



ENDESA GENERACIÓN PORTUGAL (EGP)

LINHA CONCAVADA – ABRANTES , A 400 KV

PROJETO LICENCIAMENTO DA LINHA AÉREA

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E ELETROMECAÑICAS

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Revisão 01

Porto, 8 de agosto de 2025

	DATA	DESCRIÇÃO	Elaborado	Verificado	Aprovado
00	27/06/2025	Emissão inicial	JCM	MLP	RAU
01	08/08/2025	Alteração da posição do apoio P1	JCM	MLP	RAU

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado por:	José Carlos Martins		08/08/2025
Verificado por:	Marcelo Pereira		08/08/2025
Aprovado por:	Raúl Angulo		

ENDESA GENERACIÓN PORTUGAL S.A.

LINHA CONCAVADA – ABRANTES, A 400 kV

PROJETO LICENCIAMENTO DA LINHA AÉREA

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E ELETROMECÂNICAS

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

ÍNDICE GERAL

1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	6
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	6
1.2	CARACTERÍSTICAS DA LINHA DE LIGAÇÃO, A 400 KV	7
1.3	IMPACTE AMBIENTAL	8
1.3.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	8
1.3.2	PLANO DE PREVENÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (PPGRCD)	9
1.4	CRITÉRIOS TÉCNICOS GERAIS	9
2	EQUIPAMENTO	11
2.1	TIPO E CARATERÍSTICAS GERAIS	11
2.2	APOIOS	11
2.3	FUNDAÇÕES.....	12
2.4	CABOS.....	13
2.4.1	ASPETOS GERAIS DO DIMENSIONAMENTO.....	13
2.4.2	DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA ASSOCIADAS A CABOS	15
2.5	ACESSÓRIOS DOS CABOS CONDUTORES E DE GUARDA	16
2.6	AMORTECEDORES DE VIBRAÇÕES	17
2.7	CADEIAS DE ISOLADORES	18
2.7.1	ASPETOS DE DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO.....	18
2.7.2	ACESSÓRIOS DE CADEIAS	20
2.7.3	FIXAÇÃO À ESTRUTURA	20
2.8	COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO	21
2.9	CIRCUITO DE TERRA DOS APOIOS.....	21
2.9.1	NORMALIZAÇÃO ADOTADA	21
2.9.2	CONSTITUIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS DE TERRA.....	23
2.10	CONJUNTOS SINALÉTICOS	24
3	CÁLCULOS	24
3.1	CÁLCULOS ELÉTRICOS.....	24
3.1.1	RESISTÊNCIA ELÉTRICA LINEAR DOS CONDUTORES	24
3.1.2	CAPACIDADE TÉRMICA.....	25
3.1.3	EFEITO COROA. CAMPO ELÉTRICO CRÍTICO. PERDAS POR EFEITO COROA	28

3.1.4	RUÍDO ACÚSTICO	30
3.1.5	INTERFERÊNCIAS RADIOELÉTRICAS	34
3.1.6	CONSTANTES ELÉTRICAS DA LINHA	35
4	DIRETRIZ DA LINHA	35
4.1	LOCALIZAÇÃO	35
5	TRAVESSIAS E CRUZAMENTOS DE VIAS E INFRAESTRUTURAS	36
5.1	TRAVESSIAS DE ESTRADAS	36
5.2	TRAVESSIAS DE SERVIDÕES DE VIAS-FÉRREAS	36
5.3	TRAVESSIAS DE CURSOS DE ÁGUA	36
5.4	SERVIDÕES AERONÁUTICAS CIVIS E MILITARES	37
5.5	CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES	37
5.6	CRUZAMENTOS COM OUTRAS LINHAS ELÉTRICAS AÉREAS	38
5.7	CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM GASODUTOS	38
5.8	CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM CONDUTAS DE ÁGUA	38
5.9	CRUZAMENTOS COM FEIXES HERTZIANOS	38
6	BALIZAGEM AÉREA	38
6.1	SINALIZAÇÃO PARA AERONAVES	38
6.1.1	BALIZAGEM DIURNA	39
6.1.2	BALIZAGEM NOTURNA	39
6.2	SINALIZAÇÃO PARA AVES	39
7	ANÁLISE DE RISCOS ORIGINADOS PELA PRESENÇA E FUNCIONAMENTO DAS LINHAS	40
7.1	INCÊNDIOS	40
7.2	QUEDA DE APOIOS OU DE CABOS	41
7.3	CONTACTOS ACIDENTAIS COM PEÇAS EM TENSÃO	42
7.4	TENSÕES INDUZIDAS	43
7.5	RELAÇÃO DE OBSTÁCULOS A LIGAR À TERRA E DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE TERRA	44
8	EFEITOS DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	45
8.1	VALORES LIMITES	45
8.2	CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO	46
8.3	CÁLCULO DO CAMPO MAGNÉTICO	49
8.4	MEDIDAS IMPLEMENTADAS NO PROJETO PARA MINIMIZAÇÃO DA EXPOSIÇÃO	50
9	ANÁLISE DE RISCOS ORIGINADOS EM FASE DE CONSTRUÇÃO DAS LINHAS	51
9.1	RISCOS ASSOCIADOS A ORGANIZAÇÃO DE ESTALEIRO	53
9.2	RISCOS ASSOCIADOS À EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES	53
9.3	RISCOS ASSOCIADOS À ASSEMBLAGEM E ARVORAMENTO DE APOIOS	53
9.4	RISCOS ASSOCIADOS AO DESENROLAMENTO E FIXAÇÃO DE CABOS	53

<u>10</u>	<u>OUTROS DOCUMENTOS</u>	<u>53</u>
<u>11</u>	<u>ELEMENTOS DO PROJETO DE LICENCIAMENTO</u>	<u>54</u>

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - CARATERÍSTICAS GERAIS DOS APOIOS	11
TABELA 2 - FUNDAÇÕES CARACTERÍSTICAS PARA OS APOIOS UTILIZADOS NA LINHA EM PROJETO	12
TABELA 3 - DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA	16
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DA POLUIÇÃO AO LONGO DA LINHA	18
TABELA 5 - TIPO DE CADEIAS A APLICAR	19
TABELA 6 - DISTÂNCIAS SOB CARGA DE VENTO COM EXCEÇÃO DO VENTO EXTREMO EN50341 .	20
TABELA 7 - LIMITES ESPECIFICADOS PARA A TENSÃO DE CONTACTO E DE PASSO	22
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DO TIPO DE CIRCUITO DE TERRA APRESENTADO	23
TABELA 9 - CORRENTES DE DEFEITO TRIFÁSICO PREVISTAS	27
TABELA 10 - VALORES OBTIDOS	27
TABELA 11 - CAMPO ELÉTRICO MÁXIMO À SUPERFÍCIE	28
TABELA 12 - PERDAS ANUAIS	30
TABELA 13 - PROBABILIDADE MÉDIA PARA CADA ZONA	32
TABELA 14 - RUÍDO AMBIENTE PREVISTO	34
TABELA 15 - LIMITES MÁXIMOS INDICADOS PELO CISPR	34
TABELA 16 - GRANDEZAS DIRETAS	35
TABELA 17 - GRANDEZAS HOMOPOLARES	35
TABELA 18 - LOCALIZAÇÃO DA LINHA, SEGUNDO A CARTA ADMINISTRATIVA OFICIAL DE PORTUGAL	35
TABELA 19 - TRAVESSIAS DE ESTRADAS	36
TABELA 20 - TRAVESSIAS DE CURSOS DE ÁGUA	37
TABELA 21 - CRUZAMENTOS COM OUTRAS LINHAS ELÉTRICAS	38
TABELA 22 - LIMITES DE EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS A 50 HZ	45
TABELA 23 - VALORES CALCULADOS DO CAMPO ELÉTRICO	49
TABELA 24 - VALORES CALCULADOS DO CAMPO MAGNÉTICO	50

ENDESA GENERACIÓN PORTUGAL S.A.

LINHA CONCAVADA – ABRANTES, A 400 KV

PROJETO LICENCIAMENTO DA LINHA AÉREA

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E ELETROMECÂNICAS

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A presente memória descritiva diz respeito ao Projeto de Licenciamento da linha elétrica a 400 kV que fará a ligação entre a Subestação da Central Fotovoltaica de Concavada (SE Concavada) e o Posto de Corte de Abrantes (PC Abrantes). Esta infraestrutura tem como finalidade reforçar a capacidade da Rede Nacional de Transporte (RNT) e garantir o escoamento da energia elétrica produzida no cluster do Pego para a Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). A SE Concavada assumirá a função de ponto agregador de toda a energia proveniente das diferentes centrais de produção que compõem este cluster, concentrando e injetando na RNT a totalidade da potência gerada. Assim, a presente solução desempenha um papel estruturante no sistema elétrico nacional, ao constituir o ponto de interligação responsável pela injeção integral da potência associada a este cluster.

O circuito em projeto visa estabelecer a ligação entre a SE Concavada e o PC Abrantes, constituindo uma infraestrutura estratégica para o reforço da robustez e da capacidade da Rede Nacional de Transporte (RNT), com um contributo determinante para a integração eficiente da produção de energia de origem renovável e para o cumprimento das metas nacionais no âmbito da transição energética.

O projeto da Central Fotovoltaica de Concavada nasce com o intuito de aproveitar o recurso Sol, cujo potencial de exploração em Portugal é extremamente elevado, em comparação com outros países europeus em que não tem uma expressão quantitativa tão favorável. Em Portugal, as potencialidades de aproveitamento da energia solar, mesmo que em pequenas escalas é deveras considerável e substancial no sentido da substituição dos combustíveis fósseis.

O *mixing* energético nacional apresenta, uma lacuna evidente, que se traduz no facto de nos anos secos em que a produção hídrica diminui drasticamente, o país ser obrigado a importar essa energia de Espanha e de França, aumentando simultaneamente a produção das centrais a gás (combustível também importado), e em ambos os casos fazendo sair recursos financeiros que se traduzem num desequilíbrio das contas com o exterior nos anos secos.

Assim, considera o proponente que o recurso solar pode no momento atual, e com o correto dimensionamento, ser competitivo em termos de mercado, contribuindo para

um aumento da autonomia energética do país, evitando a dependência de recursos como o gás natural e o carvão (necessariamente importados), a que acresce o facto de um contributo decisivo no aspeto de segurança energética nacional ao funcionar em “tandem” com a produção hídrica quando observado na perspetiva das características do *mixing* da produção energética.

Importa ter em conta os objetivos estabelecidos pelo país, o Plano Nacional Integrado de Energia e Clima (PNEC 2030) é o principal instrumento de política energética e climática para o período 2021-2030, tendo sido aprovado em Conselho de Ministros de 21 de maio de 2020 e foi publicado através da Resolução de Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de julho. As medidas nele incluídas terão um papel fundamental para assegurar a concretização dos objetivos e metas, em matéria de energia e clima, definidos para Portugal no horizonte 2030. Este plano substitui o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) após 2020 e está igualmente orientado para os objetivos a longo prazo de Portugal, rumo à neutralidade carbónica, através da articulação com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050).

A construção desta Central Fotovoltaica contribui, assim, para alcançar as metas que Portugal assumiu referentes ao Quadro da Diretiva Comunitária, relativa a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis de energia. Após as fortes apostas na energia hídrica e eólica, a energia solar posiciona-se como a tecnologia com maior potencial de desenvolvimento em Portugal durante a próxima década. O cumprimento destas metas associa-se, de forma direta, a necessidade de redução das emissões de CO₂ e dos outros gases com efeito de estufa, assim como a diminuição da dependência no abastecimento de energia face ao exterior.

Na perspetiva de desenvolvimento de trabalho conjunto (técnico/económico e ambiental), sobre a área disponível para instalação da Central Fotovoltaica de Concaçada, foram desenvolvidos os necessários estudos.

1.2 CARACTERÍSTICAS DA LINHA DE LIGAÇÃO, A 400 kV

A linha que fará a ligação entre a SE Concaçada e o PC Abrantes será executada como uma linha aérea de terno simples a 400 kV, com um total de 18 apoios. A disposição dos condutores será a seguinte: dois cabos condutores por fase (em configuração geminada), montados:

- Em esteira horizontal entre os apoios P1 e P8;
- Em triângulo entre os apoios P9 e P10;
- Em esteira vertical entre os apoios P11 e P18.

Serão utilizados apoios das famílias Q, DL e EL, cabos condutores do tipo ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A), e dois cabos de guarda ao longo da linha.

Entre os apoios P1 e P11, será instalado um cabo de guarda OPGW (AS/AA 39/94 AST 2x20 FO) e um cabo tipo DORKING (96-AL1/56-ST1A).

A partir do apoio P11 até ao P18, serão instalados dois cabos OPGW do mesmo tipo.

De notar que foram utilizados apoios normalizados para linhas duplas de 400 kV, nos últimos 2.14 km da Linha Concavada - PC Abrantes, a 400 kV, de forma a assegurar futuras ligações no Poste de Corte de Abrantes.

A linha aérea, a 400 kV que fará a ligação entre a SE Concavada e o PC Abrantes, no concelho de Abrantes, terá uma extensão total de 5.63 km.

1.3 IMPACTE AMBIENTAL

1.3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Estudo de Impacte Ambiental (EIA) relativo à Linha de Muito Alta Tensão entre a Central Fotovoltaica de Concavada (SE Concavada) ao Posto de Corte de Abrantes (PC Abrantes), foi desenvolvido pela Endesa Generacion Portugal, S.A..

A Autoridade de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) é a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), nos termos do definido nas subalíneas i) e ii) do n.º 1 do Art. 8º do Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 47/2014, de 24 de março, Decreto-Lei n.º 179/2015, de 27 de agosto, e Lei n.º 37/2017, de 2 de junho, e Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro, que o republica.

Nos termos do estabelecido no Regime Jurídico de Avaliação de Impacte Ambiental (RJIA), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 151-B/2013 acima mencionado (e suas alterações), o projeto está sujeito a Processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) pelo seguinte enquadramento:

- Artigo 1.º, n.º 3, alínea a) e alínea b) e subalínea i) do Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, na sua redação atual;
- Não são afetadas áreas sensíveis definidas nos termos do disposto na alínea a) do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, na sua redação atual.

O procedimento de AIA teve início a 18 de janeiro de 2024, data em que se considerou estarem reunidos todos os elementos necessários à correta instrução do processo.

Concluído o processo de Avaliação de Impacte Ambiental, decorrente do Processo de AIA n.º 3710 (PL20240105000110), teve como resultado a 22 de outubro de 2024, a emissão da Declaração de Impacte Ambiental com decisão ambiental favorável condicionada nos termos da legislação em vigor.

1.3.2 PLANO DE PREVENÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (PPGRCD)

O Setor da Construção Civil é responsável por uma parte significativa dos resíduos gerados. A gestão destes Resíduos de Construção e Demolição (RCD) tem sido regulada pelo regime geral da gestão dos resíduos, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de setembro, bem como pela legislação específica referente aos fluxos especiais. Têm-se verificado igualmente alguns constrangimentos quanto às soluções técnicas de valorização dos RCD, incluindo ao nível de triagem, e aos locais apropriados e disponíveis para o seu armazenamento. Da conjugação dos fatores enunciados resultam situações ambientalmente indesejáveis pelo que surgiu a necessidade de criar um regime jurídico próprio (Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de março e da Portaria 417/2008 de 11 de junho).

O presente projeto será acompanhado de um Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (PPGRCD), que assegura o cumprimento dos princípios gerais de gestão de RCD e das demais normas.

1.4 CRITÉRIOS TÉCNICOS GERAIS

Do ponto de vista técnico, o projeto a que se refere a presente memória, será constituído pelos elementos estruturais normalmente usados em linhas do escalão de tensão de 400 kV, nomeadamente:

- Apoios reticulados em aço da família Q, normalmente utilizados em linhas aéreas simples;
- Apoios reticulados em aço da família DL e EL, normalmente utilizados em linhas aéreas dupla;
- Fundações do apoio constituídas por quatro maciços independentes formados por uma sapata e uma chaminé prismática;
- Cabo condutor, em alumínio-aço, do tipo ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A);
- Cabo de guarda, do tipo OPGW (AS/AA 39/94 AST 2x20 FO);
- Cabo de guarda, do tipo DORKING (96-AL1/56-ST1A);
- Isoladores de vidro temperado do tipo U160BS;
- Cadeias de isoladores e acessórios adequados ao escalão de corrente de defeito máxima de 50 kA;
- Circuitos de terra do apoio dimensionados de acordo com as características dos locais de implantação.

Nos aspetos técnicos regulamentares e/ou normativos, entre outros, observar-se-ão os seguintes no âmbito nacional:

- EN 50341-1 - *Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV. Part 1: General requirements-Common specifications*;
- EN 50341-3-17 - *National Normative Aspects (NNA) for Portugal*;
- Dec. Reg. 1/92 - Anexo: Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão (RSLEAT);
- Circulares da Direção Geral de Aviação Civil;
- Condicionalismos relativos aos diversos Planos de Diretores Municipais (PDM);
- Portaria 1421/2004 de 23 de novembro, que fixa os níveis de referência relativos à exposição da população aos Campos Eletromagnéticos;
- Decreto-Lei nº 11/2018 de 15 de fevereiro que estabelece os critérios de minimização e monitorização de exposição da população a CEM que devem orientar o planeamento e a construção das linhas;
- Legislação relativa à Avaliação de Impacte Ambiental (AIA);
- Legislação referente ao Domínio Hídrico;
- Legislação relativa à Reserva Agrícola Nacional (RAN), incluindo o Regime Florestal;
- Legislação relativa à Reserva Ecológica Nacional (REN);
- Lista Especificações Técnicas da REN, S.A;
- Lista de Documentos Técnicos de Referência elaborados pela REN, S.A;
- Normativos e Publicações da CEI, ISO e CENELEC aplicáveis;
- Legislação relativa a Projeto de elementos tipo de apoios;
- Regulamento de Proteção às Espécies Florestais e Agrícolas;
- Regulamento Geral do Ruído (Dec. – Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro);
- Legislação relativa a Servidões Administrativas.

e internacionais sobre os temas:

- Tensões Induzidas - *National Electrical Safety Code, USA (NESC)*;
- Perturbações Radioelétricas - *Comité International Spécial des Perturbations Radiophoniques (CISPR)*;
- Critérios de Funcionamento da Linha em Regime de Curto-circuito.

2 EQUIPAMENTO

2.1 TIPO E CARATERÍSTICAS GERAIS

No perfil e planta parcelar deste projeto estão indicados os tipos de apoios e de cabos a utilizar assim como a disposição dos condutores e sequência de fases.

2.2 APOIOS

Os apoios das famílias Q, DL e EL, e respectivas fundações, foram já licenciados como elementos tipo das linhas da RNT pelo que se referem seguidamente apenas as respetivas características gerais. Os desenhos das silhuetas dos apoios constituem o Anexo A.01.

As estruturas dos apoios são constituídas por estruturas metálicas treliçadas convencionais, formadas por perfis L de abas iguais ligados entre si diretamente ou através de chapas de ligação e parafusos. Os apoios das famílias Q, DL e EL, incluindo perfis e chapas, estão calculados para o aço de designação: Fe510C/S355JO ($\sigma_c = 355 \text{ N/mm}^2$) ⁽¹⁾.

Os parafusos são de classe 8.8, conforme desenhos de construção, de rosca métrica, segundo norma DIN 7990, normalização adotada em regra na Europa com a vantagem de possuir uma gama de espigões de comprimentos bem adaptados para a utilização em estruturas metálicas e em apoios de linhas elétricas em particular.

A proteção dos apoios contra a corrosão é assegurada por zincagem a quente, a qual tem uma espessura mínima de 70 μm nas peças com espessura inferior ou igual a 6 mm e 80 μm nas peças de espessura superior a 6 mm.

As diversas dimensões tipo, são as seguintes:

Tabela 1 - Caraterísticas gerais dos apoios

Tipo de Apoios	Altura Útil Mínima ao Solo [m]	Altura Útil Máxima ao Solo [m]	Altura Total Máxima [m]	Envergadura [m]
DLA DLR ELA ELT	24.6	52.6	75.2	17.0
QA	20.6	40.6	45.6	22.8
QRS	20.6	65.6	70.6	21.8
QS	20.6	40.6	44.6	20.0
QT	20.6	40.6	45.6	24.1

⁽¹⁾ Designação segundo EN 10025 e de acordo com EN 10027 e ECIS/IC 10.

2.3 FUNDAÇÕES

As fundações para os apoios indicados no ponto anterior são constituídas por quatro maciços de betão independente, com sapata, chaminé prismática e armadura de aço. Conforme estipula a regulamentação as fundações associadas aos apoios são dimensionadas para os mais elevados esforços que lhe são comunicados pela estrutura metálica, considerando todas as combinações regulamentares de ações. O dimensionamento destas fundações é, por sua vez, dependente das condições geotécnicas do terreno onde são implantadas.

Assim, *a priori*, as fundações são definidas para condições “médias” de terreno correspondentes a uma caracterização tipo de “areia fina e média até 1 mm de diâmetro de grão” a que correspondem as características:

- Massa Volúmica = 1600 kg/m³;
- Ângulo de Talude Natural = 30 a 32°;
- Pressão Admissível = 200 a 300 kPa.

Quanto às características do betão, em condições normais, são as que correspondem ao do betão tipo C30/37, caracterizado pela sua resistência à compressão aos 28 dias de 30 MPa (provetes cilíndricos).

As fundações são dimensionadas ao arrancamento, na generalidade dos casos abrangidos pelas condições “médias” de terreno, pelo método do peso de terreno estabilizante, calculado pelo tronco de pirâmide de abertura a 30° e desprezando a contribuição da força de atrito do terreno.

Na tabela seguinte podemos observar o tipo de fundações características para os apoios utilizados na linha em projeto:

Tabela 2 - Fundações características para os apoios utilizados na linha em projeto

Tipo de Fundação	Tipo de Apoio
DRE040	QS
DRE066	QRS
DRE101	QA
DRE124	DLR
DRE135	QT
DRE184	DLA ELA
DRE266	ELT

Na fase de piquetagem, previamente à construção, são detetadas as situações que serão objeto de dimensionamento específico do ponto de vista geométrico e geotécnico. No primeiro caso trata-se de adaptar o apoio ao terreno, utilizando pernas desniveladas ou maciços de configuração especial, no segundo caso trata-se de verificar e/ou redimensionar os maciços face aos valores que as grandezas acima referidas apresentam nos locais de implantação.

Sugere-se a realização de estudos geotécnicos à zona de implantação dos apoios para verificação das características do terreno que exijam necessidades especiais ao reforço do maciço de fundação, e que permitam a definição do tipo e classe de exposição do betão.

O Anexo A.02 contém os esquemas das fundações normais dos apoios reticulados a instalar. No Anexo A.16.1 – Medições de Fundações e Postes, apresentam-se o tipo e as quantidades de fundações normalizadas, com os respetivos volumes de escavação e betão utilizados (normalizados).

2.4 CABOS

2.4.1 ASPETOS GERAIS DO DIMENSIONAMENTO

As características mecânicas e elétricas dos cabos estão indicadas no Anexo A.04, as condições gerais de utilização são as habitualmente adotadas pela REN, S.A. neste tipo de cabos. Um dos cabos instalados na posição de cabo de guarda será de facto um cabo tipo OPGW (*Optical Ground Wire*), o qual possui no seu interior fibras óticas destinadas às funções de telemedida e telecontrole bem como de telecomunicações em geral.

2.4.1.1 ASPETOS MECÂNICOS

- Cabo Condutor: ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A);
- Cabos de Guarda: OPGW (AS/AA 39/94 AST 2x20 FO) e DORKING (96-AL1/56-ST1A).

As condições de trabalho dos cabos e de estabelecimento impostas, traduzidas na garantia de uma distância mínima ao solo de 14 metros para o nível de tensão de 400 kV, assim como a ocorrência de árvores de espécies protegidas que têm de ser preservadas, conduziram a valores dos parâmetros e trações horizontais dos cabos condutores e cabos de guarda indicados no Anexo A.07 - Condições de Regulação dos Cabos (Condutores e de Guarda). De notar que foram tidas em consideração as distâncias associadas a cabos mais conservativas, isto é, as adotadas pela REN - Rede Eléctrica Nacional, S.A., para o nível de tensão de 400 kV (Tabela 6).

Aquando da elaboração do projeto foi tida em consideração os elementos arbóreos de espécie protegida – sobreiros e azinheiras – sujeitos a inventário de quercíneas, tendo sido adotadas distâncias mínimas ao solo considerando, cumulativamente, a altura

destes elementos na sua fase adulta de 14 metros e a distância de segurança entre os cabos e as árvores, de acordo com o disposto no RSLEAT.

Estas medidas foram aplicadas com a finalidade de suprimir necessidades de mutilações de copa durante a exploração da linha nas condições atrás mencionadas.

Pode ainda acrescentar-se, que em resultado daquelas condições mecânicas, os cabos condutores ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A) não trabalharão com trações horizontais superiores a 34.50 kN (P11-P12). O EDS (*Every Day Stress*)⁽²⁾ máximo dos condutores calculado para é de 20 %.

Por sua vez, os cabos de guarda não terão trações horizontais superiores a 18.12 kN (P11-P12) e 18.54 kN (P10-P11), para o cabo OPGW (AS/AA 39/94 AST 2x20 F) e DORKING (96-AL1/56-ST1A), respetivamente. O EDS máximo dos cabos de guarda é de 12 % e 14 %, respetivamente.

A linha em projeto foi calculada para a condição de “Zona A”, garantindo as condições mecânicas exigidas na condição EDS⁽³⁾ máximo, e garantindo as condições de estabilidade das cadeias de Isoladores, foram verificados os ângulos de oscilação das cadeias de suspensão na situação convencionalmente utilizada para a verificação dos desvios máximos para a temperatura de 15°C e metade do vento máximo.

A fim de prevenir a ocorrência de defeitos nos cabos originados por dobragem excessiva nos pontos de fixação aos apoios foram determinados os ângulos de enrolamento dos cabos condutores nas pinças de suspensão e que se indicam no Anexo A.08 – Estabilidade das Cadeias de Isoladores. O ângulo máximo encontrado é de 27.00 grd (16.50 grd – lado esquerdo + 10.50 grd – lado direito) para os condutores no apoio P2. O ângulo de oscilação das cadeias de suspensão na situação convencionalmente utilizada para a verificação dos desvios máximos para a temperatura de 15°C e metade do vento máximo é de 32.67 grd, no apoio P5.

Nos vãos em que se utilizam esferas de balizagem ou BFD foi considerado:

- No caso de vãos isolados, os cabos de guarda serão amarrados;
- No caso, de vários vãos contínuos em suspensão, o primeiro e últimos vãos serão amarrados no início e no fim respetivamente

⁽²⁾ O EDS é definido em Portugal a uma temperatura dos condutores de 15°C e ausência de vento. Pretende traduzir aquelas condições atmosféricas a que corresponde um maior grau de probabilidade de ocorrência, o valor médio mais frequente. O valor percentual indicado representa a percentagem da tração nestas condições em função da tração última (i.e., de rotura) do cabo.

⁽³⁾ O EDS é definido em Portugal a uma temperatura dos condutores de 15 °C e ausência de vento. Pretende traduzir aquelas condições atmosféricas a que corresponde um maior grau de probabilidade de ocorrência, o valor médio mais frequente. O valor percentual indicado representa a percentagem da tração nestas condições em função da tração última (i.e., de rotura) do cabo.

2.4.1.2 ASPETOS ELÉTRICOS

Do ponto de vista elétrico, o cálculo efetuado para os diferentes apoios, com o cabo ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A) e para a tensão nominal da linha, conduz a um campo elétrico máximo à superfície dos condutores, para o caso mais desfavorável, de 16.04 kV/cm. Do ponto de vista das perdas por efeito de coroa, assim como do ruído acústico e interferência radioelétrica, este valor é aceitável. Por outro lado, a utilização do cabo ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A) associada às alturas ao solo impostas neste projeto conduz a valores de campo elétrico ao nível do solo inferiores aos limites definidos, na Portaria 1421/2004 de 23 de novembro, que retomam os valores estipulados por organismos internacionais (ICNIRP) e adotados na União Europeia (ver 8.1 e os Anexos A.11 e A12).

No que diz respeito ao comportamento dos cabos em situações de defeito, considerou-se o nível máximo de corrente de defeito de $0.95 \times 50 \text{ kA} = 47.5 \text{ kA}$, visto que 5 % da corrente de curto-circuito se escoia para a subestação mais longe. O cabo ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A), apresenta-se dimensionado para correntes de curto-circuito máximas de 23.75 kA para 0.35 s, correspondendo a uma temperatura máxima do cabo de 84°C ($T_{\text{inicial}} = 75^{\circ}\text{C}$).

O mesmo se passa com os cabos de guarda do tipo DORKING (96-AL1/56-ST1A), os quais são elementos importantes na segurança de pessoas, dado o efeito moderador na distribuição da corrente de defeito, transportando a maior parte daquela e reduzindo, portanto, a corrente que é escoada para o solo via apoio(s). Em relação à ação protetora ou de blindagem dos condutores, que se reflete na qualidade de serviço da Rede de Transporte, os cabos de guarda do tipo DORKING (96-AL1/56-ST1A) encontram-se bem dimensionados para uma corrente de descarga atmosférica de 20 kA.

A linha possui em toda a extensão dois cabos de guarda. Admitindo um defeito de 50 kA num dos extremos da linha, ter-se-ia em cada cabo uma corrente de $0.75 \times 50 / 2 = 18.75 \text{ kA}$ (supondo o escoamento de 75 % da corrente de defeito pelos cabos de guarda, e 25 % da mesma é conduzida pelo apoios(s) para terra), correspondendo a uma temperatura máxima de 129°C e 167°C , para os cabos de guarda DORKING (96-AL1/56-ST1A) e OPGW (AS/AA 39/94 AST 2x20 FO), respetivamente ($T_{\text{inicial}} = 30^{\circ}\text{C}$).

2.4.2 DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA ASSOCIADAS A CABOS

Sobre este tema observa-se o disposto no RSLEAT (DR 1/92), onde se definem várias distâncias mínimas, como:

- Ao solo;
- Às árvores;
- Aos edifícios;
- Às autoestradas e Estradas Nacionais;

- Entre cabos de guarda e condutores;
- Entre condutores, etc.

Em relação às distâncias de segurança, particularmente aos obstáculos a sobrepassar (solo, árvores, edifícios, estradas, etc.) deve dizer-se que estas serão verificadas para a situação de flecha máxima, ou seja, temperatura dos condutores de 85°C sem sobrecarga.

Neste projeto, adotaram-se os critérios definidos pelas especificações técnicas da REN, S.A. os quais estão acima dos mínimos regulamentares, criando-se assim uma servidão menos condicionada e aumentando-se o nível de segurança em geral. No quadro seguinte mostram-se os valores adotados:

Tabela 3 - Distâncias de segurança

Obstáculos	400 kV	
	Critério adotado [m]	Mínimos RSLEAT [m]
Solo	14.0	8.0
Árvores	8.0	5.0
Edifícios	7.0	6.0
Estradas	16.0	10.3
Vias-férreas eletrificadas ⁽⁴⁾	16.0	16.0
Vias-férreas não eletrificadas	15.0	10.3
Outras linhas aéreas ⁽⁴⁾	7.0	6.0
Obstáculos Diversos	7.0	5.0

O arvoredo a sobrepassar é representado no perfil da linha, pela altura máxima das árvores da mancha respetiva. São ainda identificadas, no perfil, as manchas de arvoredo que não estão em conformidade com o critério adotado pela REN, S.A., relativo à distância mínima entre os condutores e as árvores, que no caso das linhas de 400 kV, esta distância é de 8 metros. Estes elementos arbóreos deverão ser cortados ou decotados de forma a cumprir o critério estabelecido.

2.5 ACESSÓRIOS DOS CABOS CONDUTORES E DE GUARDA

Os acessórios de fixação (pinças de amarração e de suspensão) e os de reparação (uniões e mangas de reparação) estão dimensionados para as ações mecânicas transmitidas

⁽⁴⁾ Considerando o ponto de cruzamento a 200 m do apoio mais próximo.

pelos cabos e para os efeitos térmicos resultantes do escalão de corrente de defeito máxima (50 kA).

As uniões e pinças de amarração dos cabos, ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A) são do tipo de compressão, constituídas por um tubo de aço que se comprime sobre a alma de aço e por um tubo de alumínio que se comprime na superfície do cabo condutor. Qualquer destes acessórios tem uma carga de rotura não inferior à dos cabos, e particularmente as uniões devem garantir aquela carga simultaneamente com uma resistência elétrica inferior a um troço de cabo de igual comprimento. Os valores de dimensionamento conduzem assim a uma carga última de rotura destes acessórios não inferior a 300 kN e temperatura final do material abaixo do limite térmico para correntes de 50 kA durante 0.35 s.

A amarração do OPGW realiza-se sem corte do cabo e este é fixado por um conjunto de varetas pré-formadas que fornecem o necessário aperto.

As pinças de suspensão para fixação dos condutores e cabos de guarda nos apoios de suspensão são do tipo AGS – *Armour Grip Suspension*. Este tipo de pinças, normalizadas nas linhas da REN, S.A., fixam o cabo através de um sistema de varetas helicoidais pré-formadas e de uma manga de neopreno, apresentando características particularmente favoráveis no que diz respeito à redução ou eliminação de danos causados aos fios que formam o cabo na zona de fixação, em resultado de fadiga causada por vibrações eólicas.

Serão usados separadores de 400 mm e com a função dupla de amortecedor/separador (na linguagem anglo-saxónica como *Speed-Grip Spacers*) com parafuso de topo *break-away*.

2.6 AMORTECEDORES DE VIBRAÇÕES

Consideram-se aqui os problemas de fadiga causada por vibrações eólicas sobre os fios dos cabos, uma vez que este problema não se coloca em relação aos apoios (estes têm uma frequência própria de vibração muito baixa). Apesar das conhecidas características redutoras de danos de fadiga nos cabos condutores associadas ao uso de pinças de suspensão AGS, tanto estes como os cabos de guarda estão sujeitos a regimes de vibrações eólicas, que exigem a adoção de sistemas especiais de amortecimento das mesmas. Alguns fatores determinam o comportamento dos cabos nestas circunstâncias:

- Características de inércia (massa) e de elasticidade;
- Características dos acessórios de fixação dos cabos;
- Tensão mecânica de esticamento (normalmente referenciada ao EDS);
- Geometria dos vãos;
- Regime dos ventos (geralmente os regimes de rajada que condicionam as trações máximas sobre cabos e estruturas, não produzem fadiga nos cabos; são

neste caso os regimes lamelares de velocidade baixa-média que produzem as vibrações de mais alta frequência que conduzem a problemas de fadiga mecânica; os terrenos de baixa rugosidade oferecem em geral as condições topográficas para a ocorrência deste tipo de ventos).

A modelização matemática deste fenómeno, com a intenção de produzir resultados generalizáveis a todas as circunstâncias de projeto é bastante complexa e uma perspetiva de cálculo caso a caso não é prática. De um modo geral, em função da parametrização das grandezas acima referidas, são projetados amortecedores, cujas características de inércia e elásticas permitem o amortecimento num espetro relativamente largo de frequências na gama das expectáveis.

A geometria de colocação no vão é geralmente definida através de regras empíricas e de uma análise estatística baseada numa amostragem significativa de ensaios, medidas laboratoriais e experiência de utilização.

Assim para este projeto, a colocação de amortecedores será efetuada após a regulação dos cabos e com base em estudos específicos a realizar pelo fornecedor deste tipo de equipamentos.

2.7 CADEIAS DE ISOLADORES

2.7.1 ASPETOS DE DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO

Serão usados isoladores de calote e haste em vidro do tipo U160BS para a linha e nas amarrações ao Pórtico. Estes isoladores que classificaremos de “normais” estão bem adaptados às zonas de poluição média, que caracterizam todo o corredor da linha. Por outro lado, do ponto de vista do diâmetro do espigão é suficiente para as correntes de defeito previstas. As características destes isoladores estão tabeladas no Anexo A.05.

Nas tabelas seguintes apresentam-se os tipos de cadeias a colocar na linha:

Tabela 4 - Classificação da poluição ao longo da linha

Apoios(s)	Poluição	Carga de Rotura [kN]
Toda a linha	Ligeira / Média	160

Para as zonas de poluição ligeira/média a linha de fuga a considerar é de 20 mm/kV (tensão composta) ⁽⁵⁾, de acordo com o que se define a composição adequada para os diferentes tipos de cadeias na linha, a saber:

⁽⁵⁾ Vd. Norma CEI-60815.

Tabela 5 - Tipo de cadeias a aplicar

Função da Cadeia Isoladores 400 kV	Tipo e Quantidade Isolador	Plano/Desenho (Ver Anexo A.06)
Cadeias de amarração dupla (pórtico da subestação)	2 x 23 U160BS	PL10192
Cadeias de amarração dupla	2 x 23 U160BS	PL10193
Cadeias de suspensão dupla (condutores laterais)	2 x 23 U160BS	PL10198
Cadeias de suspensão dupla (condutor central em V - 90°)	2 x 23 U160BS	PL10199
Cadeias de suspensão dupla (condutor central em V - 98°)	2 x 23 U160BS	PL10200

De acordo com o Guia de Coordenação de Isolamento (atualização de 2013) serão retiradas as hastes de descarga reguláveis nas cadeias de amarração aos pórticos e colocados descarregadores de sobretensão de baixa tensão residual na entrada dos painéis de linha

No que diz respeito ao circuito com nível de tensão de 400 kV, o comprimento da linha de fuga, nas cadeias com isoladores U160BS, é de 8740 mm, o que corresponde a 20.81 mm/kV, considerando a tensão máxima.

Estas distâncias estão devidamente coordenadas com as distâncias mínimas entre peças em tensão e as partes metálicas das estruturas (massa) - que o RSLEAT (Artigo 33.9) preconiza para situação em repouso e desviada pelo vento, respetivamente, 1530 e 1430 mm - valores respetivamente inferiores aos mínimos preconizados pela REN, S.A.⁽⁶⁾ nos intervalos correspondentes e que são [3111 - 3186] e 2600 em mm, para uma variação da distância entre hastes de guarda respetivamente correspondente de [2828 - 2896] em mm.

⁽⁶⁾ O critério determinante deste dimensionamento é o de considerar que a distância entre peças em tensão e a estrutura, quando a cadeia de isoladores equipada é desviada pelo vento, deve garantir uma tensão suportável (50 Hz) 10 % acima da tensão suportável da cadeia de isoladores equipada e sob chuva, enquanto na situação de repouso o critério aponta para a garantia de uma tensão suportável ao choque atmosférico 10 % acima da cadeia de isoladores devidamente equipada.

Tabela 6 - Distâncias sob carga de vento com exceção do vento extremo EN50341

Tensão mais elevada [kV]	Distância mínima condutor-apoio em repouso [m]		Distância mínima condutor-apoio em vento [m]	
	Ao braço ou estrutura kg = 1.45	Dentro da janela kg = 1.25	Ao braço ou estrutura kg = 1.45	Dentro da janela kg = 1.25
420	2.60	3.24	1.12	1.34

2.7.2 ACESSÓRIOS DE CADEIAS

Os acessórios das cadeias sob o ponto de vista térmico estão adaptados para uma densidade máxima de corrente de curto-circuito de 70 A/mm² durante 1 s, e os dispositivos de proteção para 75 A/mm² durante 1 s.

As hastes de guarda nas cadeias de amarração e suspensão com isoladores U160BS são em varão de aço de Ø 25 mm, os anéis de descarga são em tubo de aço de Ø 60 mm, e com uma abertura de 50 mm e secção mínima de 500 mm².

Ainda relativamente aos dispositivos de proteção será de referir que eles se devem dispor de modo a proteger os isoladores do arco, obrigando-o a manter-se afastado daqueles. No caso da presente linha as cadeias de suspensão duplas são colocadas com os dispositivos de guarda dispostos no plano perpendicular ao condutor, com estes para o exterior da linha, excetuando o condutor central em apoios de linha simples, que tem dispositivos para ambos os lados no plano paralelo ao dos condutores.

Os planos das cadeias estão incluídos no Anexo A.06.

2.7.3 FIXAÇÃO À ESTRUTURA

Os conjuntos de cadeia, quer dos condutores quer dos cabos de guarda, são fixos à estrutura através de um sistema de caixa e charneira, o qual oferece uma resistência de contacto favorável em comparação com os sistemas de fixação com acessórios de perfil redondo. A adoção deste sistema resultou da experiência de exploração e de ensaios específicos para o efeito.

No caso dos cabos OPGW, as fixações (amarração e suspensão) terão um sistema de shunt a assegurar a ligação à estrutura de forma franca, de modo a evitar quaisquer sobreaquecimentos na zona de derivação em resultado de correntes de defeito. Os planos de fixação dos cabos de guarda estão incluídos no Anexo A.06.

Nos apoios da família QT e QA, estão disponíveis 3 pontos de fixação para o condutor central. Estes pontos têm como função permitir a manutenção das distâncias de segurança entre os elementos em tensão (fiadores) e a massa. Normalmente é utilizado o ponto de fixação central, contudo para apoios com ângulo de linha igual ou superior a 23 graus, torna-se necessário analisar em detalhe os distanciamentos e respetiva definição de ponto de ancoragem.

Os apoios que se enquadram na situação descrita estão identificados no desenho n.º P24.024.01-PL-002 fls. 01 e 02 (Perfil), no qual é representado o ponto de fixação a utilizar para o condutor central.

2.8 COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO

No sentido de estabelecer a coordenação de isolamento, as várias distâncias mínimas a considerar são organizadas de acordo com uma hierarquia.

Por ordem crescente teremos:

- As hastes de descarga (explosores) das cadeias de amarração da linha aos pórticos da subestação serão substituídas por descarregadores de sobretensões (não incluídos neste projeto) instalados na cabeça dos painéis de linha da subestação, que irão proteger os mesmos contra sobretensões vindas do exterior;
- Distância entre hastes de guarda nas cadeias de isoladores. Aqui a linha terá um nível de isolamento semelhante ao dos equipamentos que constituem os painéis de linha, ou seja:
 - Tensão suportável ao choque atmosférico: 1425 kV
 - Tensão suportável ao choque de manobra: 1050 kV
- Distância no ar entre peças em tensão (condutores e/ou acessórios) e a estrutura, na situação de repouso (sem vento) e com uma inclinação introduzida pelo vento, que se manifesta através do movimento das cadeias de isoladores. Estas distâncias garantem tensões suportáveis superiores às mencionadas atrás em 2, com o objetivo de evitar contornamentos para as estruturas. Os valores calculados para a distância mínima entre peças em tensão e a massa na situação de repouso são, de [3111 a 3186] mm e na de desviado pelo vento 2600 mm, respetivamente para as distâncias entre hastes de [2828 a 2896] mm.

2.9 CIRCUITO DE TERRA DOS APOIOS

2.9.1 NORMALIZAÇÃO ADOTADA

Neste âmbito tomou-se em consideração:

* **Zonas públicas e frequentadas**⁽⁷⁾, as recomendações estipuladas na publicação ANSI/IEEE std 80 -1986 e EN 50341-3-17.

⁽⁷⁾ A fim de se tornar mais claras estas definições, diga-se que se entende por **zonas públicas** aquelas onde se verifique uma densidade populacional grande ainda que só em determinadas ocasiões (parques urbanos), áreas destinadas a convívio cultural, recreativo ou desportivo, recintos destinados a feiras, mercados, atos públicos e religiosos, lugares de

Os limites especificados para a tensão de contacto e de passo, admitindo uma resistividade do solo de $100 \Omega.m$ e um tempo de eliminação de defeito 0.50 s, são respetivamente:

Tabela 7 - Limites especificados para a tensão de contacto e de passo

	Zona Pública	Zona Frequentada
U_c	189	225
U_p	262	355

* **Zonas pouco frequentadas**, o prescrito nas especificações VDE 0141/7.76;

* **Zonas não frequentadas**, as recomendações estipuladas na norma Suíça, refª ASE 3569 - 1.1985.

Nestas duas últimas zonas, e considerando tempos de eliminação de defeito < 0.50 s, as recomendações enunciadas não especificam qualquer valor limite para a tensão de contacto e de passo.

Na escolha do corredor da linha procurou-se que este atravessasse zonas não frequentadas, afastando-o o mais possível dos aglomerados populacionais, sendo que todos os apoios estão implantados em zonas pouco frequentadas ou não frequentadas.

Recorre-se aqui às equações de *Dalziel* para a corrente tolerável pelo corpo humano, e faz-se intervir a resistência elétrica média de um indivíduo (1000Ω) e a resistência média pé/solo, proporcional à resistividade do solo. Os valores limites referidos aparecem, portanto, parametrizados pela resistividade do solo e o tempo de eliminação de defeito. Conforme características dos equipamentos de proteção e estatística da exploração da RNT está garantido com um nível alto de probabilidade o tempo de eliminação de defeito, já o valor da resistividade é bastante variável quer em valor médio de local para local quer localmente nas diferentes direções em torno do(s) apoios(s) e ainda ao longo do tempo em função do grau de humidade do solo. Por outro lado, note-se que estes valores limites crescem com o valor da resistividade do solo (com incidência na resistência pé/solo), o que justifica por vezes a utilização de grilha ou asfalto (materiais de alta resistividade) numa camada superficial sobre o solo como medida para subir aqueles limites. Em qualquer caso o tratamento de zonas públicas

romaria, zonas de equipamento social coletivo como hipermercados, hospitais e lugares de ensino, etc. Por sua vez uma **zona frequentada** será aquela que não sendo da categoria anterior se pode caracterizar pela presença humana amiúde como caminhos de serviço, áreas junto a fontes ou poços de utilização habitual, zonas agrícolas de atividade frequente do tipo hortas, instalações agropecuárias e de apoio agrícola, etc. Uma zona será entendida como **pouco frequentada** se corresponder a uma zona submetida a exploração agrícola em que a intervenção humana é reduzida, a uma exploração ganadeira, etc. Finalmente é entendida como **zona não frequentada** se a presença humana é esporádica, sendo normalmente associada à inaptidão agrícola como por exemplo zona florestal, zona de acentuado declive, etc.

deve ser sempre feito caso a caso e com uma metodologia que passa por medições e análise *in situ* que confirmem as estimativas obtidas pelo modelo de cálculo.

2.9.2 CONSTITUIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS DE TERRA

Dado que o traçado da linha está exclusivamente estabelecido em zonas pouco frequentadas e não frequentadas indicam-se seguidamente as soluções construtivas típicas dos circuitos de terra.

A configuração tipo de elétrodos de terra que se preconiza utilizar nestas zonas, é em todos os apoios de quatro estacas e respetivos cabos de cobre de ligação à estrutura, e anel a unir as 4 estacas.

Os elétrodos de terra são estacas de *Copperweld* de 16 mm de diâmetro e 2.1 m de comprimento, enterradas na vertical uma em cada um dos cantos exteriores do conjunto de caboucos devendo os seus topos estar a uma profundidade mínima de 0.80 m. Complementarmente, será instalado, em todos os apoios, um anel de terra (constituído por um cabo de cobre de $\varnothing = 9$ mm) enterrado horizontalmente a cerca de 0.80 m de profundidade, ligando os quatro elétrodos num anel que rodeará o(s) apoios(s).

Os cabos que interligam os elétrodos de terra às cantoneiras das bases são de cobre nu de 50 mm². O cabo é ligado à cantoneira e às estacas por intermédio de ligadores apropriados, procurando-se sempre um permanente bom contacto e de baixa resistência. Os ligadores a utilizar nestes casos são adequados aos tipos de materiais em contacto e proporcionam boa continuidade elétrica.

Na tabela abaixo, apresentam-se a título apenas indicativo as características deste tipo de circuito de terra, no que se refere à tensão de contacto e de passo, e ainda ao potencial máximo no solo em percentagem do potencial do circuito de terra, segundo a direção da diagonal do apoio ou maciço de fundação:

Tabela 8 - Características do tipo de circuito de terra apresentado

Tipo de Circuito de Terra	Resistência de Terra para $\rho = 300 \Omega \cdot m$ [Ω]	Potencial máx. no solo em % do potencial do circuito de Terra	Tensão de Contacto em % do potencial do circuito de Terra [d = 1.0 m]	Tensão de Passo em % do potencial do circuito de Terra
4 estacas $\varnothing = 16mm$ l = 2.1 m anel	18.47	72.46	41.72	14.48

O tipo de configuração que se preconiza para o circuito de terra dos apoios nestas zonas pode ser visto no Anexo A.03.

Convirá salientar que deverá ser garantido o valor de resistência de terra menor que 15 Ω , recomendado para o 1º km junto das subestações, procurando-se deste modo diminuir a probabilidade de contornamentos por arco de retorno.

2.10 CONJUNTOS SINALÉTICOS

Em cada apoio existe sinalização claramente visível do solo constante de (Ver anexo A.17):

- Chapa de sinalização ou de advertência com o texto “PERIGO DE MORTE” e o nº de ordem do apoio na linha;
- Chapa de identificação com o nome (sigla) da linha e o nº de telefone do departamento responsável.

Adicionalmente todos os apoios localizados junto de vias de comunicação e zonas urbanas deverão ser ainda equipados com placas sinaléticas, onde figura o logótipo da REN, S.A., e cujas dimensões e características são as seguintes:

- Chapa de aço de 3 mm de espessura com as dimensões de 2000 x 1000 mm;
- Autocolante em vinil refletor brilhante aplicado numa das faces do painel;
- Logótipo REN em autocolante vinil brilhante, aplicado sobre o autocolante de fundo branco e com as cores (código PANTONE):
 - Vinil. 3M Série 100 > Azul Safira 100-37;
 - Macal 9800 Pro > Ultramarine Blue 9839-12 Pro;
 - Vinil. 3M Série 100 > Azul Celeste 100-453;
 - Macal 9800 Pro > Light Blue 9839-07 Pro;
 - Vinil. 3M Série 100 > Verde Lima 100-449;
 - Macal 9800 Pro > Light Blue 9849-24 Pro;
 - Letras REN – Branco.

Para além desta sinalização devem ser colocadas as chapas de sinalização para visualização aérea, nos apoios cuja numeração seja múltipla de dez.

3 CÁLCULOS

3.1 CÁLCULOS ELÉTRICOS

3.1.1 RESISTÊNCIA ELÉTRICA LINEAR DOS CONDUTORES

Os condutores são do tipo alumínio-aço com dois condutores por fase do cabo ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A), que são constituídos por um núcleo central, de duas

camadas, em fios de aço e por três camadas de fios em alumínio. As características destes cabos estão incluídas no Anexo A.04.

A resistência elétrica quilométrica do cabo ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A) em corrente contínua à temperatura de 20°C é de 0.0511 Ω/km. A resistência elétrica em corrente alternada (f = 50 Hz) tendo em conta o efeito pelicular é de 0.0522 Ω/km. A variação da resistência elétrica com a temperatura é dada por:

$$R(\theta) = R(20) \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - 20)]$$

Onde o coeficiente de temperatura α tem o valor 0.00403°K⁻¹.

Obtendo-se para a temperatura máxima de funcionamento de 85°C o valor de 0.0659 Ω/km.

3.1.2 CAPACIDADE TÉRMICA

3.1.2.1 CAPACIDADE MÁXIMA DE TRANSPORTE

Este regime é definido para uma temperatura máxima do condutor, definida para o compromisso económico máximo na relação (transporte anual de energia) / (perdas energéticas). Esta temperatura está definida para a RNT como 85°C. O modelo de cálculo tem em conta a dissipação térmica da energia elétrica nos condutores (efeito Joule) em resultado da passagem de corrente e a interação dos condutores com o meio envolvente em termos de energia radiante. O modelo utilizado é conhecido por modelo de *Kuipers-Brown* que se pode escrever:

$$C \cdot S \cdot dT = P_J \cdot dt + P_s \cdot dt - P_c \cdot dt - P_i \cdot dt$$

Ou:

$$C \cdot S \cdot \frac{dT}{dt} = I^2 \cdot R_T + \alpha \cdot R \cdot d - 8.55 \cdot (T - T_A) \cdot (v \cdot d)^{0.448} - E \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d \cdot (T - T_A)$$

Onde $C \cdot S \cdot dT$ é a energia térmica armazenada no condutor durante o tempo dt , $P_J \cdot dt$ é a energia Joule, $P_s \cdot dt$ a energia absorvida a partir da radiação solar, $P_c \cdot dt$ a energia perdida por convecção (para velocidades do vento superiores a 0.20 m/s, ou seja, convecção forçada) e $P_i \cdot dt$ a energia perdida por irradiação. Por sua vez os restantes parâmetros têm o significado seguinte:

- C – capacidade calorífica [W.s/m³];
- S – secção transversal [m²];
- T – temperatura absoluta do condutor [K];
- t – tempo [s];

- R_T – resistência elétrica à temperatura absoluta T [Ω];
- α – coeficiente de absorção solar (0.50);
- R – radiação solar [1000 W/m^2];
- d – diâmetro do condutor [m];
- T_A – temperatura ambiente absoluta [K];
- v – velocidade do vento (0.60 m/s para o regime de calma);
- E – poder emissivo em relação ao corpo negro (0.60);
- σ – constante de *Steffan* [$5.70\text{e-}8 \text{ W/m}^2.\text{K}^4$].

No modelo acima, o regime permanente traduz-se por ser:

$$\frac{dT}{dt} = 0$$

A corrente admissível é fundamentalmente função do aquecimento dos condutores (diferença da temperatura do condutor e da temperatura ambiente) traduzindo-se a ação daquele aquecimento em:

- Perdas por efeito Joule;
- Flechas máximas, com incidência das distâncias mínimas ao solo e outros obstáculos;
- Comportamento dos acessórios (pontos quentes);
- Envelhecimento dos condutores.

As correntes admissíveis são assim fixadas considerando 2 períodos convencionais:

- Período de Verão (15 de abril a 15 de outubro): Temperatura ambiente 32°C ;
- Período de Inverno (16 de outubro a 14 de abril): Temperatura ambiente 15°C .

No anexo A.10 apresenta-se a evolução da temperatura dos condutores para diversos valores eficazes de corrente e diferentes temperaturas ambientes (i. e., temperatura do ar à altura dos condutores). Os valores adotados para os parâmetros acima referidos são globalmente aqueles que melhor se adaptam às características do território nacional. Pode ali observar-se, por exemplo, que para a velocidade do vento de 0.6 m/s e temperatura ambiente de 32°C (“verão”) a corrente máxima admissível, para o cabo ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A) é cerca de 1152 A, que corresponde uma capacidade de transporte da linha de 1597 MVA. Por sua vez, para uma temperatura ambiente de 15°C

("inverno") a corrente máxima admissível é cerca de 1339 A, a que corresponde a capacidade de transporte de 1856 MVA, valores superiores à carga prevista para a linha em projeto.

3.1.2.2 REGIME DE CURTO-CIRCUITO

No que diz respeito ao comportamento dos cabos em regimes de defeito, foram considerados os pressupostos:

- Corrente de curto-circuito de 50 kA;
- Tempo de eliminação de defeitos de 0.35 s;
- No caso do cabo ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A) admite-se que a corrente de curto-circuito se distribui uniformemente pelo cabo e 5 % é conduzida para a subestação mais afastada, traduzindo-se numa corrente de 47.5 kA;
- No caso do cabo DORKING (96-AL1/56-ST1A) e cabo OPGW (AS/AA 39/94 AST 2x20 FO), admite-se que a corrente de curto-circuito se distribui uniformemente pelos dois cabos de guarda e que 25 % da mesma é conduzida pelo(s) apoio(s) para a terra, ou seja, que cada cabo terá de suportar 18.75 kA;
- O limite térmico recomendado na EQPJ/ET/PLN01 (125°C, para os cabos condutores) e pela IEC60865-1 (aproximadamente 200°C, para os cabos de guarda).

Tabela 9 - Correntes de defeito trifásico previstas

Ponto de Ligação	Projeto 400 kV
SE Concaçada	50 kA
PC Abrantes	50 kA

Na tabela seguinte apresentam-se os valores obtidos podendo verificar-se a conformidade com os limites térmicos acima referidos.

Tabela 10 - Valores obtidos

Tipo de Condutor	I _{cc} [kA]	t _{cc} [s]	Temp. Inicial [°C]	Temp. Final [°C]	ΔT [°C]	Limite [°C]	Validação
ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A)	23.75	0.35	75	84	9	125	OK
DORKING (96-AL1/56-ST1A)	18.75	0.35	30	129	99	200	OK

Tipo de Condutor	I _{cc} [kA]	t _{cc} [s]	Temp. Inicial [°C]	Temp. Final [°C]	ΔT [°C]	Limite [°C]	Validação
OPGW (AS/AA 39/94 AST 2x20 FO)	18.75	0.35	30	167	137	200	OK

Face ao atrás exposto e de acordo com os pressupostos indicados, consideram-se adequados para 50 kA tanto o condutor ZAMBEZE (565-AL1/30-ST1A) como os cabos de guarda do tipo OPGW (AS/AA 39/94 AST 2x20 FO) e do tipo DORKING (96-AL1/56-ST1A).

3.1.3 EFEITO COROA. CAMPO ELÉTRICO CRÍTICO. PERDAS POR EFEITO COROA

O cálculo do campo elétrico crítico e perdas por efeito coroa foi feito com base nas características geométricas dos apoios da família Q, DL e EL, considerando a distância mínima dos cabos ao solo do critério REN, S.A. 14 m, ponderada pelo efeito da flecha do cabo como altura média.

No anexo A.12 apresentam-se os valores dos campos máximos à superfície dos condutores com relevância para este capítulo.

Os campos máximos à superfície dos condutores foram calculados através de:

$$[E] = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot [D] \cdot [A]^{-1} \cdot [U]$$

Onde $[E]$ é o vetor dos fasores de campo elétrico, $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$ (com $\varepsilon_r = 1$ e $\varepsilon_0 = 8.859 \times 10^{-12}$ A.s/V.m), $[D]$ é um vetor dos inversos dos raios dos cabos:

$$[D] = \left[\frac{1}{r_i} \right] \quad i = 1 \dots 8$$

$[A]^{-1}$ é a inversa da matriz dos coeficientes de potencial (A.s/V.m) e $[U]$ é o vetor dos fasores de tensão fase-terra (V).

O modelo acima inclui os cabos de guarda, os quais estão considerados ao potencial do solo.

O campo elétrico máximo à superfície dos condutores variará entre:

Tabela 11 - Campo elétrico máximo à superfície

Tensão Nominal	Tensão Máxima
16.04 kV/cm	16.84 kV/cm

O campo elétrico crítico é definido como o limiar do valor de campo elétrico a partir do qual o efeito coroa surge. O valor deste limiar depende da geometria dos condutores e de parâmetros atmosféricos que afetam as condições de ionização do ar. Estimou-se aqui o valor daquele campo elétrico crítico pela expressão de PEEK:

$$\varepsilon_0 = 18.1 \cdot m \cdot \delta \cdot \left[1 + \left(\frac{0.54187}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \right] \quad \left[\frac{kV}{cm} \right]$$

Onde r é o raio dos cabos, condutores e cabos de guarda, ($i = 1 \dots n$), m é um fator para ter em conta a rugosidade da superfície dos cabos (que origina zonas de maior densidade de linhas de força, tomou-se o valor 0.6), δ é a pressão atmosférica relativa definida por:

$$\delta = 0.386 \cdot \frac{760 - 0.086 \cdot h}{273 + \theta}$$

Onde h é a altitude média da linha e θ a temperatura média anual (15°C).

Os valores de altitude média são estimados a partir das cotas no terreno. A altitude influencia com algum significado o valor do campo elétrico crítico, baixando-o. Na prática isto significa um aumento de perdas por efeito coroa.

As perdas por efeito coroa com bom tempo foram calculadas pela expressão de PETERSON:

$$P = 20.945 \times 10^{-6} \cdot \frac{f \cdot U^2 \cdot \phi}{\left(\log \left(\frac{D_m}{r} \right) \right)} \quad \left[\frac{kW}{km} \right]$$

Onde U é a tensão eficaz entre fase e neutro em kV, r o raio do condutor em cm, D_m a distância média geométrica entre condutores, f a frequência do sistema (50 Hz) e ϕ um fator experimental dependente da relação E/E_0 , sendo E o campo elétrico à superfície do condutor e E_0 o campo elétrico crítico, ambos em kV/cm.

As perdas por efeito coroa dependem particularmente das condições climatéricas. Sob chuva elas podem crescer várias dezenas de vezes acima do valor calculado para bom tempo. Para determinar o valor médio anual das perdas é usual utilizar um fator multiplicativo entre 3 e 9 (usou-se 5). Como é observável no Anexo A.13.1, as perdas médias anuais estimam-se:

Tabela 12 - Perdas anuais

Perdas Mínimas [kW/km]	Perdas Máximas [kW/km]
1.07	5.35

3.1.4 RUÍDO ACÚSTICO

O modelo de emissão REN/ACC tem duas componentes: uma que calcula, em condição favorável, (à produção de ruído), o nível L_{Aeq} da linha MAT (L_F), para um determinado ponto recetor e de acordo com os valores do campo elétrico E à superfície de cada condutor ou fase i , o diâmetro deste e a geometria da linha MAT em questão,

$$L_F = L_{Aeq,i} = -109.6 + 120 \cdot x \cdot \log_{10}(E_i) + 55 \cdot x \cdot \log_{10}(d_i) - 114 \cdot x \cdot \log_{10}(r_i) - 5.8 + \frac{q}{300} [dB(A)]$$

e uma outra componente que calcula, agora em condição desfavorável, o valor do nível L_{Aeq} da linha MAT (L_H), para um determinado ponto recetor e de acordo com os valores do campo elétrico E à superfície de cada condutor ou fase i , o diâmetro deste e a geometria da linha MAT em questão.

$$L_H = L_{Aeq,i} = -120.93 + 120 \cdot x \cdot \log_{10}(E_i) + 55 \cdot x \cdot \log_{10}(d_i) - 114 \cdot x \cdot \log_{10}(r_i) - 5.8 + \frac{q}{300} [dB(A)]$$

Sendo r_i a distância radial considerada, ao condutor ou fase i . Esta distância depende da geometria da linha e calcula-se a partir das coordenadas do ponto recetor (X, Y) e da fase ou condutor (x, y) em questão, através da seguinte fórmula:

$$r_i = \sqrt{(x - X)^2 + ((y + c_L) - (Y + c_R))^2}$$

A coordenada y representa a altura da fase i relativa ao solo (a qual é adicionada à cota do terreno c_L de implantação da linha MAT existente ou futura) e a coordenada x representa a separação entre as várias fases. No caso de um circuito simples com três fases em esteira, a coordenada x terá valor 0 para a fase central. A coordenada Y representa a altura relativa (ao solo) do ponto recetor (a qual é adicionada à cota do terreno ou solo c_R do recetor) e X representa a distância horizontal ao eixo da linha MAT considerada (origem do referencial).

O fator $q/300$ diz respeito à correção para a altitude, pois as descargas parciais que originam o efeito de coroa dependem do designado “corona onset gradient” E_c , o qual determina o campo elétrico necessário para o surgir do efeito coroa. Este valor depende da densidade relativa do ar e, logo, da pressão atmosférica. Assim, resulta esta correção em dB dos níveis sonoros gerados por linhas MAT, proporcional à altitude q (em metros)

da linha MAT em relação ao nível do mar (referida no modelo como a cota do terreno de implantação da linha).

Segundo a metodologia inicial da REN, S.A., a altura das fases ou condutores era dada pela altura média h_{med} , calculada a partir da equação da catenária. Este é um método comum, empregue no cálculo do campo magnético e elétrico gerado por uma linha MAT. Na aferição do modelo REN/ACC, foram seguidas as recomendações estipuladas por Chartier et al. (1981). Utilizaram-se, então, para a altura relativa das fases, os valores de altura mínima das fases, para cada linha MAT. No entanto, e sempre que tal seja possível, serão tomados os valores de altura das fases em relação ao solo que constam em cartografia digital relevante (perfis dos traçados).

A componente do cálculo da emissão sonora da linha MAT em situação desfavorável ou “homogénea” (L_H) foi introduzida de modo a permitir destrinçar a contribuição da linha (ruído particular) do ruído residual, visto que nas medições *in situ* tal relação pode não ser de fácil quantificação. O modelo de emissão REN/ACC encontra-se ajustado para o conjunto de linhas que constituem a atual rede energética nacional de muito alta tensão.

É calculado o nível de emissão sonora $L_{Aeq,i}$ para cada fase i com base no campo elétrico à superfície do condutor ou fase i (em kV/cm), no diâmetro do condutor ou fase i (em mm) e na distância radial (em m) considerada, ao condutor ou fase i . Os valores de $L_{Aeq,i}$ de cada fase i são de seguida adicionados energeticamente, obtendo-se o valor total:

$$L_{Aeq,t} = 10 \cdot \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Aeq,i}}{10}} \right]$$

em que n é o número de fases. Para o caso das linhas MAT com circuitos duplos (apoios de circuito duplo, em esteira vertical), somam-se energeticamente as contribuições de cada grupo de três fases i e j .

$$L_{Aeq,t} = 10 \cdot \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Aeq,i}}{10}} + \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{Aeq,j}}{10}} \right]$$

O nível sonoro contínuo equivalente de longo termo, $L_{Aeq,LT}$, para o período de um ano, é obtido pesando as contribuições dos níveis calculados em situação favorável (L_F) com os níveis calculados em situação desfavorável ou “homogénea” (L_H). O peso das contribuições será dado pela probabilidade da ocorrência da situação favorável, ou seja, de precipitação. Como se prevê que esta probabilidade seja diminuta, o nível sonoro contínuo equivalente de longo termo será principalmente determinado pelos níveis calculados em situação desfavorável ou “homogénea” (L_H).

O valor do nível sonoro equivalente de longo termo, $L_{Aeq,LT}$, em cada ano de monitorização, com correção das condições atmosféricas, é calculado segundo a expressão:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \cdot \log_{10} \left[p \cdot 10^{\frac{L_F}{10}} + (1 - p) \cdot 10^{\frac{L_H}{10}} \right]$$

onde p é a probabilidade de ocorrência das condições favoráveis à geração de ruído.

Os dados meteorológicos disponíveis e que permitem uma melhor contagem da ocorrência efetiva de precipitação referem-se às séries temporais que calculam a intensidade horária de precipitação, por estação meteorológica (“horas-chuva”). Procedeu-se assim a um estudo estatístico detalhado das séries temporais anuais disponíveis no Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), o que conduziu a uma estimativa do valor de probabilidade p em função das condições meteorológicas médias existentes nas várias zonas do território nacional. Foram utilizados dados meteorológicos respeitantes a séries temporais da intensidade horária da chuva (mm/h) referentes a um (ou mais) anos hidrológicos (outubro a setembro). Tendo em conta os constrangimentos na resolução de medida dos pluviómetros (> 0.2 mm/h) e também porque o fenómeno da geração do ruído acústico devido ao efeito de coroa necessita do aparecimento efetivo de gotas de água nos condutores (condição favorável), apenas foram consideradas como ocorrências ou “horas-chuva” aquelas em que a intensidade da chuva é superior a 0.1 mm por hora. Foram analisadas séries temporais para pelo menos um ano (8760 horas), tendo, sempre que possível, sido calculados valores médios com anos anteriores. Foram selecionadas, das várias estações meteorológicas, aquelas que apresentavam séries completas e de modo a cobrirem as regiões relevantes de Portugal Continental. Para cada estação foi, então, calculada a probabilidade anualizada p de ocorrência de precipitação (condição favorável), em que:

$$p = \frac{n^{\circ} \text{ ocorrências}}{8760 \text{ horas}}$$

As várias estações e respetivas probabilidades foram agrupadas em 4 zonas climáticas, de acordo com as divisões climatéricas assumidas no âmbito do território nacional, tendo-se calculado a probabilidade média para cada zona, tendo resultado os valores constantes da tabela seguinte:

Tabela 13 - Probabilidade média para cada zona

Zona climática	Probabilidade anual [p]
Minho (Norte litoral entre o rio Minho e Douro)	0.10
Trás-os-Montes (Norte interior e incluindo parte da Beira interior)	0.07
Centro (zona entre o rio Douro e rio Tejo)	0.05
Sul (zona a Sul do Tejo)	0.04

Neste projeto o valor de p considerado é de 0.04 (4%).

Como as condições desfavoráveis são largamente dominantes no território português, poderá ser utilizada, em alternativa, a expressão:

$$L_{Aeq,LT} = L_{Aeq} + 10 \cdot \log_{10} \left[p \cdot 10^{\frac{\Delta L}{10}} + (1 - p) \right]$$

onde L_{Aeq} é o nível sonoro médio calculado em condição “homogénea” e $\Delta L = L_F - L_H$, o diferencial correspondente aos valores dos níveis sonoros nas distintas condições meteorológicas. O valor de L_F é calculado a partir do modelo REN/ACC, e o valor de L_H será também calculado com base nesse modelo ou por processos experimentais com medições *in situ* decorrentes de campanhas de monitorização.

O valor p corresponde à probabilidade de ocorrência efetiva das chuvas. Este valor será, previsivelmente inferior à probabilidade anualizada de precipitação, na medida em que como verificado pela via experimental, o nível de emissão sonora produzido pelo efeito de coroa reduz-se de forma significativa alguns minutos após cessação da precipitação, como resultado da secagem dos condutores.

Os valores calculados para o nível sonoro contínuo equivalente de longo termo, $L_{Aeq,LT}$, são adicionados, em termos de energia, aos valores dos indicadores do ruído ambiente residual medido (L_d , L_e e L_n), de modo a se poder apreciar a influência do ruído particular previsto no estabelecimento dos níveis sonoros locais e, em especial, da sua eventual responsabilidade na possível alteração da classificação acústica local (a partir dos indicadores L_{den} e L_n):

$$L_{ambiente} = 10 \cdot \log_{10} \left[10^{\frac{L_{Aeq,LT}}{10}} + 10^{\frac{L_x}{10}} \right]$$

Em que $L_{ambiente}$ é o ruído ambiente (particular+residual) previsto, a longo termo, para o local em consideração e L_x representa os valores medidos dos níveis sonoros para os períodos de referência diurno (L_d), entardecer (L_e) e noturno (L_n).

Numa situação de monitorização de linha MAT (condição desfavorável), e caso a linha seja audível, retira-se a sua contribuição energética para os níveis sonoros registados do ruído ambiente local. Obtém-se, assim, o ruído ambiente residual $L_{amb,r}$, resultante da correção dos níveis sonoros do ruído ambiente medido $L_{amb,m}$ pelos níveis sonoros previstos do ruído gerado pela linha MAT, em condição desfavorável (ruído particular L_{part}):

$$L_{amb,r} = 10 \cdot \log_{10} \left[10^{\frac{L_{amb,m}}{10}} + 10^{\frac{L_{part}}{10}} \right]$$

A aplicação desta correção apenas é efetuada caso os níveis sonoros do ruído ambiente medido localmente forem superiores (em pelo menos 1 dB) aos níveis sonoros previstos para a linha MAT em condição desfavorável.

O valor do indicador de ruído diurno-entardecer-noturno L_{den} , associado ao incómodo geral, é calculado de acordo com a fórmula constante da alínea j) do artigo 3º do Regulamento Geral do Ruído pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \left[13 \cdot x \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \cdot x \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot x \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right]$$

No Anexo A.13.3 apresentam-se em detalhe todos os valores intervenientes para o cálculo dos indicadores anteriores, para a tensão nominal e máxima.

Na Tabela 14 está identificado os resultados que apresentam ser os mais desfavoráveis, para a tensão máxima:

Tabela 14 - Ruído ambiente previsto

Distância ao Eixo [m]	L_d [dB(A)]	L_e [dB(A)]	L_n [dB(A)]	L_{den} [dB(A)]
0.00	39.1	39.1	39.1	45.4
22.50	37.5	37.5	37.5	43.8
50.00	34.5	34.5	34.5	40.8

Em relação aos valores apresentados, 45.4 (L_{den}) dB(A), salienta-se que o critério da EPA (Environmental Protection Agency, USA) não é observado. Este critério define como limite máximo suscetível de não provocar queixas os 52.5 dB(A).

3.1.5 INTERFERÊNCIAS RADIOELÉTRICAS

No Anexo A.13.2 apresentam-se também os valores do nível de ruído de radio interferência. Estes valores foram calculados, de acordo com a norma ANSI, através da expressão:

$$E = (53.75 \pm 5) + k \cdot (g_m - 16.95) + 40 \cdot \log \left(\frac{d}{3.93} \right) + E_n + 20 \cdot k_D \cdot \log \left(\frac{20}{D} \right) + E_{FW}$$

Sendo E o nível de ruído (RI) em dB [dB/μV.m], k uma constante aqui igual a 3.5, g_m o campo elétrico máximo em kVef/cm, d o diâmetro do condutor em cm, E_n tem o valor de 4 dB para condutores simples, k_D é o fator de atenuação para a faixa de frequências de 0.5 mHz a 1.6 Mhz e tem o valor 1.6 ± 0.1 , D é a distância radial do condutor à antena de medição a 2 m do solo e E_{FW} é uma parcela de correção devida às condições atmosféricas, sendo $E_{FW} = 0$ para bom tempo e $E_{FW} = 17$ dB para chuva.

Os valores obtidos para o nível de ruído interferente, com bom tempo a 15 m do condutor exterior deverão ser inferiores ao valor máximo indicados pelo CISPR:

Tabela 15 - Limites máximos indicados pelo CISPR

Nível de Tensão [kV]	Valores limites [dB/μV/m]
400	53

O valor calculado na situação mais desfavorável (mau tempo) obteve-se cerca 39.95 dB, sendo este valor inferior aos limites atrás mencionados. Nestas condições e para uma receção classe A ($S/R(\text{dB}) \geq 32 \text{ dB}$) a relação sinal/ruído $S/R(\text{dB}) = S(\text{dB}) - R(\text{dB})$ a 21 m do eixo da linha deverá ser de pelo menos 50.12 dB, na situação mais desfavorável.

3.1.6 CONSTANTES ELÉTRICAS DA LINHA

3.1.6.1 GRANDEZAS DIRETAS

Tabela 16 - Grandezas diretas

Resistência linear [Ω/km]	Reactância longitudinal [Ω/km]	Susceptância longitudinal [S/km]
0.0366	0.3261	3.5161×10^{-6}

3.1.6.2 GRANDEZAS HOMOPOLARES

Tabela 17 - Grandezas homopolares

Resistência linear [Ω/km]	Reactância longitudinal [Ω/km]	Susceptância longitudinal [S/km]
0.2190	0.6791	2.4040×10^{-6}

4 DIRETRIZ DA LINHA

Nos desenhos da planta geral do traçado, indica-se o traçado da linha à escala 1:25000 e à escala 1:2000 nos desenhos das plantas. No perfil e planta parcelar da linha, apresenta-se a localização e especificação dos apoios ao longo dos traçados, assim como a posição dos condutores inferiores e dos cabos de guarda em todos os vãos. Quer o perfil quer a planta parcelar contém a representação de todos os obstáculos existentes sob os condutores ou na sua vizinhança compreendida numa faixa de 60 metros centrada no eixo da linha.

4.1 LOCALIZAÇÃO

O traçado entre a SE Concavada e o PC Abrantes, a 400 kV, com comprimento de 5.63 km, desenvolve-se no seguinte distrito e atravessa o seguinte concelho e freguesias:

Tabela 18 - Localização da linha, segundo a Carta Administrativa Oficial de Portugal

Distrito	Concelho	Freguesia
Santarém	Abrantes	União das freguesias de São Facundo e Vale das Mós

Distrito	Concelho	Freguesia
		União das freguesias de Alvega e Concavada
		Pego

Os distritos, concelhos e freguesias atravessados estão indicados no perfil e planta parcelar. O parcelamento dos terrenos na faixa de 45 metros centrada no eixo da linha assim como os tipos de exploração estão também representados na planta parcelar, contendo a numeração das parcelas em correspondência com a Relação de Proprietários resultante do levantamento cadastral a efetuado.

No anexo A.15 estão incluídas as coordenadas dos centros de todos os apoios ao nível do solo e no anexo A.19 a Lista de Proprietários das parcelas.

5 TRAVESSIAS E CRUZAMENTOS DE VIAS E INFRAESTRUTURAS

Nas travessias de vias de comunicação (Estradas Municipais, Estradas Nacionais, Rios e Cursos de Água e Linhas de Caminho de Ferro) serão respeitadas as distâncias mínimas apresentadas em 2.4.2.

Para melhorar a fiabilidade mecânica da linha, serão utilizadas cadeias duplas de suspensão nas travessias de estradas, caminhos-de-ferro, rios navegáveis e de outras linhas de alta tensão.

Tratando-se de apoios com cadeias de amarração e como estas são sempre duplas (nas linhas da RNT) a melhoria da fiabilidade está também garantida.

5.1 TRAVESSIAS DE ESTRADAS

No traçado da linha ocorrem as seguintes travessias de estradas:

Tabela 19 - Travessias de estradas

Vão de Travessia	Designação
P13-P14	N118 (KM 143 + 325)

5.2 TRAVESSIAS DE SERVIDÕES DE VIAS-FÉRREAS

No traçado da linha não ocorrem interseções com linhas de caminho-de-ferro.

5.3 TRAVESSIAS DE CURSOS DE ÁGUA

No traçado da linha ocorrem as seguintes travessias de cursos de água:

Tabela 20 - Travessias de Cursos de Água

Vão de Travessia	Designação
P2-P3	S/Designação
P3-P4	Rib.ª da Amoreira
P4-P5	Rib.ª da Amoreira
P5-P6	S/Designação
P8-P9	S/Designação
P10-P11	S/Designação
P11-P12	S/Designação
P13-P14	Rib.ª da Galhoufa

5.4 SERVIDÕES AERONÁUTICAS CIVIS E MILITARES

O traçado da linha interseta, ao longo de toda a sua extensão, uma zona abrangida por servidão militar identificada no Estudo de Impacte Ambiental com a designação de "AQUARIUS".

5.5 CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES

A priori em nenhum ponto do traçado da linha de ligação ocorrem situações de paralelismo com linhas de telecomunicações. A rede de 400 kV terá o neutro ligado à terra e possuirá em toda a sua extensão dois cabos de guarda também ligados à terra.

As f. e. m. induzidas nas linhas de telecomunicação nas secções de cruzamento serão estimadas através de:

$$e = I \cdot M \cdot L \cdot k \times 10^{-3} [V]$$

onde I , em A, é o valor eficaz da corrente de defeito indutora (corrente de curto circuito monofásico à terra) no vão de cruzamento, M o valor médio do módulo da impedância mútua linear das duas linhas para a secção considerada em mΩ/km, L é o comprimento (valor algébrico) da projecção da secção sobre a linha de energia em km e k é um coeficiente redutor que tem em conta o retorno duma parte da corrente de defeito pelos cabos de guarda e o efeito de écran dos condutores ligados à terra e paralelos à linha de energia e aos circuitos de telecomunicação.

5.6 CRUZAMENTOS COM OUTRAS LINHAS ELÉTRICAS AÉREAS

No traçado da linha não se verificam travessias com outras linhas elétricas:

Tabela 21 - Cruzamentos com outras linhas elétricas

Vão de Travessia	Designação	Nível de Tensão [kV]
P2-P3	Linha Margalha - Pego	400
P2-P3	Linha Pego - Falagueira	400

5.7 CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM GASODUTOS

No traçado da linha não se verifica interferências com redes primárias e secundárias de abastecimento de gás.

5.8 CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM CONDUTAS DE ÁGUA

No traçado da linha não se verificam cruzamentos e paralelismos com condutas de água.

5.9 CRUZAMENTOS COM FEIXES HERTZIANOS

No traçado da linha não ocorrem cruzamentos com feixes hertzianos.

6 BALIZAGEM AÉREA

6.1 SINALIZAÇÃO PARA AERONAVES

De acordo com a Circular de Informação Aeronáutica 10/03 de 6 de maio, do Instituto de Nacional de Aviação Civil (INAC) considera-se necessário efetuar a balizagem dos seguintes obstáculos:

- Das linhas aéreas quando penetrem numa área de servidão geral aeronáutica e/ou que, ultrapassem as superfícies de desobstrução (que são para este nível de tensão de 25 m);
- Dos vãos entre apoios que distem mais de 500 m;
- Dos vãos que cruzem linhas de água, lagos, albufeiras, etc, com uma largura média superior a 80 m ou que excedam, em projeção horizontal, mais de 60 m relativamente às cotas de projeção sobre o terreno, no caso de vales ou referida ao nível médio das águas;
- Dos elementos de uma linha aérea que se situem nas proximidades de pontos de captação de água localizados em zonas de risco de incêndios florestais;

- Das linhas aéreas que cruzem Autoestradas, Itinerários Principais ou Complementares.

6.1.1 BALIZAGEM DIURNA

6.1.1.1 VÃOS A SINALIZAR

A sinalização diurna consiste na colocação de esferas de cor alternadamente vermelha ou laranja internacional e branca possuindo o diâmetro mínimo de 600 mm, que serão instaladas nos cabos de guarda do tipo OPGW com a utilização de pré-formados de proteção, de modo que a projeção segundo o eixo da linha da distância entre esferas consecutivas seja sempre igual ou inferior a 30 metros.

No traçado da linha em projeto não foram identificados vãos em situação que exista necessidade de uso de balizagem diurna.

6.1.1.2 APOIOS A SINALIZAR

A balizagem diurna dos apoios consiste na pintura às faixas, de cor alternadamente vermelha ou laranja internacional e branca. As faixas a pintar correspondem a troços modulares das estruturas de forma a realçar a sua forma e dimensões. As faixas extremas são pintadas na cor vermelha ou laranja internacional.

No traçado da linha em projeto não foram identificadas situações onde existe necessidade de uso de balizagem diurna de apoios.

6.1.2 BALIZAGEM NOTURNA

6.1.2.1 APOIOS A SINALIZAR

A balizagem noturna consiste na colocação de balizores nos condutores superiores, próximo das fixações dos cabos às cadeias, de cada lado dos apoios, ou na sinalização no topo dos apoios com díodos eletroluminescentes (“LED”) alimentados por painéis solares e baterias acumuladoras de energia ou outro equipamento equivalente desde que aprovado pela ANAC. Estes dispositivos terão de emitir luz vermelha com uma intensidade mínima de 10 Cd.

No traçado da linha em projeto, não foram identificadas situações onde exista necessidade de uso de balizagem noturna.

6.2 SINALIZAÇÃO PARA AVES

Os dispositivos de sinalização para a avifauna são do tipo “BFD” (*Bird Flight Diverter*), dispositivos de forma helicoidal de fixação dupla com 35 cm de diâmetro e 1 m de comprimento, de cor laranja/vermelho e branco, que se ajustam ao cabo de guarda por enrolamento no mesmo. Numa das extremidades, estes dispositivos têm um anel de maior diâmetro, que sobressai no perfil do cabo. Este anel, combinado com a cor do dispositivo, aumenta significativamente a visibilidade dos cabos pelas aves, sem lhe

conferir um aspeto volumoso, e não introduzindo nenhum aumento significativo em relação à área exposta ao vento.

Uma vez que as linhas representam elementos de risco de colisão para as aves revela-se muito importante a aplicação de medidas de minimização que reduzam o impacte referido. Assim, recomenda-se que sejam implementadas medidas de minimização com vista à redução da potencial mortalidade de avifauna por colisão com os elementos condutores da linha, através da instalação de mecanismos salva-pássaros.

Os BFD's são dispositivos de forma helicoidal que se ajustam ao cabo de guarda por enrolamento no mesmo. Numa das extremidades, estes dispositivos têm um anel de maior diâmetro, que sobressai no perfil do cabo. Este anel, combinado com a cor do dispositivo, aumenta significativamente a visibilidade dos cabos pelas aves, sem lhe conferir um aspeto volumoso, e não introduzindo nenhum aumento significativo em relação à área exposta ao vento.

No traçado da linha em projeto, foi identificada a necessidade de realizar a sinalização para aves em toda a sua extensão. A fim de minimizar o risco de colisão de aves, serão utilizados dispositivos espirais, no cabo de guarda, de forma a obter-se um espaçamento de 10 m entre dispositivos em perfil, ou seja, os dispositivos devem ser dispostos de 20 em 20 m em cada cabo de guarda.

7 ANÁLISE DE RISCOS ORIGINADOS PELA PRESENÇA E FUNCIONAMENTO DAS LINHAS

Os riscos associados à presença e funcionamento das linhas, incluindo os que decorrem de circunstâncias adversas e externas às próprias linhas, podem considerar-se completamente abrangidos pelas situações que a seguir se referem:

- Incêndios;
- Queda dos apoios ou dos cabos condutores ou de guarda;
- Contactos acidentais com elementos em tensão;
- Tensões induzidas;
- Obstáculos a ligarem à terra e dimensionamento do circuito de terra associado.

7.1 INCÊNDIOS

No âmbito da análise deste tipo de riscos, há a considerar a situação em que as linhas estão na origem do incêndio e, por outro lado, o caso em que as mesmas são afetadas por incêndios de outra origem.

A probabilidade do funcionamento de uma linha estar na origem de incêndios é muito reduzida, uma vez que na fase de construção serão garantidas distâncias de segurança aos obstáculos situados dentro de uma faixa de proteção adequada.

Durante a exploração, procedem-se a rondas periódicas, a fim de detetar atempadamente construções de edifícios ou crescimento exagerado de árvores que possam aproximar-se da linha a distâncias inferiores aos valores de segurança.

Adicionalmente fazem-se campanhas de inspeção termográfica no sentido de identificar possíveis elementos da linha que estejam em situação de eventual sobreaquecimento para promover a sua substituição ou reparação atempada.

A probabilidade de a linha ser afetada por incêndios de outra origem é mais elevada, com incidência na qualidade de exploração e na continuidade de serviço (interrupção do transporte de energia). Associadas a estas situações haverá que considerar o risco de danos ou inutilização dos equipamentos (apoios, cabos e cadeias de isoladores), com eventual risco de indução de outro tipo de acidentes, nomeadamente queda de apoios, ou dos cabos condutores ou de guarda.

As opções de conceção adotadas (distâncias aos obstáculos na vizinhança de uma linha largamente superiores aos valores de segurança) permitem concluir que estão minimizados os riscos da linha originar ou vir a ser afetada por incêndios.

7.2 QUEDA DE APOIOS OU DE CABOS

Em face das características dos cabos condutores e de guarda e dos coeficientes de segurança adotados na sua instalação pode afirmar-se ser praticamente nula a probabilidade de ocorrência de rotura de qualquer destes elementos de uma linha. A queda de cabos condutores surge, normalmente, por rotura de cadeias de isoladores. Assim, para diminuição da probabilidade deste tipo de risco, são utilizadas, com carácter sistemático, cadeias duplas de amarração em todas as situações e cadeias duplas de suspensão nas travessias consideradas mais importantes, tais como:

- Autoestradas, estradas nacionais;
- Zonas públicas;
- Sobrepassagem de edifícios;
- Caminhos-de-ferro;
- Linhas de alta tensão;
- Rios navegáveis.

O risco deste tipo de ocorrências é muito reduzido e pode traduzir-se, tal como no caso dos incêndios, numa incidência na continuidade de serviço da linha, embora se possa associar o risco sobre pessoas e bens na sequência da queda daqueles elementos.

A queda de apoios apresenta um risco mínimo em face das suas características e dos coeficientes de segurança adotados no dimensionamento dos mesmos e das respetivas fundações.

Por outro lado, a intensidade das ações consideradas, resultantes dos agentes naturais, como por exemplo o vento, correspondem a valores muito elevados, ou seja, as ocorrências cuja probabilidade de ser ultrapassada é muitíssimo baixa. Estes critérios não são arbitrários, mas fazem parte da Legislação e Normalização Nacional aplicável (RSLEAT e EN50341) e internacional, após estudos muito aprofundados e experiência real de quase um século de História da Indústria de Transporte e Distribuição de Energia Elétrica. Estes critérios são técnica e legalmente considerados pelos projetistas como suficientes no que se refere à segurança das populações.

Em relação aos apoios pode dizer-se adicionalmente que todos os apoios, quer de amarração quer de suspensão, estão dimensionados para poder manter a sua estabilidade em caso de rotura de qualquer um dos cabos ou cadeias, simultaneamente com a ocorrência da tração máxima expectável. De um modo geral, no dimensionamento global dos diversos componentes estruturais da linha, procura-se estabelecer uma coordenação de resistências onde, no caso do componente principal apoio, os subcomponentes crescentemente mais fortes serão apoio, fundações, acessórios e no caso do componente principal cabos, os subcomponentes crescentemente mais fortes serão cabos, isoladores, acessórios.

7.3 CONTACTOS ACIDENTAIS COM PEÇAS EM TENSÃO

A ocorrência desta situação é improvável e pode resumir-se à utilização de guias ou outros equipamentos na proximidade das linhas.

A altura mínima ao solo da linha é muito superior ao mínimo regulamentar (como medida de segurança), ver 2.4.2, e torna improvável a hipótese daquela ocorrência, reduzindo-se o risco de acidente.

Refira-se ainda que todos os apoios, tal como está regulamentado, possuirão uma chapa sinalética em local visível, indicando **“PERIGO DE MORTE”**.

Nas travessias de caminhos, estradas e de cursos de água são também observadas distâncias de segurança muito superiores aos valores regulamentares.

7.4 TENSÕES INDUZIDAS

A existência de objetos metálicos (vedações e aramados para suporte de vinhas), isolados ou ligados à terra, na vizinhança de Linhas Aéreas de MAT e acompanhando estas em grandes extensões, são afetados por campos elétricos, magnéticos ou ainda por elevação de potencial no solo, tornando possível o aparecimento de tensões induzidas, com incidência na segurança de pessoas (contactos ocasionais). Se forem detetadas situações deste tipo, em fase posterior, serão tratadas de acordo com a metodologia a seguir proposta.

Todas as situações serão analisadas pontualmente de modo a garantir-se o estipulado pelo NESC (*National Electrical Safety Code, USA*): *“a corrente induzida que fluirá no corpo de uma pessoa em contacto com o aramado ou vedação será inferior a 5 mA”*.

A metodologia de cálculo seguinte permite avaliar situações como as descritas. No sentido de dar uma medida dos riscos apresenta-se um exemplo numérico hipotético.

A tensão induzida numa vedação pode ser calculada através de:

$$V = E \cdot h [V]$$

Onde E é o campo elétrico ao nível do solo em V/m e h a altura da vedação ao solo em metros. A capacidade da vedação é dada por:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon}{\ln\left(\frac{2 \cdot h}{r_c}\right)} [F]$$

Sendo h a altura em m da vedação, r_c o raio do arame da vedação e L o comprimento da cerca na zona de influência (aquela onde o valor de E se mantém aproximadamente constante) em m. Esta expressão é suficientemente correta para $h > 2 \cdot r_c$ (desprezam-se os efeitos de extremidade).

A corrente que flui na vedação suposta esta ligada numa extremidade ao solo e supondo também que se dispõe numa direção aproximadamente paralela à linha de energia pode ser dada aproximadamente por:

$$I = j \cdot \omega \cdot V \cdot C [A]$$

No Anexo A.12 sob o tema “Campos Elétricos” apresentam-se valores e perfis do campo elétrico para diversas situações. A situação mais desfavorável em termos de campo elétrico, à tensão nominal, no referido Anexo varia entre 2.31 e 2.34 kV/m entre o nível do solo e 1.80 m de altura no eixo da linha (ou seja, praticamente na vertical por debaixo

dos condutores). Tomando um aramado de $\varnothing = 4$ mm disposto paralelo à linha a 1.5 m de altura numa extensão de 40 m de comprimento obteríamos, na situação mais desfavorável do campo elétrico de 2.34 kV/m, $C = 304.4$ pF e $I \leq 0.34$ mA, muito inferior ao limite acima referido de 5 mA. Na prática, a corrente nem seria esta porque as correntes de fuga em cada poste de fixação do aramado, ou através de vegetação em contacto com o aramado seriam da mesma ordem de grandeza, pelo que a hipótese de uma vedação ligada apenas na extremidade, com a extensão indicada, é geralmente irrealista e a corrente que atravessaria uma pessoa em contacto com o arame, ainda uma fração daquelas, atendendo à resistência elétrica da pessoa.

No entanto, nos casos de vedações metálicas onde se avalie que possam originar, por contacto, correntes induzidas superiores a 5 mA, será efetuada a ligação sistemática à terra (critério BPA de 60 m em 60 m com uma estaca de *copperweld*) a fim de prevenir qualquer risco.

Dados os muito baixos valores do campo magnético ao nível do solo, dispensa-se aqui qualquer cálculo de correntes induzidas por este sobre aramados.

Relativamente à elevação de potencial do solo, na sequência de um defeito monofásico, seguiu-se o preconizado nas várias normas já referidas atrás em 2.9.1, devendo ainda tomar em consideração:

- a existência de dois cabos de guarda que transportam a maior parte da corrente de defeito, funcionando como elemento protetor em termos de segurança de pessoas;
- tempo de eliminação do defeito ser ≤ 0.50 s (proteções rápidas);
- ser muito baixa a probabilidade de coincidência de um contacto ocasional com a ocorrência do defeito no mesmo instante;
- a improvável combinação negativa de todas as ocorrências referidas, leva que a atual normalização aponte métodos probabilísticos para estes aspetos.

Deste modo, pode inferir-se que os riscos ligados às correntes que provêm das tensões induzidas são extremamente baixos e muito abaixo dos critérios técnicos e ambientais mais restritivos que se conhecem.

7.5 RELAÇÃO DE OBSTÁCULOS A LIGAR À TERRA E DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE TERRA

Não estão previstas, *a priori*, ligações particulares de obstáculos. Quaisquer situações deste tipo que se tornem aparentes em fase de construção ou de exploração serão resolvidas através de uma adequada ligação à terra, conforme preconizada no número anterior.

8 EFEITOS DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

8.1 VALORES LIMITES

A REN, S.A. toma como referência a portaria n.º 1421, de 23 de Novembro, que retoma os valores limites de exposição do público em geral definidos na recomendação do Conselho da União Europeia (*“Council Recommendation on the Limitation of Exposure of the General Public to Electromagnetic Fields 0 Hz – 300 GHz”*) de 1999/07/05, previamente homologada na 2 188.ª Reunião do Conselho em 1999/06/08 pelos Estados Membros, e que as recomendações do ICNIRP (*International Commission on Non Ionizing Radiation Protection*) no que se refere aos limites de exposição do público em geral.

A tabela seguinte sistematiza estes limites.

Tabela 22 - Limites de exposição a campos elétricos e magnéticos a 50 Hz

Características de Exposição	Campo Elétrico [kV/m] (RMS)	Densidade de Fluxo Magnético [μT] (RMS)
Público em geral (em permanência)	5	100

O Conselho Europeu emitiu, em 99/07/05, uma recomendação sobre os limites de exposição do público em geral aos campos eletromagnéticos, na gama de frequências de 0 Hz - 300 GHz (*Doc. Refª 1999-1100-0001 / 8550/99 “Council Recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)”*), e posteriormente o Governo Português, com a promulgação da Portaria 1421/2004 de 23 de novembro, que transpôs para a Legislação Portuguesa as recomendações do Conselho Europeu, definindo as restrições básicas e os níveis de referência relativos à exposição da população aos campos eletromagnéticos.

Por sua vez o Decreto-Lei n.º 11/2018 acima referido mantém válidos os limites de exposição do público em geral referidos na portaria e inclui a necessidade de monitorização periódica e a necessidade de garantir um afastamento mínimo entre o eixo do traçado do projeto das linhas e determinadas *“infraestruturas sensíveis”* definidas na alínea c) do artigo 3º do Decreto-Lei.

De referir que a minimização da exposição a campos elétrico e magnético, associados ao transporte de energia elétrica, consegue-se essencialmente atuando na fonte da emissão – a linha. Assim a minimização pode efetuar-se de duas formas distintas:

- Atuando na localização da fonte do campo (linha) com a escolha adequada e possível do traçado de forma a maximizar o afastamento a *“infraestruturas sensíveis”*;

- Atuando na fonte do campo diretamente com a adoção de medidas de projeto nos materiais e equipamentos embora na maior parte dos casos a sua implementação seja bastante complexa e a redução dos valores dos campos pouco significativos.

Neste projeto a minimização foi feita essencialmente atuando na localização da fonte, com a escolha de um corredor que permitisse o afastamento de zonas edificadas. Este corredor resultou dos estudos das Grandes Condicionantes Ambientais e foi escolhido de forma a minimizar os impactes nos diversos descritores ambientais, em particular foi dada particular atenção à existência de áreas urbanas, de forma a maximizar o afastamento.

Para além disso, procura-se garantir o afastamento mínimo a qualquer “*infraestrutura sensível*” (como definida no Decreto-Lei nº 11/2018).

Em relação à atuação direta na fonte de emissão do campo, como a opção foi pela utilização de estruturas tipo, já licenciadas e utilizadas pela REN neste nível de tensão, e que permitem a colocação de um circuito num arranjo de configuração de impedância mínima, esta foi a variável utilizada.

O caso da compactação das linhas não é utilizado em Portugal por razões de ordem operacional, uma vez que a aproximação das fases dificulta ou impossibilita as operações de manutenção (preventiva ou corretiva) com a linha em tensão, para além de aumentar a emissão de ruído devido ao aumento do campo elétrico na superfície dos condutores.

Nas linhas da RNT, em qualquer escalão de tensão, e de acordo com os registos conhecidos, não ocorrem valores superiores aos referidos atrás. Esta conclusão está bem fundamentada por análise comparativa com cálculos teóricos e medições efetuadas em linhas similares em todo o mundo. O cálculo concreto dos valores do campo elétrico e magnético apresenta-se no Anexo A.11 e Anexo A.12, respetivamente.

8.2 CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO

MODELO DE CÁLCULO

O cálculo dos campos elétricos efetua-se a partir do conhecimento das cargas elétricas em cada um dos cabos da linha. No presente caso considerou-se que as cargas, assim como os cabos de guarda estão dispostas de acordo com a configuração dos apoios Q, DL e EL, conforme o apresentado no anexo A.01, considerando uma distância ao solo que corresponde à situação mais desfavorável em toda a extensão da linha (distância mínima entre o condutor inferior e o solo).

Os valores que se obtiveram correspondem, portanto a valores máximos absolutos do campo elétrico, nos planos horizontais em que foram calculados e que correspondem, sensivelmente ao nível do solo e ao nível da cabeça de um homem (1.80 m do solo).

Para o cálculo da distribuição de cargas elétricas sobre os condutores da linha considerou-se um modelo de cálculo bidimensional onde a geometria é definida num plano vertical transversal à linha, o solo é considerado plano, horizontal e de extensão infinita. Neste modelo os condutores são também supostos paralelos entre si e ao solo, e os condutores inferiores situam-se a uma distância do solo correspondente ao mínimo absoluto acima referido. O plano de corte transversal considera-se afastado dos apoios ⁽⁸⁾. Nesta conformidade o vetor de fasores das cargas $[(q_r + j \cdot q_i)] = 1, \dots, 8$ calculou-se através de:

$$[\tilde{Q}] = [\tilde{P}]^{-1} \cdot [\tilde{V}]$$

Onde $[\tilde{P}]$ é a matriz dos coeficientes de potencial de Maxwell e $[(v_r + j \cdot v_i)] = 1, \dots, 8$ o vetor de fasores de tensões. A matriz $[\tilde{P}]$ é simétrica e os seus elementos definidos por:

$$P_{ii} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot y_i}{d_i} \right)$$

$$P_{ij} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \ln \left(\frac{(x_i - x_j)^2 + (y_i + y_j)^2}{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)^{1/2}$$

Onde y_i e y_j são as alturas dos condutores i e j acima do solo, d_i é o diâmetro do condutor i e x_i e x_j são as coordenadas horizontais dos condutores i e j .

Uma vez calculadas as cargas elétricas em cada condutor, o campo elétrico num determinado ponto $N (x_N, y_N)$ do espaço é calculado através de:

$$\vec{E}_j = \tilde{E}_{x,j} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \tilde{E}_{y,j} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Onde as componentes horizontal e vertical do campo referentes à carga j são dadas por (método das imagens):

$$E_{x,j} = \frac{(q_{rj} + j \cdot q_{ij}) \cdot (x_N - x_j)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot [(x_j - x_N)^2 + (y_j - y_N)^2]} - \frac{(q_{rj} + j \cdot q_{ij}) \cdot (x_N - x_j)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot [(x_j - x_N)^2 + (y_j + y_N)^2]}$$

⁽⁸⁾ O campo elétrico é distorcido pela presença dos apoios, sendo estas estruturas metálicas, e, portanto, condutoras ao potencial do solo. Este efeito - efeito écran - é no sentido favorável, ie, de diminuição dos valores daqueles campos pelo que o modelo utilizado é simultaneamente mais simples e pelo lado da segurança.

$$E_{y,j} = \frac{(q_{rj} + j \cdot q_{ij}) \cdot (y_N - y_j)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot [(x_j - x_N)^2 + (y_j - y_N)^2]} - \frac{(q_{rj} + j \cdot q_{ij}) \cdot (y_N + y_j)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot [(x_j - x_N)^2 + (y_j + y_N)^2]}$$

As componentes horizontais e verticais referentes a todas as cargas obtêm-se fazendo o somatório das contribuições de todas as cargas:

$$\tilde{E}_x = \sum_{j=1}^k \tilde{E}_{x,j} \quad \tilde{E}_y = \sum_{j=1}^k \tilde{E}_{y,j}$$

O campo elétrico é assim um vetor de fasores à frequência de 50 Hz da forma:

$$\vec{E} = (\tilde{E}_x, \tilde{E}_y) = (E_{x,r} + j \cdot E_{x,i}, E_{y,r} + j \cdot E_{y,i})$$

O qual descreve no plano xy uma trajetória pulsante elíptica. A componente máxima do fasor do campo elétrico num determinado ponto do espaço é dada pelo valor do semieixo maior daquela elipse.

O valor E_α do módulo do campo ao longo de uma direção definida por um ângulo α , medido em relação à horizontal, é dado por:

$$(E_\alpha)^2 = (E_{ry} \cdot \sin(\alpha) + E_{rx} \cdot \cos(\alpha))^2 + (E_{iy} \cdot \sin(\alpha) + E_{ix} \cdot \cos(\alpha))^2$$

Cujo máximo em α deverá satisfazer:

$$\frac{d(E_\alpha)^2}{d\alpha} = 0$$

O que conduz à relação quadrática em $\tan(\alpha)$:

$$\tan^2(\alpha) \cdot (E_{ry} \cdot E_{rx} + E_{iy} \cdot E_{ix}) + \tan(\alpha) \cdot (-E_{iy}^2 + E_{ix}^2 - E_{ry}^2 + E_{rx}^2) - (E_{ry} \cdot E_{rx} + E_{iy} \cdot E_{ix}) = 0$$

Válida para $\alpha \neq \pi/2$, valor onde simplesmente $E_{\pi/2} = E_y$. As duas soluções para $\tan(\alpha)$ correspondem aos dois semieixos da elipse do campo, calculando-se assim o valor máximo do módulo do campo através da expressão acima para E_α .

VALORES CALCULADOS

No anexo A.12 apresentam-se os perfis transversais do campo elétrico máximo ao nível do solo e a 1.80 m do solo para uma faixa entre -40 e +40 m em torno do eixo da linha, para a configuração de apoios a utilizar, para 400 kV, com dois condutores por fase, cabos de guarda ao potencial do solo e valor eficaz do módulo da tensão na linha no seu valor nominal e para uma distância ao solo que corresponde à situação mais desfavorável em toda a extensão da linha (distância mínima entre o condutor inferior e o solo), para as diferentes disposições de fases.

Na tabela seguinte apresentam-se os resultados mais desfavoráveis.

Tabela 23 - Valores calculados do campo elétrico

Altura mínima dos cabos ao solo [m]	Campo Elétrico Máximo (Nível do solo) [kV/m]		Campo Elétrico Máximo (a 1.80 m do solo) [kV/m]	
	Tensão nominal	Tensão máxima	Tensão nominal	Tensão máxima
19.27				
(Apoio tipo ELT - Esteira Vertical)	2.31 (a 8 m do eixo)	2.42 (a 8 m do eixo)	2.34 (a 8 m do eixo)	2.46 (a 8 m do eixo)

Estes valores, como se verifica, estão dentro dos limites apresentados em Tabela 22.

8.3 CÁLCULO DO CAMPO MAGNÉTICO

MODELO DE CÁLCULO

O campo magnético foi calculado usando um modelo bidimensional geometricamente idêntico ao descrito para o campo elétrico. O valor do campo magnético num ponto de coordenadas (x_i, y_i) em resultado da corrente I_i que percorre um condutor centrado no ponto de coordenadas (x_j, y_j) pode ser dado por:

$$\vec{H}_{j,i} = \frac{\vec{I}_i \cdot \vec{r}_{j,i}}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}^2} = \frac{I_i}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}} \cdot \vec{\phi}_{i,j}$$

Onde $\vec{\phi}_{i,j}$ é o vetor unitário na direção do produto externo do vetor corrente com o vetor $\vec{r}_{i,j}$. Teremos, portanto:

$$\vec{\phi}_{i,j} = -\frac{y_i - y_j}{r_{i,j}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{x_i - x_j}{r_{i,j}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

e

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

O campo magnético total é dado pela soma das contribuições devidas às correntes em todos os condutores ⁽⁹⁾:

$$\vec{H}_j = \sum_{i=1}^m \frac{I_i}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}} \cdot \vec{\phi}_{i,j}$$

⁽⁹⁾ Aqui desprezam-se as correntes de retorno pela terra e correntes nos cabos de guarda. As correntes de defeito que se escoam pelos cabos de guarda produzem picos de campo magnético de muito curta duração, cuja energia, relevante na perspetiva de fem induzidas em linhas de telecomunicações, não são relevantes na perspetiva dos efeitos sobre pessoas.

A densidade de fluxo magnético é então:

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

Onde $\mu = 4 \cdot \pi \times 10^{-7}$, tanto no solo como no ar.

VALORES CALCULADOS

No Anexo A.12 apresentam-se de uma forma sistemática os valores do módulo do vetor densidade de fluxo magnético em perfis transversais numa faixa de -40 a +40 m em torno do eixo da linha a uma distância ao solo que corresponde à situação mais desfavorável em toda a extensão da linha (distância mínima entre o condutor inferior e o solo). Neste cálculo admitiu-se um regime estabilizado e equilibrado de funcionamento para as correntes. Para efeitos da avaliação dos valores máximos de densidade de fluxo magnético correspondentes a exposições com carácter permanente esta condição é perfeitamente legítima. Em A.12 apresentam-se os diversos perfis transversais da densidade de fluxo magnético a 1.80 m do solo para um módulo de corrente conforme o tipo de apoio utilizado. A evolução das correntes da nova linha a projetar pode ser vista no Anexo A.10. Para a linha em projeto, com a configuração imposta pelo apoio Q (situação mais desfavorável), com regime de correntes suposto trifásico e equilibrado o valor máximo da densidade de fluxo magnético a 1.80 m do solo é de:

Tabela 24 - Valores calculados do campo magnético

Altura média dos cabos ao solo [m]	Densidade de Fluxo Magnético (a 1.80 m do solo) [μ T]
20.84 (Apoio tipo Q - Esteira horizontal)	22.01 (no eixo)

Os valores da indução magnética decaem rapidamente e para o caso mais desfavorável a 30 m do eixo da linha não excedem 9.38 μ T.

Todos os valores calculados são muito inferiores aos valores limites apresentados em 8.1, mesmo numa perspetiva de exposição pública permanente.

8.4 MEDIDAS IMPLEMENTADAS NO PROJETO PARA MINIMIZAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Como resultado do estudo das Grandes Condicionantes Ambientais é escolhido um corredor que se considera como o que melhor minimiza os impactes nos diversos fatores ambientais. Foi explicitamente dada particular atenção à existência de áreas urbanas e procurou-se que o corredor se mantivesse afastado daquelas.

Para o corredor escolhido realizou-se o respetivo levantamento aerofotogramétrico e produziu-se cartografia atualizada à escala 1:2000, que permitiu desenvolver o traçado da linha no seu interior de modo a garantir um maior afastamento de eventuais “*infraestruturas sensíveis*” isoladas que possam existir no interior do corredor.

O desenvolvimento do traçado e a elaboração do perfil foi realizado de modo a garantir sempre distâncias mínimas ao solo no plano vertical de 19 metros ⁽¹⁰⁾, bem como afastamentos aos restantes obstáculos, os quais são significativamente mais conservadores do que as distâncias mínimas definidas regulamentarmente representadas na Tabela 3. Por outro lado, no plano horizontal procurou-se garantir que não existisse nenhuma “*infraestrutura sensível*” (como definida no Decreto-Lei nº 11/2018) no interior da zona de proteção da linha.

Ao longo do traçado da linha foram ainda identificadas zonas especiais, caracterizadas designadamente por serem zonas de povoamento disperso, com potencial para virem a ser humanizadas (zonas de lazer, com fáceis vias de acesso), de atividade agrícola intensa, para serem objeto de medidas específicas.

O cálculo dos Campos Eletromagnéticos é sempre efetuado para as situações mais desfavoráveis designadamente para a corrente máxima e tensão máxima e altura mínima ao solo que ocorra na linha ainda que a probabilidade de estas situações poderem acontecer ao longo do ano serem muito reduzidas. Se existirem zonas especiais serão igualmente efetuados cálculos para essas zonas.

Quando se trata de linhas simples, caso viesse a cruzar zonas especiais, seriam utilizadas adicionalmente as seguintes medidas mitigadoras:

- Alçamento do troço da linha (os apoios terão uma altura acima da necessária para dar cumprimento ao critério REN);
- Utilização apoios compactos (distâncias entre fases mais reduzidas) o que implicaria vãos mais curtos;
- Colocação de apoios de linhas duplas, mas em que apenas serão utilizados 3 braços (configuração em triângulo).

9 ANÁLISE DE RISCOS ORIGINADOS EM FASE DE CONSTRUÇÃO DAS LINHAS

Os riscos associados à construção da linha podem-se considerar, de forma genérica, abrangidos pelas seguintes situações:

⁽¹⁰⁾ Na elaboração do projeto foi tida em consideração os elementos arbóreos de espécie protegida – sobreiros e azinheiras – sujeitos a inventário de quercíneas, tendo sido adotadas distâncias mínimas ao solo considerando, cumulativamente, a altura destes elementos na sua fase adulta de 14 metros, e a distância de segurança entre os cabos e as árvores, de 5 metros, de acordo com o disposto no RSLEAT.

- Desabamento de terras durante a abertura dos caboucos ou da betonagem das fundações;
- Ruína do apoio, ou partes do apoio, e consequente queda dos cabos durante as operações de desenrolamento e fixação dos cabos;
- Contactos acidentais dos cabos da linha em construção com outras linhas em tensão durante o desenrolamento dos cabos;
- Tensões induzidas nos cabos da linha em construção ou outras linhas situadas na sua vizinhança.

Todos estes temas serão tratados no Plano de Segurança e Saúde (PSS) elaborado para a construção desta linha, tendo em atenção os seguintes pontos-chave:

- Evitar os riscos;
- Avaliar os riscos que não possam ser eliminados;
- Combater os riscos na origem;
- Adaptar o trabalho ao Homem, especialmente no que se refere à conceção dos postos de trabalho e à escolha dos equipamentos e métodos de trabalho;
- Atender ao estado de evolução da técnica;
- Substituir o que é perigoso pelo que é isento de perigo ou menos perigoso;
- Planificar a prevenção com um sistema coerente que integre a técnica, a organização do trabalho, as condições de trabalho e a influência dos fatores ambientais no trabalho;
- Dar prioridade às medidas de prevenção coletiva em relação às medidas de proteção individual;
- Formar e informar adequadamente todos os trabalhadores.

Cumprindo com toda a legislação aplicável no que diz respeito à Segurança e Saúde.

De um modo geral as atividades envolvidas na construção de uma linha são a organização do estaleiro e a execução de fundações, montagem e arvoreamento dos apoios e desenrolamento e fixação de cabos. Cada uma destas atividades comporta riscos associados.

9.1 RISCOS ASSOCIADOS A ORGANIZAÇÃO DE ESTALEIRO

Atropelamento, colisão, queda ao mesmo nível, queda de altura, queda de objetos, cortes, entalamentos, esmagamento, eletrocussão, incêndio, explosão, queimaduras e intoxicação.

9.2 RISCOS ASSOCIADOS À EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES

Soterramento, quedas a nível diferente, queda de objetos, ruído, vibrações, poeiras e gases, rutura da entivação, entalamento, manuseamento de explosivos, corte, ferros em espera e rutura de cofragens.

9.3 RISCOS ASSOCIADOS À ASSEMBLAGEM E ARVORAMENTO DE APOIOS

Entalamento, esmagamento, corte, quedas em altura e queda de objetos.

9.4 RISCOS ASSOCIADOS AO DESENROLAMENTO E FIXAÇÃO DE CABOS

Quedas em altura, ruído, vibrações, queda de materiais, eletrocussão, queda de objetos, entalamento e corte.

Identificados os riscos, deverá ser consultado o Plano de Segurança e Saúde, o qual descreve as medidas preventivas que devem ser respeitadas, nomeadamente as Fichas de Procedimentos de Segurança (FPS) e as Instruções Operacionais (IO).

Poderá ser consultado o Plano de Segurança e Saúde – Em fase de Projeto, que deverá ser adaptado em fase de obra. As adaptações ao PSS de projeto, em fase de obra, devem contemplar a identificação de todos os riscos não previstos no PSS de projeto, motivados por novas técnicas construtivas, materiais, máquinas, etc., e deve indicar as metodologias para eliminar/minimizar esses riscos, sendo desejável também elaborar novas instruções operacionais caso as novas tarefas a desenvolver tenham um grau de complexidade que assim o exijam.

10 OUTROS DOCUMENTOS

No âmbito da legislação em vigor aplicável será promovida, no que diz respeito às condições de segurança de execução do projeto, a elaboração de um plano de segurança e saúde (PSS) e, no que respeita à prevenção e gestão de resíduos de construção e demolição, a elaboração do plano de prevenção e gestão de resíduos de construção e demolição (PPGRCD).

Estes planos serão posteriormente atualizados em fase de obra.

11 ELEMENTOS DO PROJETO DE LICENCIAMENTO

Para o presente Projeto de Licenciamento produziram-se e juntaram-se as seguintes peças:

- Peças Escritas:
 - ▢ Memória Descritiva
 - ▢ Anexos à Memória Descritiva
 - A.01 Esquema Axial dos Apoios
 - A.02 Esquema das Fundações
 - A.03 Circuitos de Terra dos Apoios
 - A.04 Características dos Cabos
 - A.05 Características dos Isoladores
 - A.06 Planos de Cadeias de Isoladores e Fixação dos Cabos de Guarda
 - A.07 Condições de Regulação do Cabos
 - A.08 Estabilidade das Cadeias de Isoladores
 - A.09 Ações dos cabos e Cadeias de Isoladores
 - A.10 Capacidade Térmica dos Cabos
 - A.11 Perfis de Campo Eletromagnético Máximo por Vão
 - A.11.1 Distância ao solo de 0 metros
 - A.11.2 Distância ao solo de 1.80 metros
 - A.12 Perfis de Campo Eletromagnético Teórico Máximo
 - A.13 Efeito Coroa. Interferências Radioelétricas. Ruído Acústico.
 - A13.1 Efeito Coroa
 - A13.2 Interferências Radioelétricas
 - A13.3 Ruído Acústico
 - A.14 Dispositivo de Sinalização para Aves
 - A.15 Elementos Gerais da Linha
 - A.16 Mapas de Medições
 - A.16.1 Medições de Fundações e Postes
 - A.16.2 Medições de Cadeias e Acessórios
 - A.16.3 Medições de Cabos
 - A.17 Desenhos dos Conjuntos Sinaléticos
 - A.18 Equipamento Diverso
 - A.19 Lista de Proprietários
 - A.20 Cálculo Mecânicos
 - A20.1 Cálculo de Estruturas Metálicas
 - A20.2 Cálculo de Cabos
 - A20.3 Cálculo de Cadeias

- Peças Desenhadas:

- ▢ Planta Geral do Traçado da Linha

P24.024.01-PL-001-01

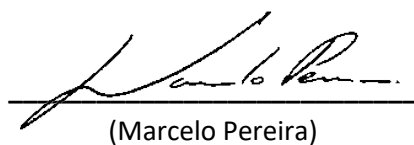
↵	Perfil e Planta Parcelar	P24.024.01-PL-002 fls. 01 e 02
↵	Planta Geral do Traçado da Linha inserido sobre Ortofotomapas	P24.024.01-PL-003 fls. 01 a 04
↵	Planta Geral do Traçado da Linha com Cartografia	P24.024.01-PL-004 fls. 01 a 04

Porto, 08 de agosto de 2025,

O AUTOR DO PROJETO


(José Carlos Martins)

VERIFICADO POR


(Marcelo Pereira)

APROVADO POR

(Raúl Angulo)