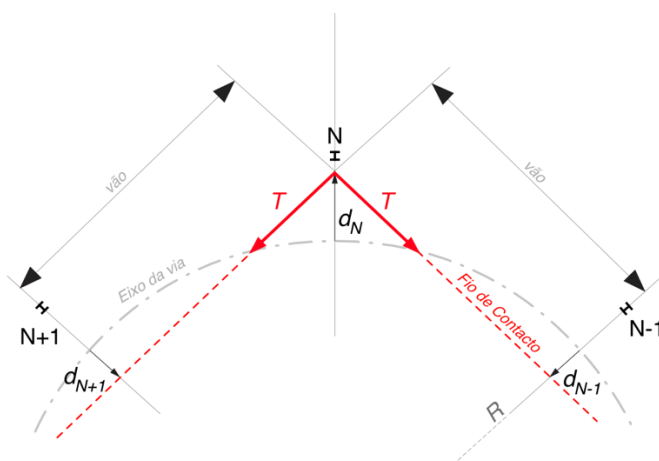


Figura 3 - Esquema das forças radiais da catenária em curva de raio R

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

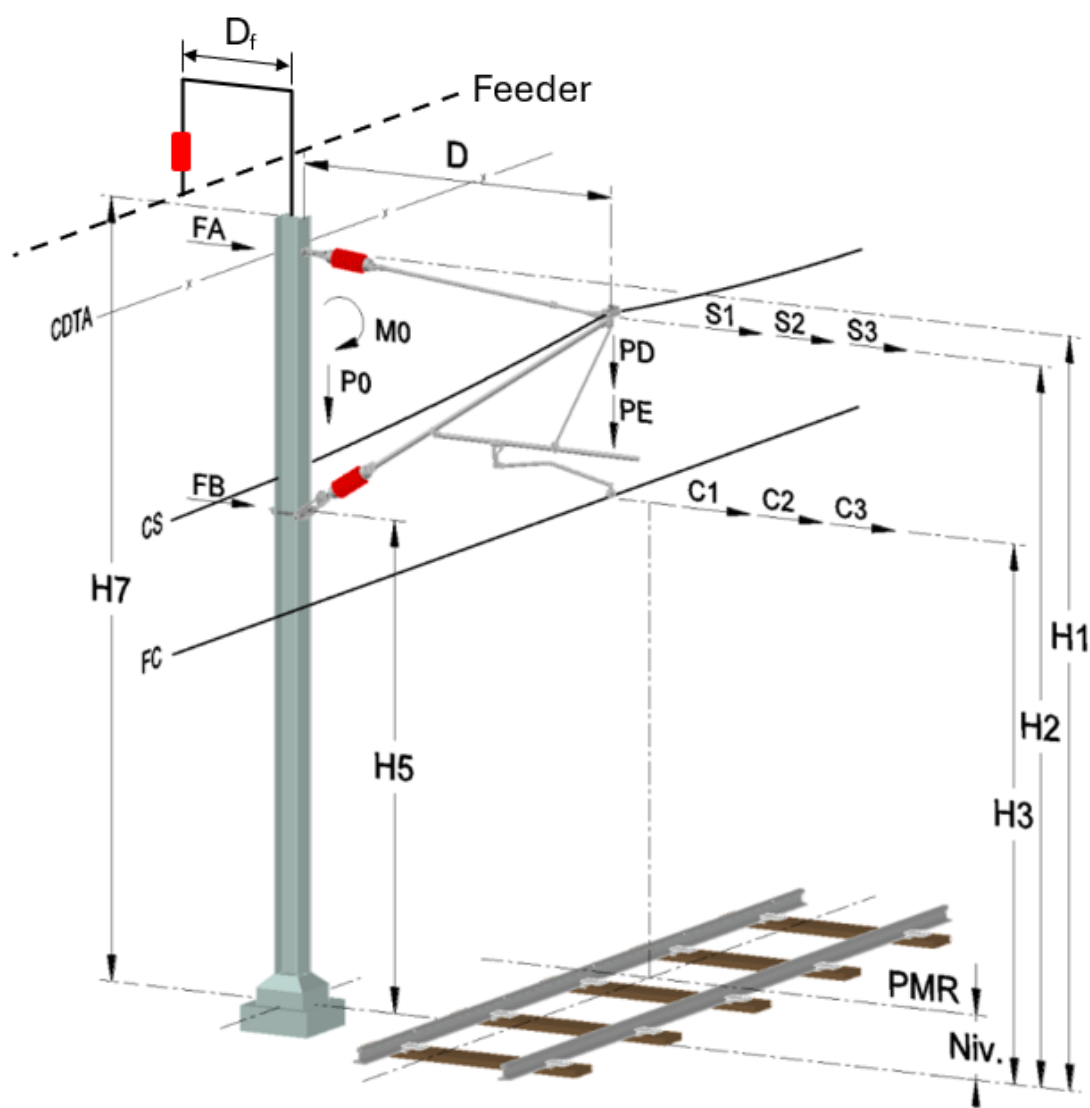


Figura 4 - Ilustração da consola normal com Feeder e CDTA

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.

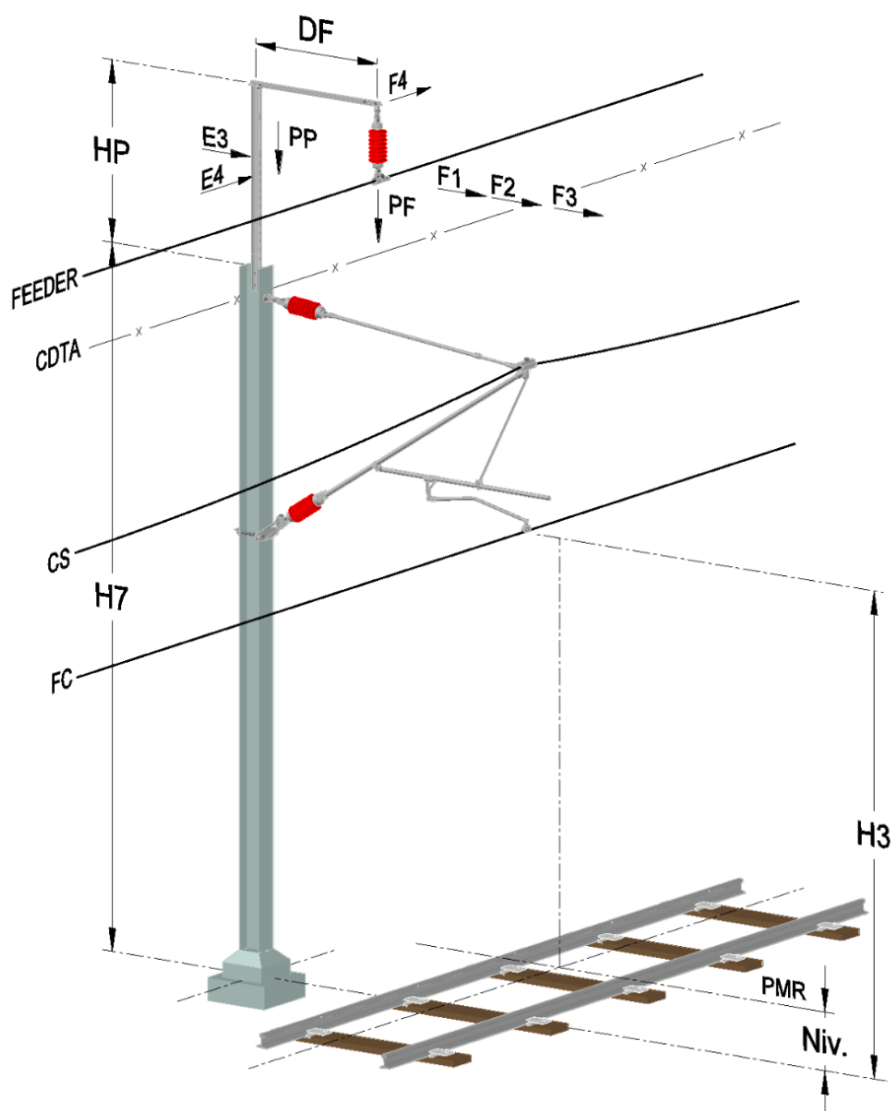


Figura 5 - Ilustração da consola normal com Feeder (lado da via) e CDTA

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

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

$$C_2 = C_1 + C_3$$

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.

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 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 propiá 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.

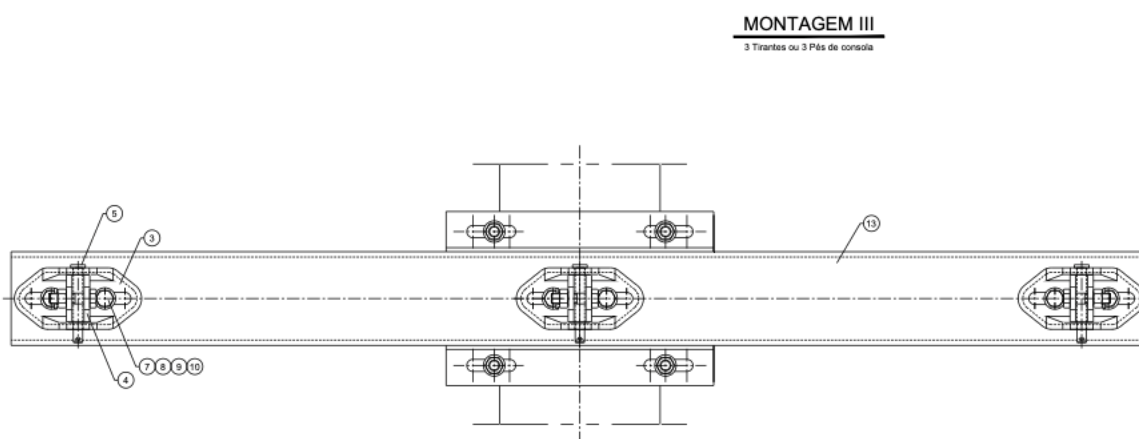


Figura 9 – Peça para fixar três consolas ao mesmo poste de catenária (Montagem III – des. EC-359)

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	$N \cdot m$
V_4	7 538	N
$W5v$	29 023	$N \cdot m$

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
$W7v$	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.

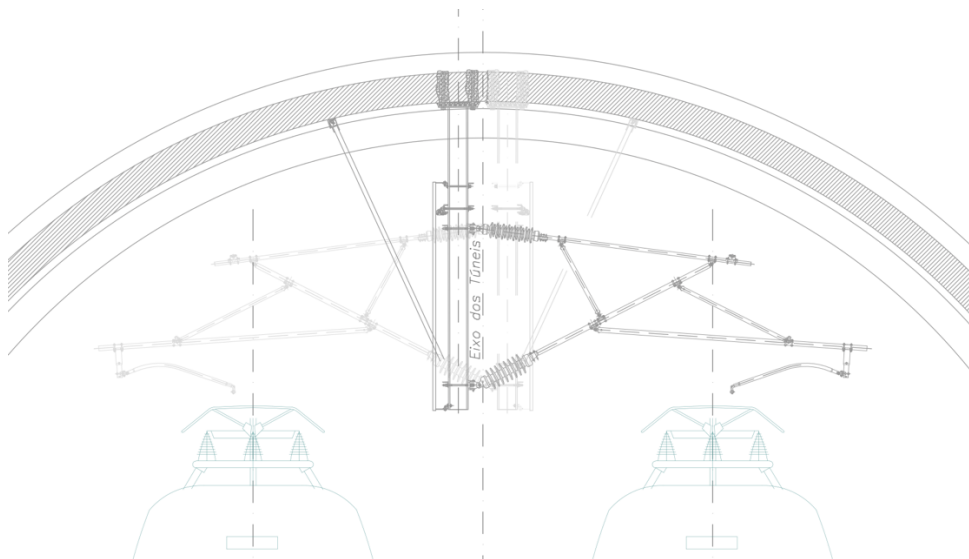


Figura 10 – Detalhe de uma secção de túnel com o postaleta fixado à parte superior e duas consolas LP300.

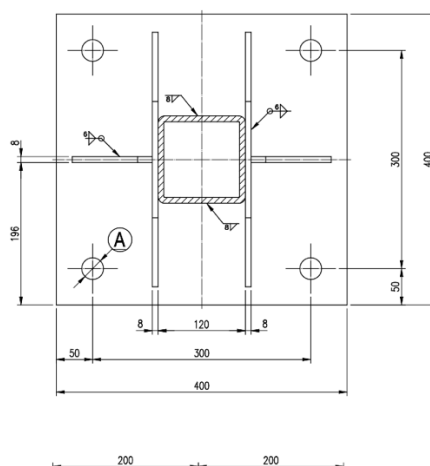
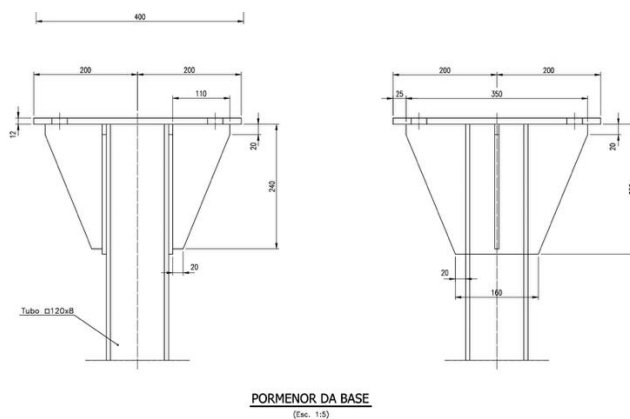


Figura 11 – Secção em planta do postaleta (des. EC-107)



②
(Esc. 1:5)

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:

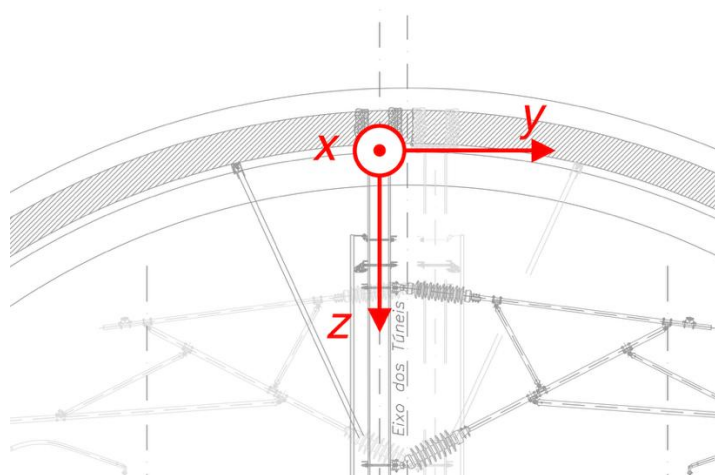


Figura 13 – Triedro ortonormal de referência (des. EC-107)

- As forças em **x** são zero, pois as tensões do FC e do CS compensam-se com o postaleta 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.

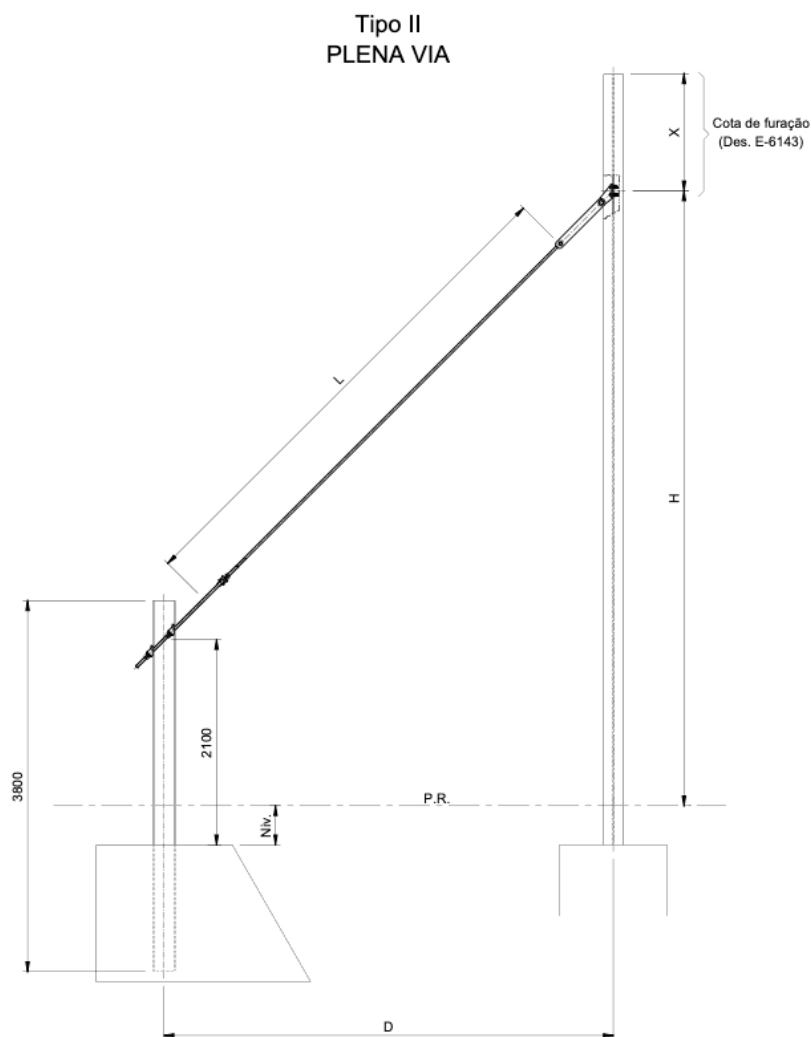


Figura 14 - Esquema do Espiamento (des. E-1607)

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:

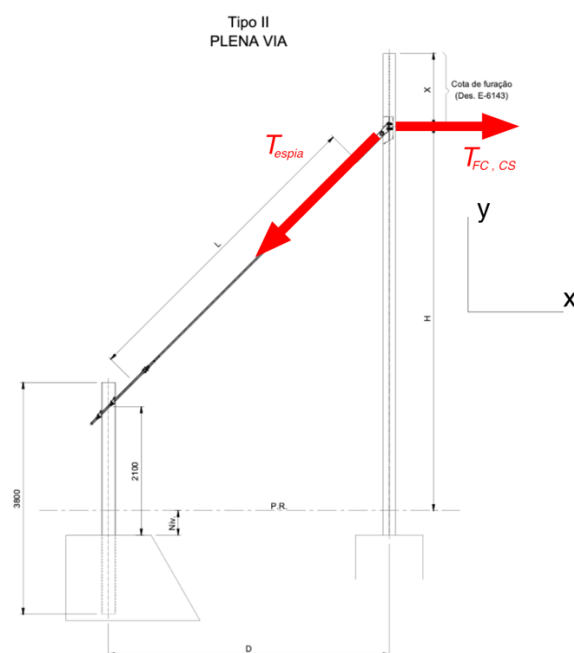


Figura 15 – Diagrama de Forças sobre o poste (des. E-1607)

O diagrama do corpo livre do poste tipo permite determinar o valor da tensão (T) da espia que é transmitida ao postaleta.

$$F_{CS,FC} = (1400 + 2000) \cdot g$$

$$F_{CS,FC} = T \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Com o diagrama do corpo livre do postaleta, determinam-se as tensões a que está sujeito nos eixos x e y.

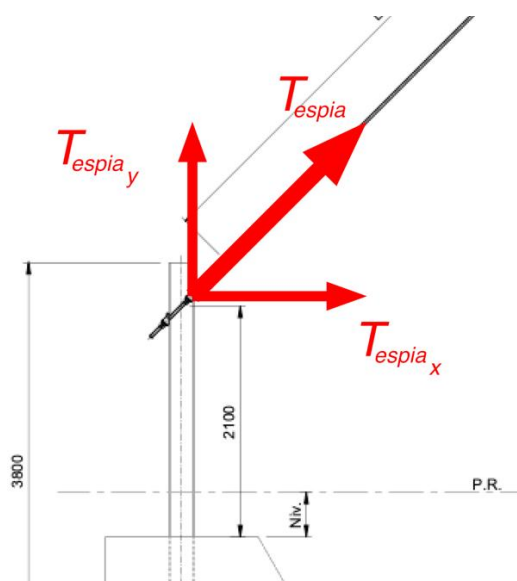


Figura 16 – Diagrama de Forças sobre o postaleta (des. E-1607)

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 postelete na ausência de vento deverá ser inferior a 1,2% da altura do postelete 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 postelete (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 seleccionados para cada caso:

Caso	Descrição	Poste seleccionado
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).

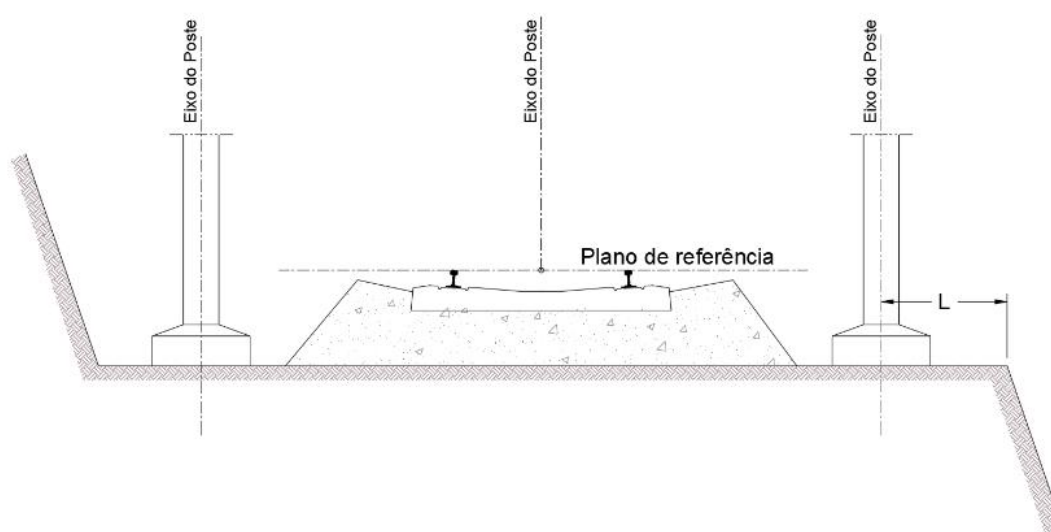


Figura 1 – Perfil transversal da plataforma da via

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 espiaamento sobreelevado	Terreno “rochoso”	0,4
AsPAn	Paralelepípedo armado para espiaamento 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

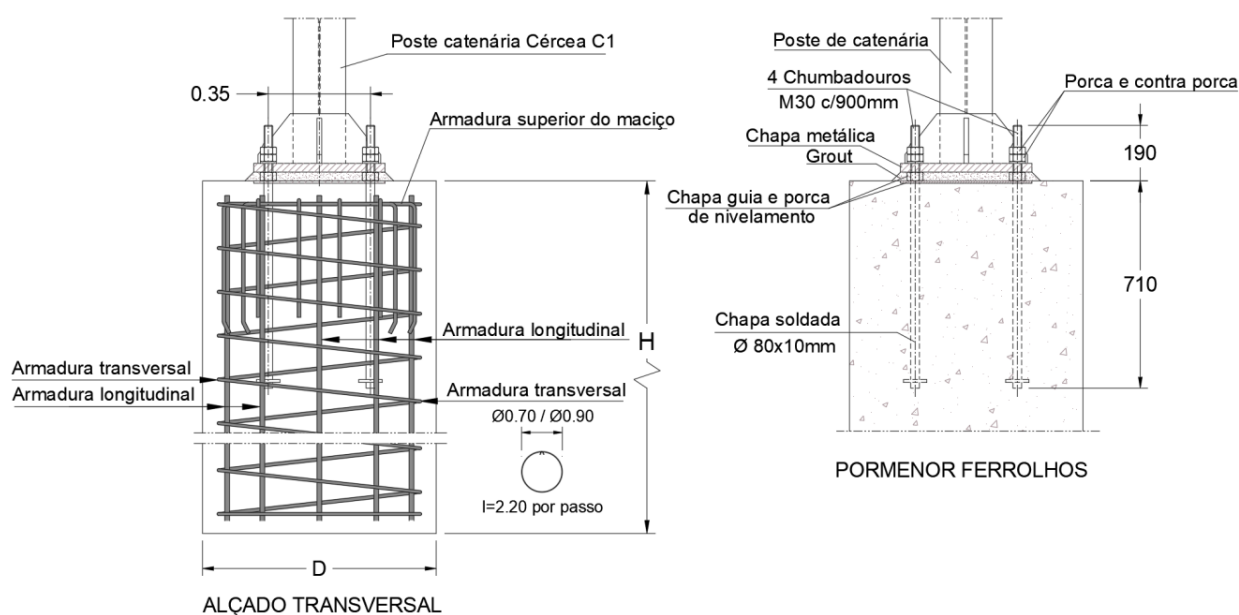


Figura 2 – Detalhe de Maciços em Talude. Armados com chumbadouros (CAnt)

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

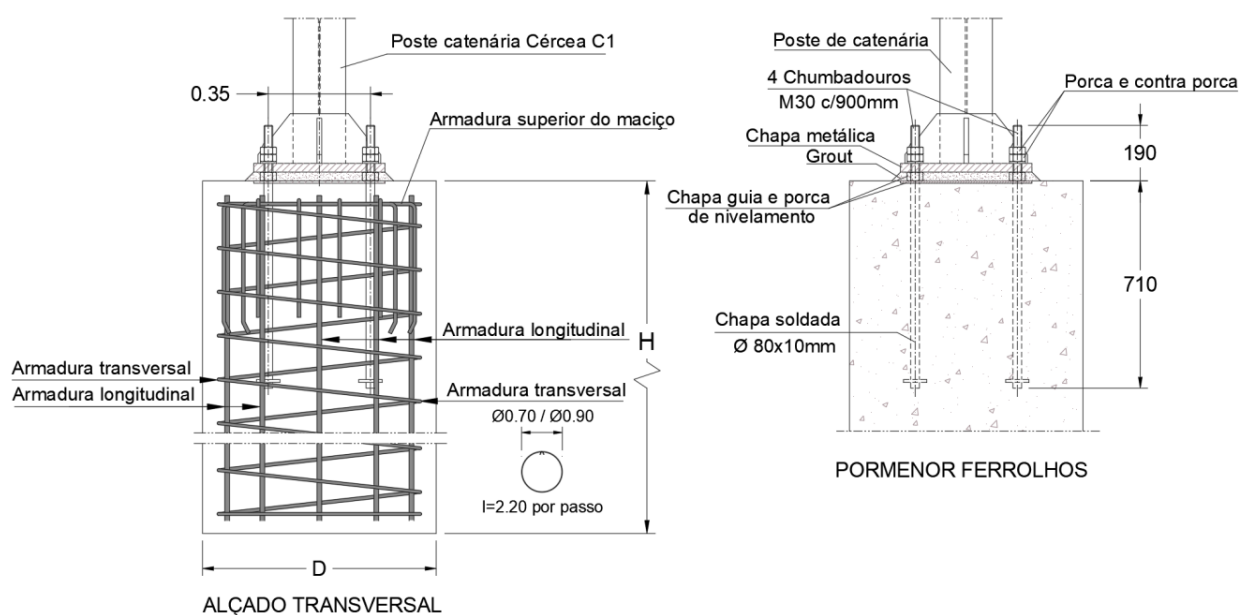


Figura 3 – Detalhe de Maciços em escavação. Armados com chumbadouros (CAne)

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

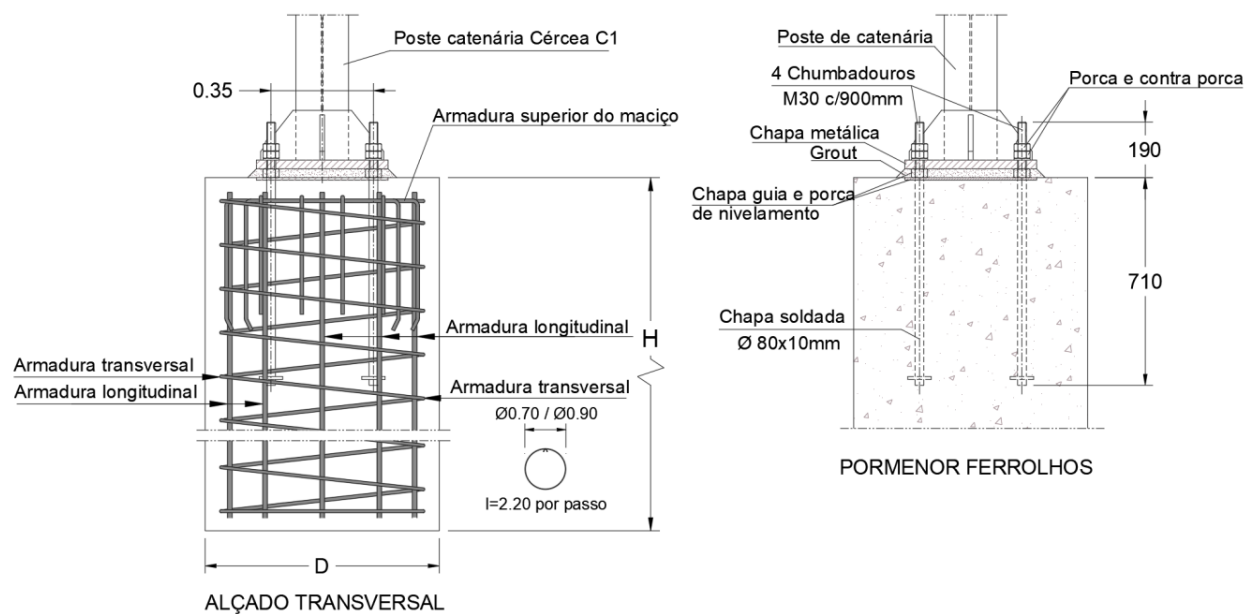


Figura 4 – Detalhe de Maciços em terreno rochoso. Armados com chumbadouros (CAne)

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 (m³)	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

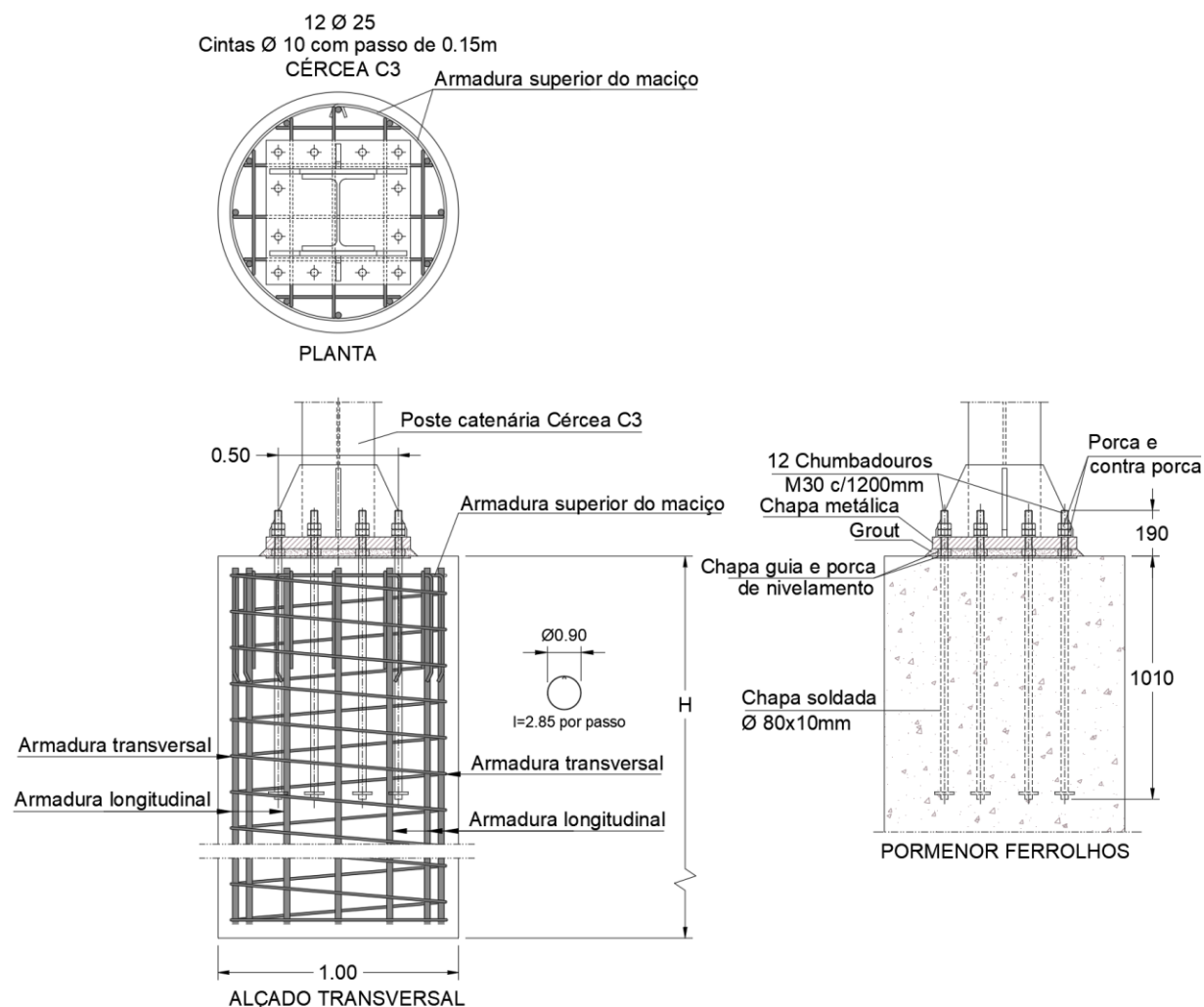


Figura 5 – Detalhe de maciços de amarração. Armados com chumbadouros – Terreno normal (AsCAN)

Quadro 6 – Maciços Normalizados AsCAr (cilíndrico) – Espiamento em terreno “rochoso” (0,4 MPa)

Tipo de Maciço	Momento na base (daNm)	Dimensões – D (m)	Dimensões – H (m)	Volume (m³)	Peso Armaduras (kg)	Postalete	Desenho
0 AsCAr	1.300	1,00	2,60	2,042	118,81	HE240B	EC-315 Ref.4
1 AsCAr	2.500	1,00	3,40	2,670	152,02	HE240B	EC-315 Ref.8
2 AsCAr	3.400	1,00	4,00	3,142	242,95	HE320B	EC-316 Ref.14

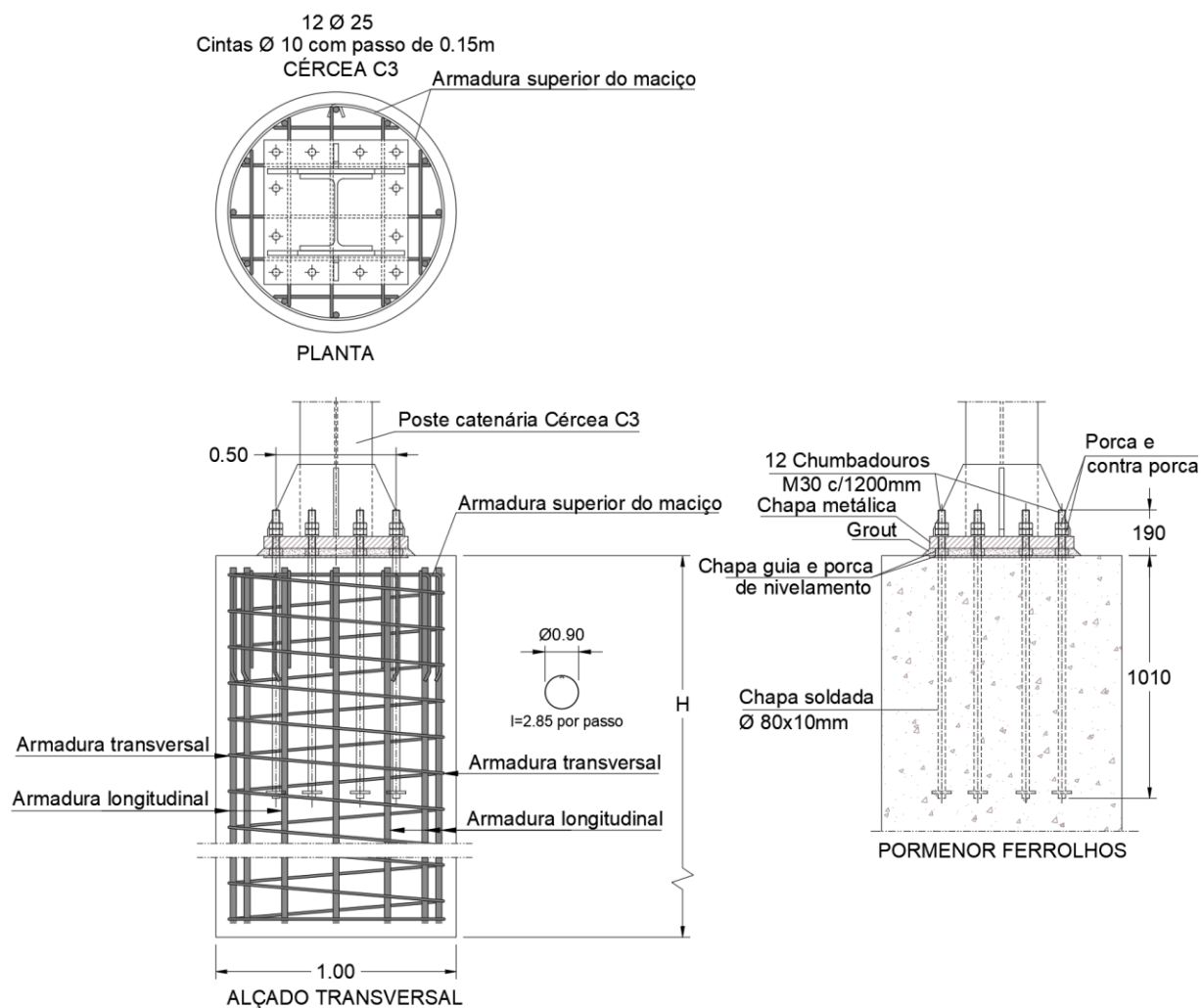


Figura 6 – Detalhe de maciços de amarração. Armados com chumbadouros – Terreno rochoso (AsCAR)

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

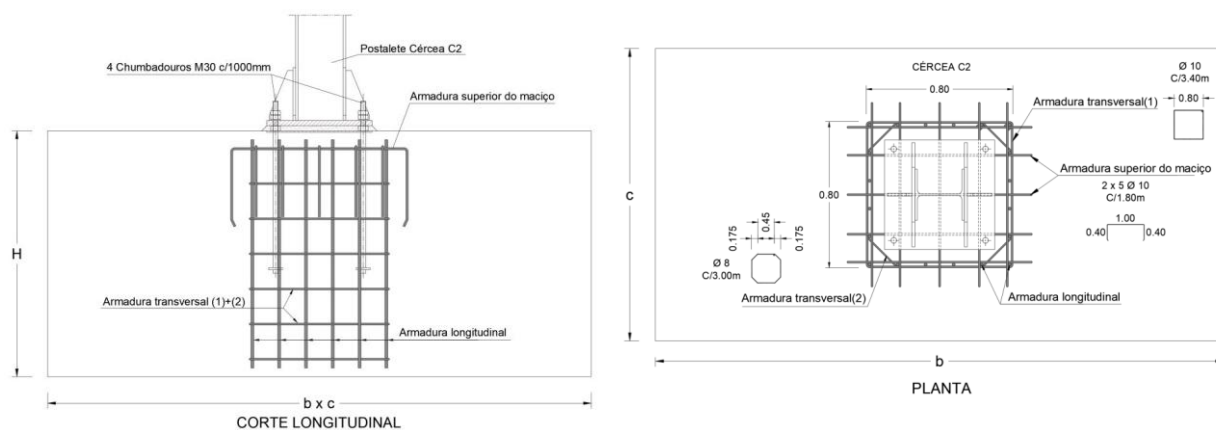


Figura 7 – Detalhe de maciços de amarração. Armados com chumbadouros (AsPan)

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:

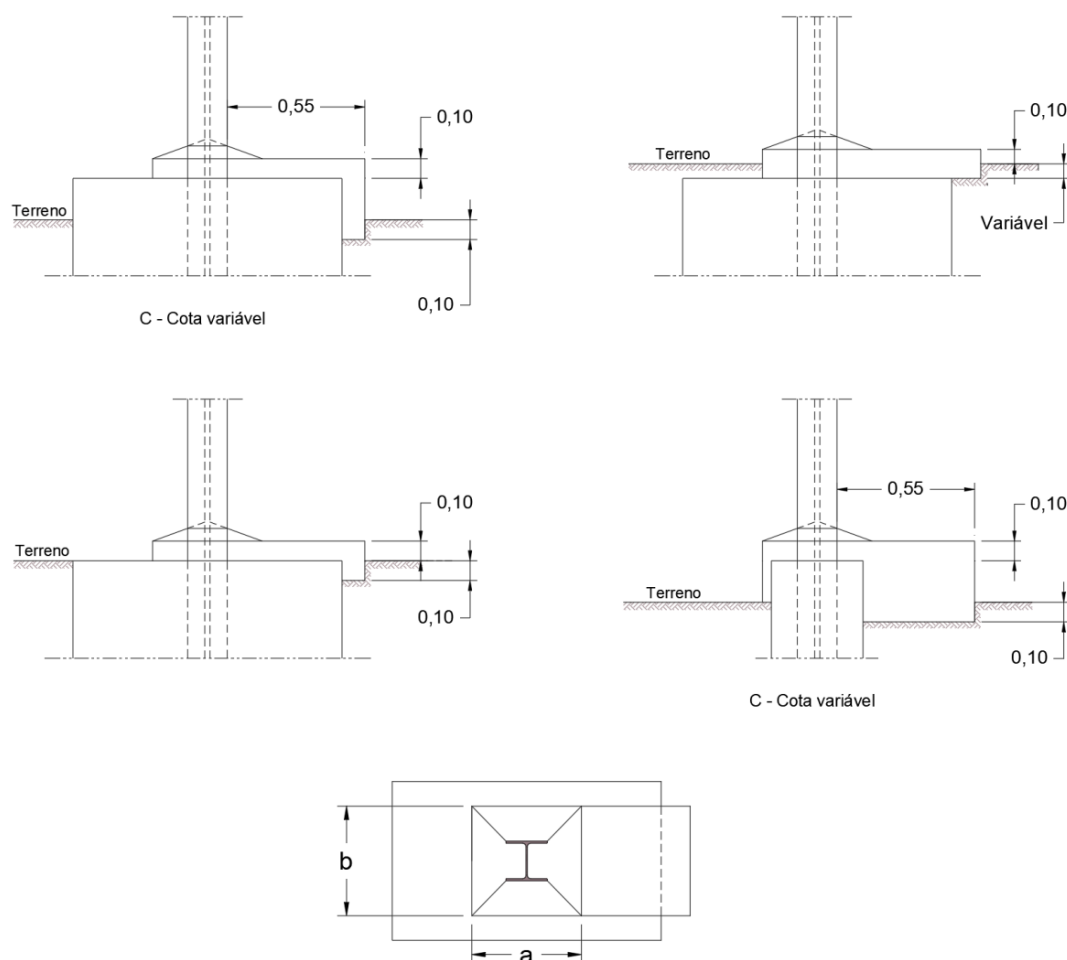


Figura 8 – Detalhe de maciços para assentamento de contrapesos. Equipamentos tensores com compensação conjunta (FC+CS). LP12 e LP10

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:

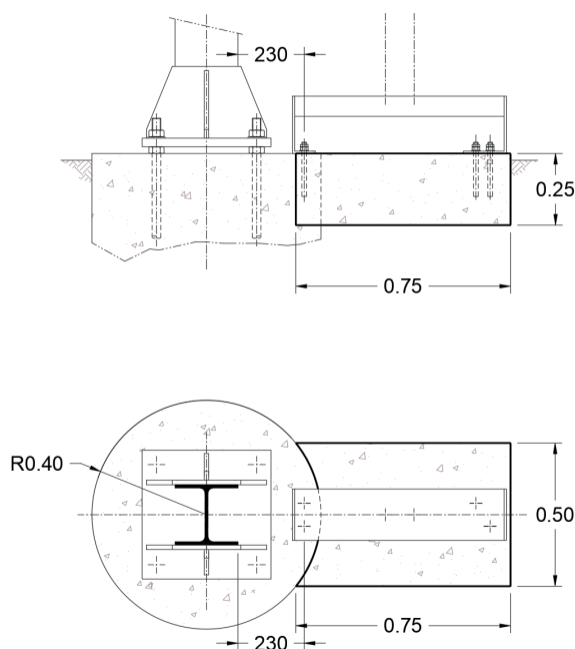


Figura 9 – Detalhe de maciços para assentamento de contrapesos LP300. Perfil HE220A.

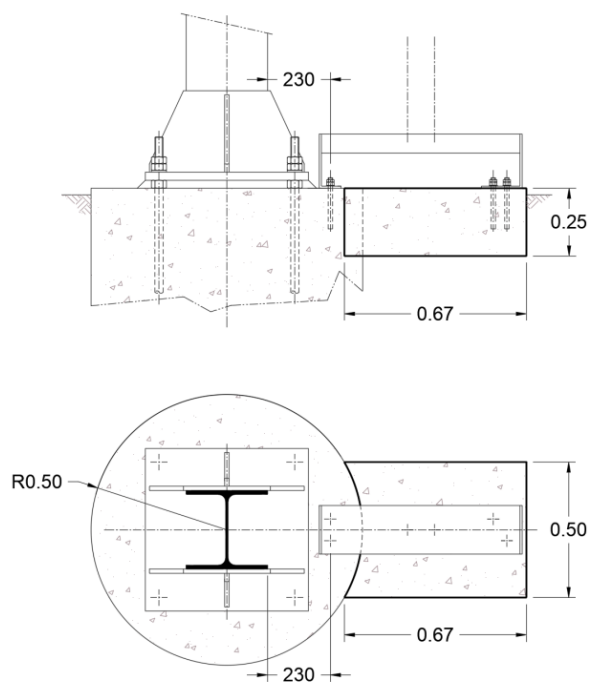
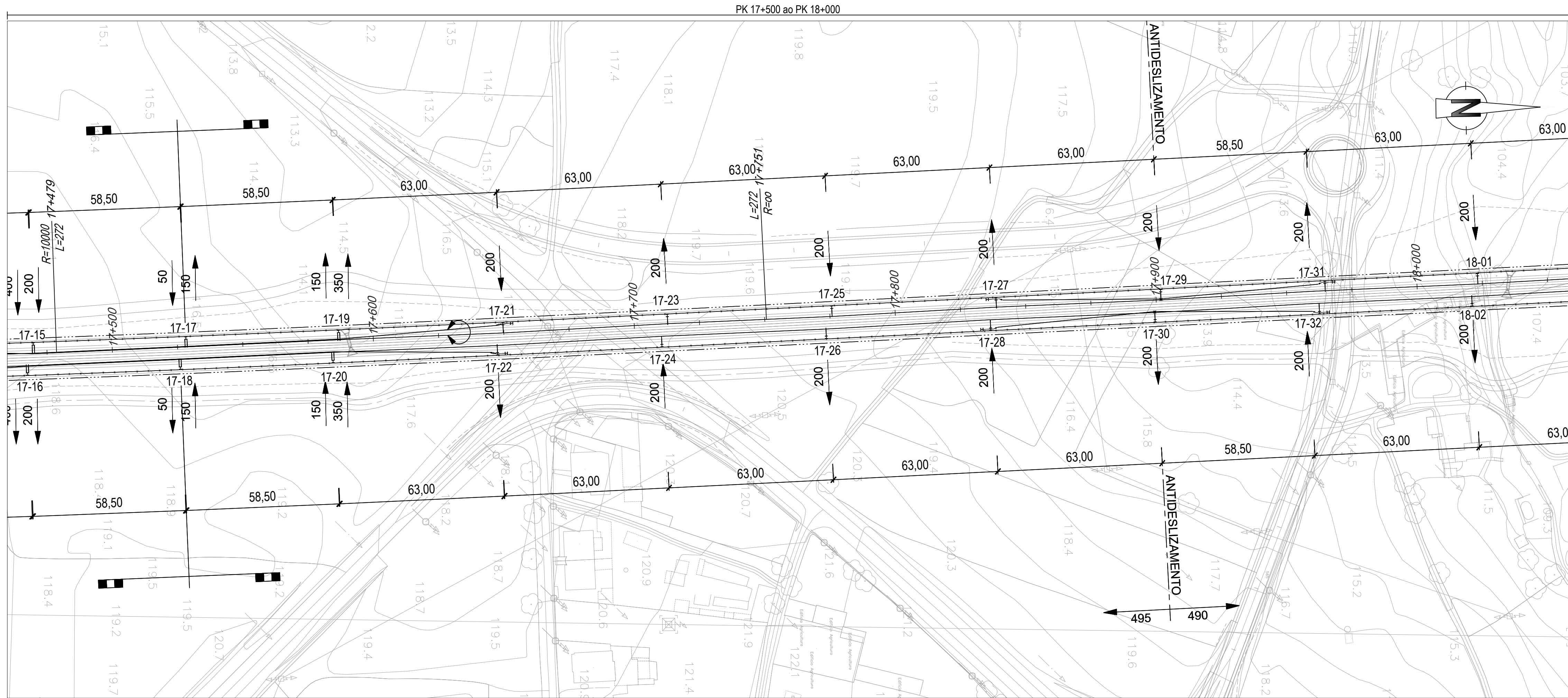
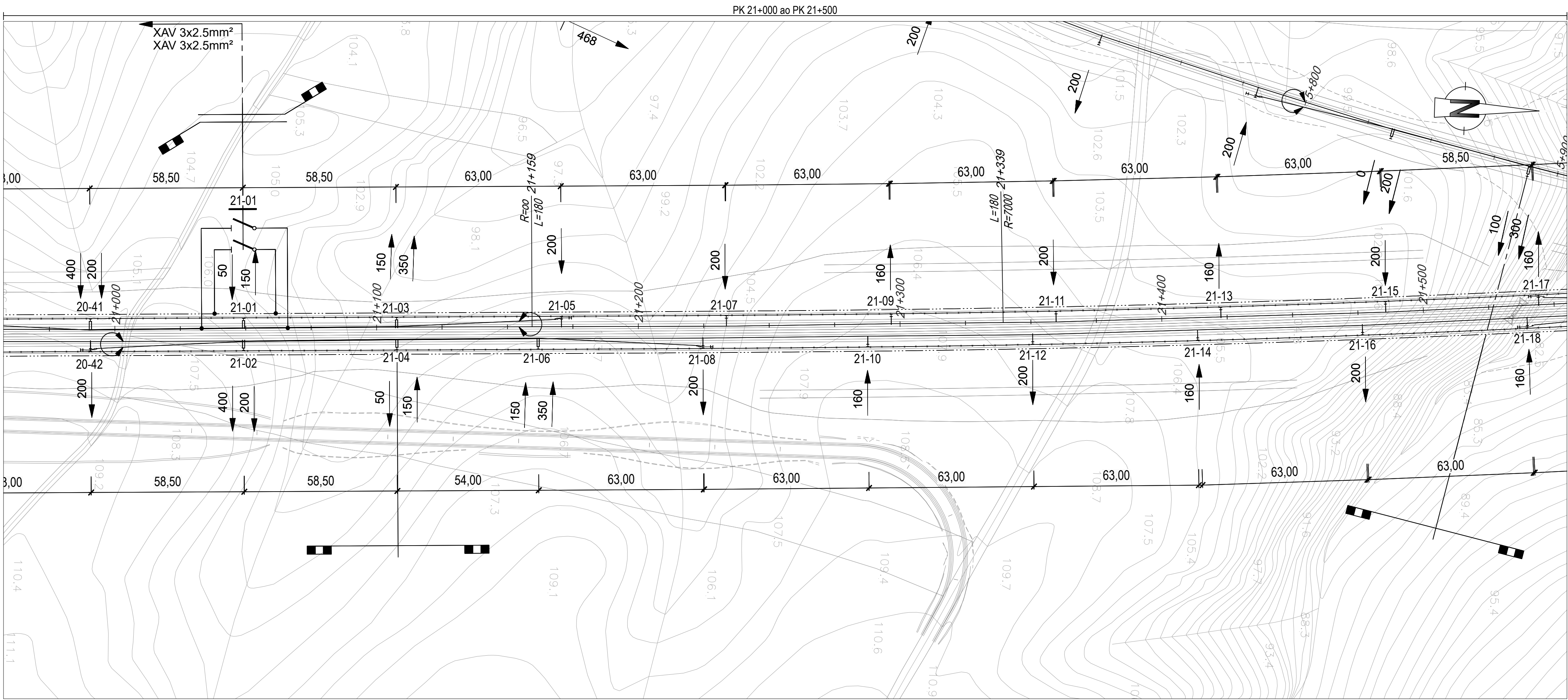
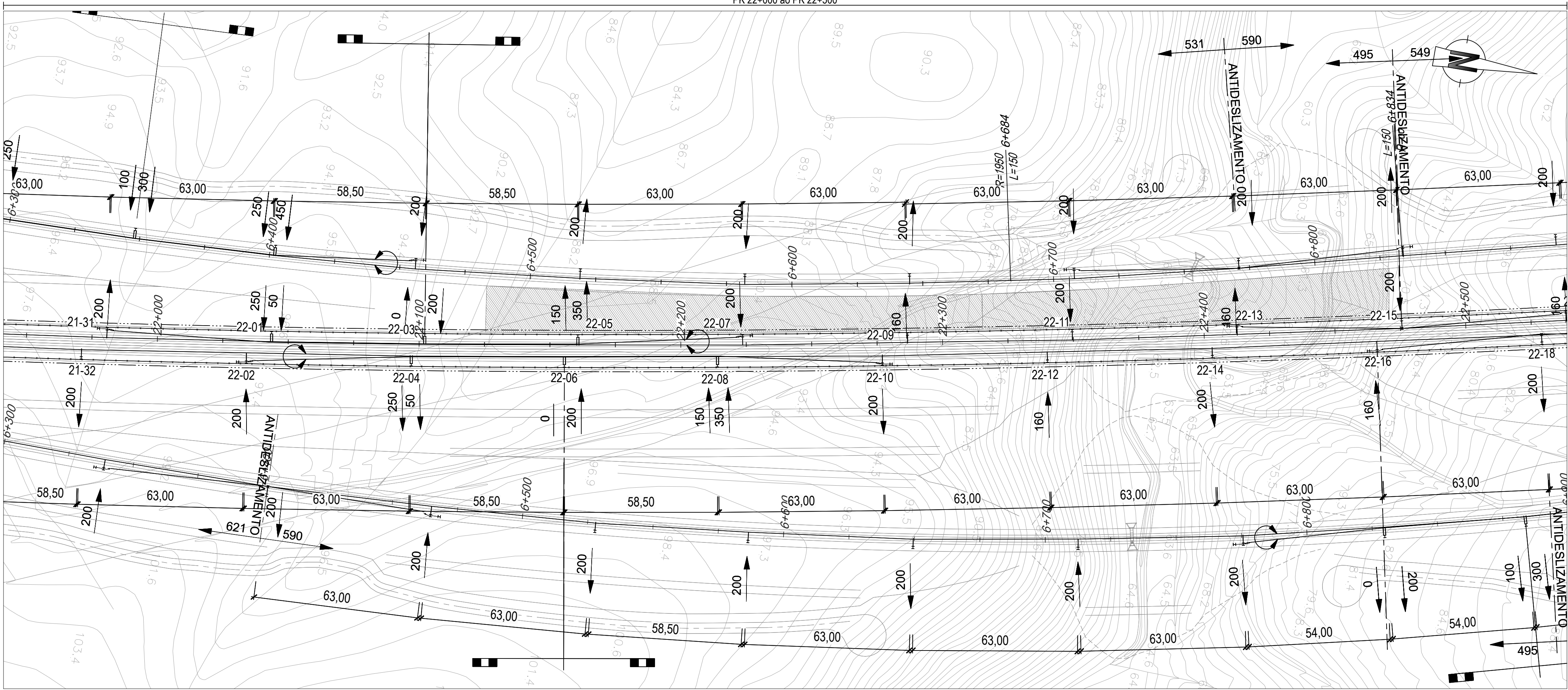


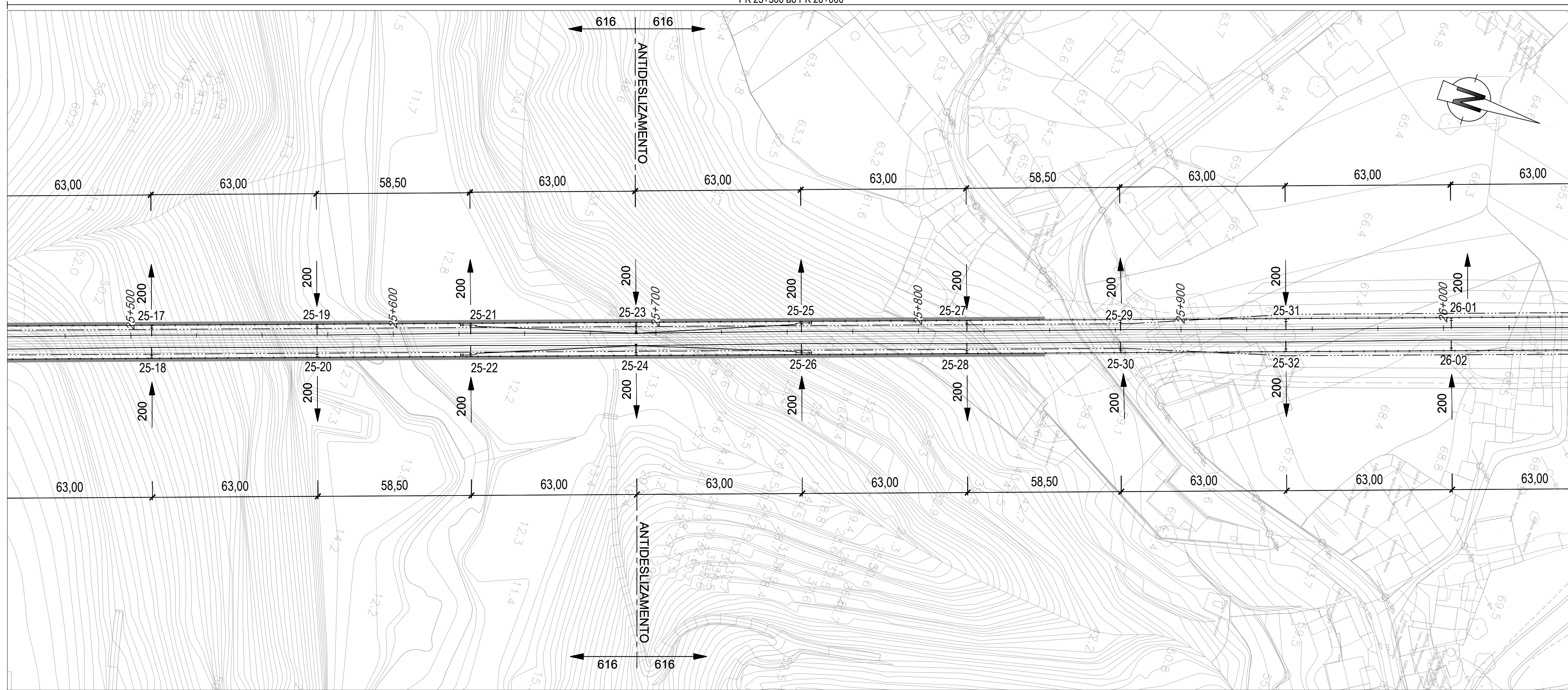
Figura 10 – Detalhe de maciços para assentamento de contrapesos LP300. Perfil HE320B.

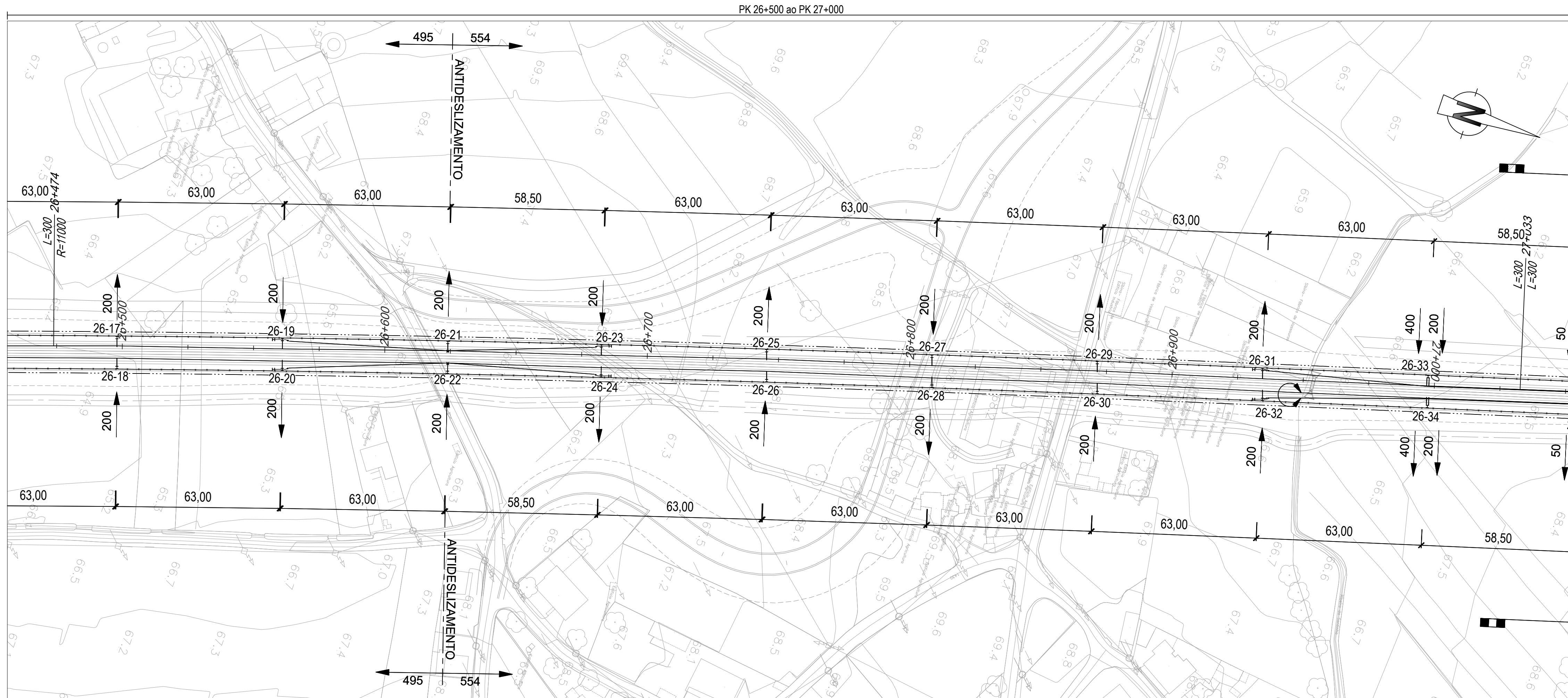


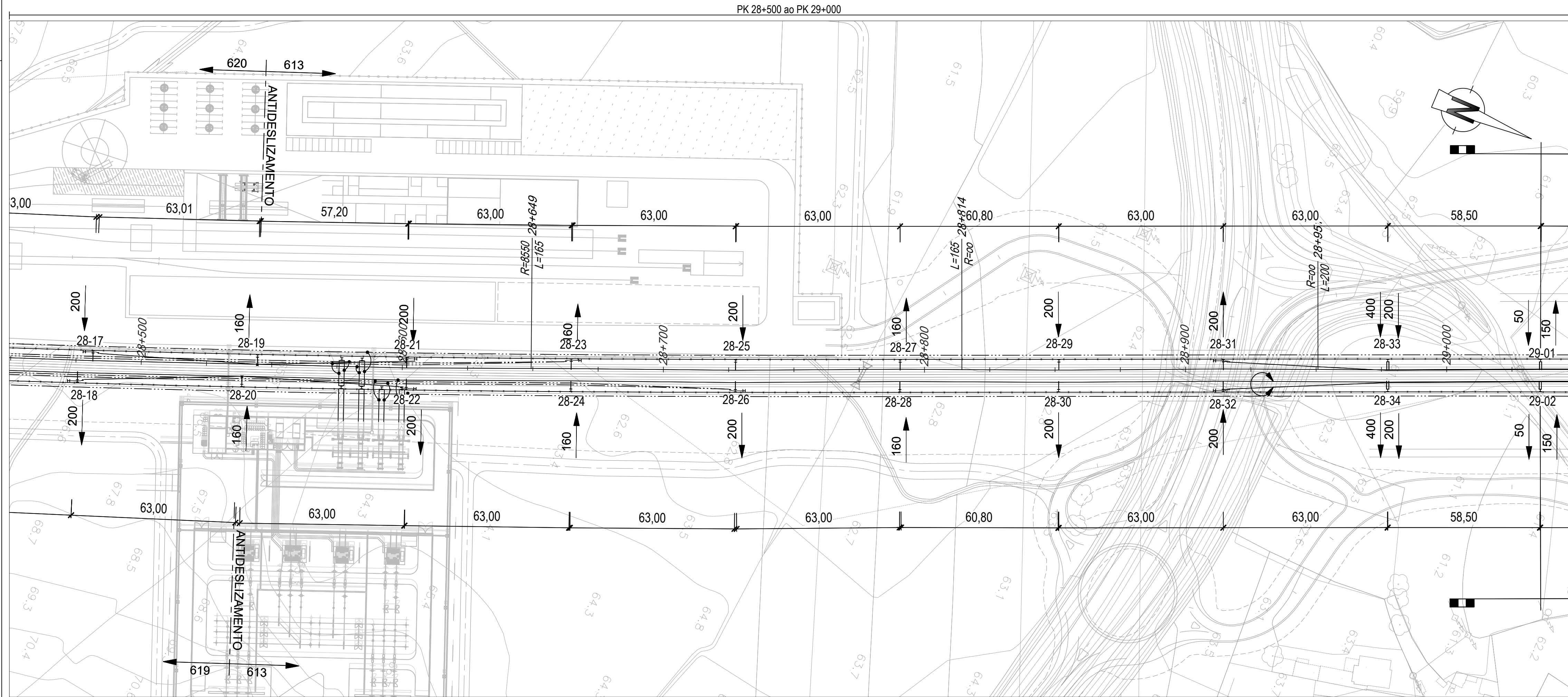


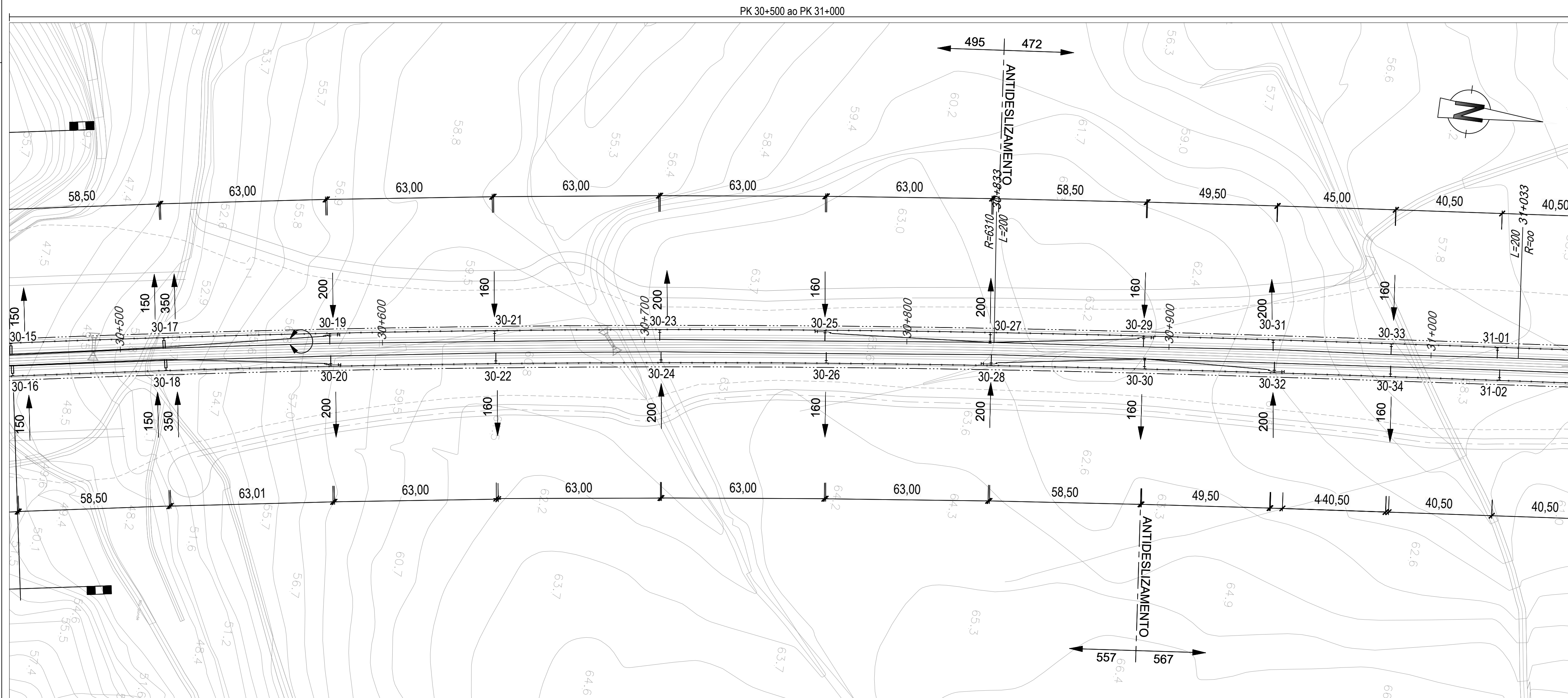
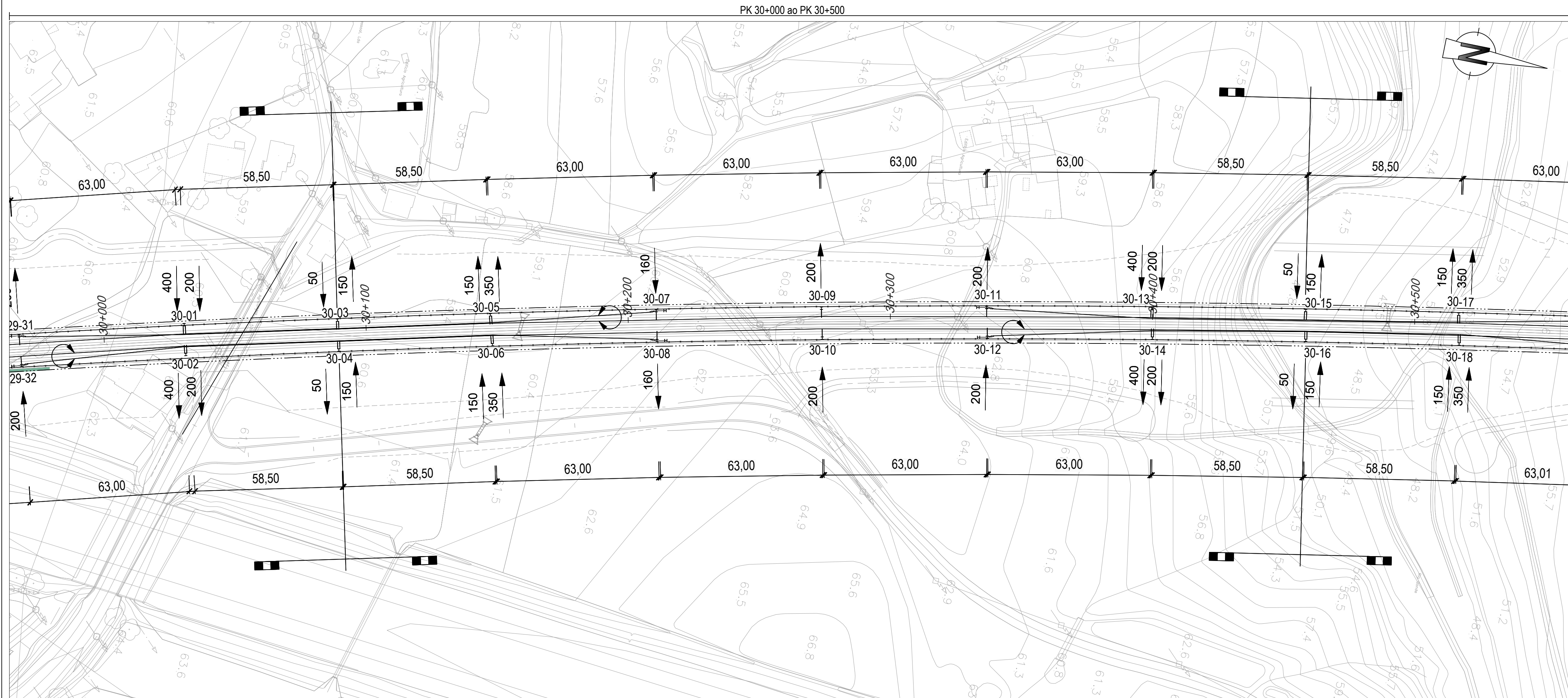
PK 22+000 ao PK 22+500

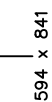












			  						O Gestor do Projeto O Responsável Unidade O Responsável Departamento O Gestor			Projeto: LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÁ) E LISBOA Local: TROÇO PORTO (CAMPANHÁ) A OUA SubTROÇO A2 - KM 15+500 KM 33+200			Código Documento: PF-102A2-PR-07-01-00-00-232-00 Nº Registo DR								
												Data: 14.08.2025			N.º de Ocorr.			Versão					
			Código Projeto			Órgão			Exponibilidade			V07 - CATENÁRIA E ENERGIA DE TRACÇÃO CATENÁRIA			CAT. 232			00					
00 14.08.2025			Edição inicial			Ficheiro: PF-102A2-PR-07-01-00-00-232-00.dwg			Empreendimento			Título do Documento			Escalas								
Rev. Data			Descrição			Responsável			Projeto: Nicolás Piedrafra			Desenho: Ángel Alonso			Valido: Daniel Leite			Fase			Projeto de Execução		
															PLANTA DE PIQUETAGEM PK 031.000 a PK 032.000			 1:1000					

