



PROJETO PRÉVIO – Memória Descritiva e Justificativa

LN CSF BEIRA – CASTELO BRANCO, A 220 kV

Revisão	Data	Descrição	Elaborado	Verificado	Aprovado
0	19/12/2022	Emissão inicial	JM	MP	MP
A	26/05/2023	Adaptação do tempo de eliminação do defeito	RS	MP	MP
B	26/09/2023	Ajuste ao novo layout da CSF Beira	RS	MP	MP
C	09/10/2023	Ajuste ao novo layout da CSF Beira e vértice 10	RS	MP	MP

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado por:	Rui Sá		09/10/2023
Verificado por:	Marcelo Pereira		09/10/2023
Aprovado por:	Marcelo Pereira		09/10/2023

ÍNDICE GERAL

1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1.	OBJETO	1
1.2.	PROPOSTA DE SOLUÇÃO DO PONTO DE LIGAÇÃO NA SUBESTAÇÃO DE CASTELO BRANCO.....	4
1.3.	CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS DE LIGAÇÃO DO PARQUE FOTOVOLTAICO À RNT, A 220 kV ...	4
1.4.	CRITÉRIOS TÉCNICOS GERAIS.....	4
2.	EQUIPAMENTO.....	6
2.1.	APOIOS.....	6
2.2.	FUNDAÇÕES.....	7
2.3.	CABOS.....	8
2.3.1.	ASPETOS GERAIS DO DIMENSIONAMENTO	8
2.3.2.	DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA ASSOCIADAS A CABOS	10
2.4.	ACESSÓRIOS DOS CABOS CONDUTORES E DE GUARDA.....	11
2.5.	AMORTECEDORES DE VIBRAÇÕES	12
2.6.	CADEIAS DE ISOLADORES.....	12
2.6.1.	ASPETOS DE DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO	12
2.6.2.	ACESSÓRIOS DE CADEIAS.....	14
2.6.3.	FIXAÇÃO À ESTRUTURA	14
2.7.	COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO	15
2.8.	CIRCUITO DE TERRA DOS APOIOS	15
2.8.1.	NORMALIZAÇÃO ADOTADA	15
2.8.2.	CONSTITUIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS DE TERRA	17
3.	CÁLCULOS.....	18
3.1.	CÁLCULOS ELÉTRICOS	18
3.1.1.	RESISTÊNCIA ELÉTRICA LINEAR DOS CONDUTORES.....	18
3.1.2.	CAPACIDADE TÉRMICA	18
3.1.3.	EFEITO COROA. CAMPO ELÉTRICO CRÍTICO. PERDAS POR EFEITO COROA.....	21
3.1.4.	CONSTANTES ELÉTRICAS DA LINHA	22

4.	DIRETRIZ DA LINHA.....	22
4.1.	LOCALIZAÇÃO.....	23
5.	TRAVESSIAS DE VIAS DE COMUNICAÇÃO	23
5.1.	TRAVESSIAS DE ESTRADAS	23
5.2.	TRAVESSIAS DE SERVIDÕES DE VIAS-FÉRREAS	24
5.3.	TRAVESSIAS DE CURSOS DE ÁGUA NAVEGÁVEIS	24
5.4.	TRAVESSIAS DE CURSOS DE ÁGUA NÃO NAVEGÁVEIS	24
5.5.	SERVIDÕES AERONÁUTICAS CIVIS E MILITARES	25
6.	CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES.....	25
7.	CRUZAMENTOS COM OUTRAS LINHAS ELÉTRICAS AÉREAS.....	25
8.	CRUZAMENTOS COM SERVIDÕES DE LIGAÇÕES HERTZIANAS.....	26
9.	CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM GASODUTOS.....	26
10.	BALIZAGEM AÉREA	27
10.1.	SINALIZAÇÃO PARA AERONAVES.....	27
10.1.1.	BALIZAGEM DIURNA	27
10.1.2.	BALIZAGEM NOTURNA.....	28
10.2.	SINALIZAÇÃO PARA AVES	28
11.	CONTACTOS ACIDENTAIS COM PEÇAS EM TENSÃO	29
12.	RELAÇÃO DE OBSTÁCULOS A LIGAR À TERRA E DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE TERRA....	29
13.	EFEITOS DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	29
13.1.	VALORES LIMITES	29
13.2.	CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO	30
13.3.	CÁLCULO DO CAMPO MAGNÉTICO	32
13.4.	MEDIDAS IMPLEMENTADAS NO PROJETO PARA MINIMIZAÇÃO DA EXPOSIÇÃO.....	34
14.	ELEMENTOS DO PROJETO PRÉVIO.....	36

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Caraterísticas gerais dos apoios.....	7
Tabela 2.2 - Fundações características para os apoios utilizados na linha em projeto.....	7
Tabela 2.3 - Distâncias de segurança.....	11
Tabela 2.4 - Classificação da poluição ao longo da linha	13
Tabela 2.5 - Tipo de cadeias a aplicar	13
Tabela 2.6 - Distâncias sob carga de vento com exceção do vento extremo EN50341.....	14
Tabela 2.7 - Limites especificados para a tensão de contacto e de passo.....	16
Tabela 2.8 - Características do tipo de circuito de terra apresentado.....	17
Tabela 3.1 - Correntes de defeito trifásico previstas.....	20
Tabela 3.2 - 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)	21
Tabela 3.3 - Campo elétrico máximo à superfície	21
Tabela 3.4 - Grandezas diretas	22
Tabela 3.5 - Grandezas homopolares	22
Tabela 4.1 - Localização da linha, segundo a Carta Administrativa Oficial de Portugal	23
Tabela 5.1 - Travessias de estradas	23
Tabela 5.2 - Travessias de linhas de caminho-de-ferro	24
Tabela 5.3 - Travessias de cursos de água não navegáveis.....	24
Tabela 5.4 - Travessias com servidões Aeronáuticas Civas e Militares.....	25
Tabela 7.1 - Cruzamentos com Outras Linhas Elétricas Aéreas.....	26
Tabela 8.1 - Travessias com servidões de ligações hertzianas.....	26
Tabela 9.1 - Travessias com redes primárias e secundárias de abastecimento de gás.....	26
Tabela 13.1 - Limites de exposição a campos elétricos e magnéticos a 50 Hz	29
Tabela 13.2 - Valores calculados do campo elétrico.....	32
Tabela 13.3 - Valores calculados do campo magnético.....	33

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. OBJETO

A presente memória descritiva refere-se ao projeto da linha a 220 kV, que fará a ligação da Central Solar Fotovoltaica da Beira, com uma potência instalada de 220 MVA, à Rede Nacional de Transporte (RNT), para permitir o escoamento da energia produzida.

O projeto da Central Solar Fotovoltaica da Beira 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.

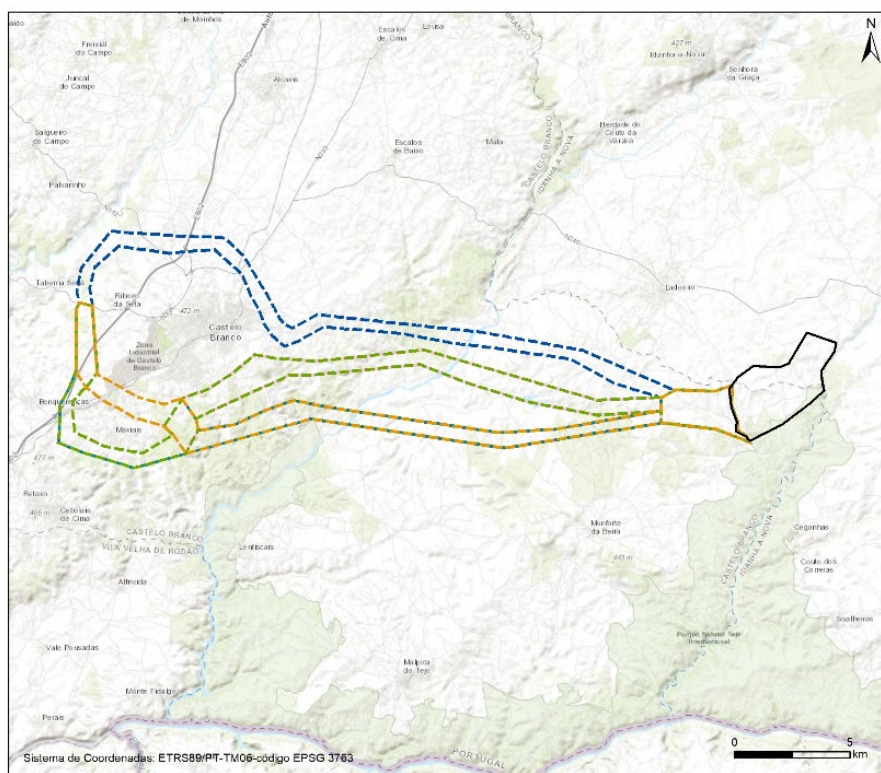
O cumprimento destas metas associa-se, de forma direta, a necessidade de redução das emissões de CO₂ e dos outros gases com efeito de estufa, assim como a diminuição da dependência no abastecimento de energia face ao exterior.

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

O Projeto Prévio da linha a 220 kV, que fará a ligação da Central Fotovoltaica da Beira à subestação de Castelo Branco (ponto de ligação à Rede Elétrica de Serviço Público – RESP), permitirá a avaliação em sede de Estudo de Impacte Ambiental em fase de Estudo Prévio.

Para esse efeito e a montante do desenvolvimento do presente Projeto Prévio, foi desenvolvido um Estudo de Grandes Condicionantes, promovidas interações e reuniões de articulação com entidades com jurisdição nas áreas onde o projeto se insere, assim como com a concessionária da RNT (REN), a fim de se conseguir a definição de um conjunto de corredores, tanto ambiental, como tecnicamente exequíveis, que atendesse às suas principais preocupações e condicionamentos identificados e garantindo a conceção de soluções otimizadas em futuras fases de desenvolvimento de projeto.

Assim, o presente Projeto Prévio define a proposta de solução de ligação (com o conjunto de soluções tipificadas apresentadas nas secções seguintes – 1.2 a 3.1.4, 10 a 13.3, Anexos A.02 a A.10), passível de implementação nos cinco corredores definidos para avaliação ambiental em sede de EIA, conforme figura seguinte:



CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DA BEIRA (CFB)

□ Área de estudo CFB

CORREDORES ALTERNATIVOS DE ESTUDO DA LINHA ELÉTRICA DE 220 KV (LCFB.CB)

Corredor A
Corredor B
Corredor B1
Corredor C
Corredor C1

Corredores Alternativos desenvolvidos para o Estudo da Linha Elétrica 220 kV.

Sem prejuízo do referido atrás e conforme se reflete no respetivo Estudo de Impacte Ambiental, para além do presente projeto especificar a solução em Estudo Prévio aplicável ao conjunto de cinco corredores alternativos, o conjunto de evidências coletadas em sede de EGCA e as reuniões de articulação entretanto mantidas, permitiram concluir de forma preliminar que um dos corredores se destacava claramente como o menos desfavorável (corredor C1), e de forma transversal para todos os fatores ambientais.

Por forma a permitir uma avaliação preliminar e articulação junto de um conjunto de entidades-chave, e de forma a dotar o EIA e a Comissão de Avaliação de um possível traçado preliminar que fosse simultaneamente viável técnica e ambientalmente e que mitigasse tanto quanto possível os potenciais impactes nestes descritores considerados potencialmente críticos neste contexto territorial, o presente Projeto Prévio incorpora ainda uma proposta de diretriz de linha e localização de apoios-vértice (com detalhe específico no âmbito das secções 4 a 9, 13.4, Anexo A.01 e Peças Desenhadas) que suportará o processo de tomada de decisão da Comissão de Avaliação no âmbito do Estudo de Impacte Ambiental

quanto ao corredor preferencial a aprovar para futuro desenvolvimento do Projeto de Execução da linha a 220 kV.

1.2. PROPOSTA DE SOLUÇÃO DO PONTO DE LIGAÇÃO NA SUBESTAÇÃO DE CASTELO BRANCO

- Construção do P232;
- Construção de um novo apoio de linha dupla no alinhamento dos futuros painéis P212 e P222;
- Ripagem da Linha CAST.BRANCO-FERRO 2/FATELA (LCC.FE2-FTL), a 220kV, para o novo apoio de linha dupla referido no ponto anterior e ligação ao P232;
- Ripagem da Linha CAST.BRANCO-FERRO 1/FATELA (LCC.FE1-FTL), a 220kV, do terno direito para o esquerdo do apoio P1 da LCC.FE1/LCC.FE2 e ligação ao P242;
- Ligação do troço final da linha do promotor ao terno direito do apoio existente P1 da LCC.FE1/LCC.FE2;
- Ligação da linha do promotor ao P252;
- O painel a disponibilizar ao promotor será assim o P252 com as seguintes coordenadas (ETRS89-TM06): M = 49570.3281; P = 17984.3434.

1.3. CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS DE LIGAÇÃO DO PARQUE FOTOVOLTAICO À RNT, A 220 kV

A ligação da CSF Beira à RNT será feita através de uma linha aérea de terno simples a 220 kV, com um cabo condutor por fase, dispostos em apoios de esteira horizontal. Está prevista a utilização de cabos condutores do tipo ZEBRA (429-AL1/56-ST1A) e cabos de guarda tipo OPGW (AS/AA 39/94 AST 2X20 FO) + DORKING (96-AL1/56-ST1A).

A linha aérea, a 220 kV que fará a ligação desde a subestação da Central Solar Fotovoltaica de Beira (CSF Beira) à Subestação de Castelo Branco (SE Castelo Branco), da REN, S.A., no concelho de Castelo Branco, e terá uma extensão total de 33.04 km.

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 220 kV, nomeadamente:

- ≡ Apoios reticulados em aço da família MT, utilizados em linhas aéreas simples;
- ≡ Apoios reticulados em aço da família CW, para linhas aéreas duplas;

- ≡ Fundações do apoio constituídas por quatro maciços independentes formados por uma sapata e uma chaminé prismática;
- ≡ Um cabo condutor por fase, em alumínio-aço, do tipo ZEBRA (429-AL1/56-ST1A), para 220kV;
- ≡ Dois cabos de guarda, do tipo OPGW (AS/AA 39/94 AST 2X20 FO) e 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 40 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, SA.;



- ≡ Lista de Documentos Técnicos de Referência elaborados pela REN, SA;
- ≡ 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. APOIOS

Os apoios das famílias MT e CW e respetivas 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.02.

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 MTG e CW, 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.

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

As diversas dimensões tipo, são as seguintes:

Tabela 2.1 - Características gerais dos apoios

Família de Apoios	Altura Útil Mínima ao Solo [m]	Altura Útil Máxima ao Solo [m]	Altura Total Máxima [m]	Envergadura [m]
MT1 MTR	19.1	43.0	47.1	14.0
MTA	19.1	31.0	35.1	14.0
MTR2G	25.1	37.0	40.9	14.0
CW	22.6	34.6	51.4	12.0

2.2. 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 25 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 2.2 - Fundações características para os apoios utilizados na linha em projeto

Tipo de Apoio	Tipo de Fundação
MT1-25	DRE023

Tipo de Apoio	Tipo de Fundação
MT1-31 MT1-37 MT1-43	DRE027
MTR1-25 MTR1-31	DRE040
MTR1-37 MTR2-19 MTR2-25	DRE045
MTR2-31	DRE052
MTR2-37	DRE060
MTR2G	DRE073
MTA	DRE081
CWT	DRE159

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.

O Anexo A.03 contém os esquemas das fundações normais dos apoios reticulados a instalar.

2.3. CABOS

2.3.1. ASPETOS GERAIS DO DIMENSIONAMENTO

As características mecânicas e elétricas dos cabos estão indicadas no Anexo A.05, as condições gerais de utilização são as habitualmente adotadas pela REN, SA. neste tipo de cabos. Um dos cabos instalados na posição de cabo de guarda será de facto um cabo tipo OPGW (AS/AA 39/94 AST 2X20 FO) (*Optical Ground Wire*), o qual possui no seu interior fibras óticas destinadas às funções de telemedida e telecontrole bem como de telecomunicações em geral.

2.3.1.1. ASPETOS MECÂNICOS

- ≡ Cabos Condutores: **ACSR 485 mm² - ZEBRA (429-AL1/56-ST1A)**
- ≡ Cabos de Guarda: **DORKING (96-AL1/56-ST1A) + OPGW (AS/AA 39/94 AST 2X20 FO)**

As condições de trabalho dos cabos e de estabelecimento impostas no Caderno de Encargos, traduzidas numa distância mínima ao solo de 12 metros para o nível de tensão de 220 kV, assim como a ocorrência de árvores de espécies protegidas que têm de ser preservadas, conduziram aos valores dos parâmetros e trações horizontais dos cabos condutores e cabos de guarda.

A linha em projeto foi calculada para a condição de “Zona A”, garantindo as condições mecânicas exigidas na condição EDS (*Every Day Stress*)⁽²⁾ 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 verificados os ângulos de enrolamento dos cabos condutores nas pinças de suspensão.

2.3.1.2. ASPETOS ELÉTRICOS

Do ponto de vista elétrico, o cálculo efetuado para os diferentes apoios, com o cabo ZEBRA (429-AL1/56-ST1A) e para a tensão nominal da linha, conduz a um campo elétrico máximo à superfície dos condutores de 14.66 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 ZEBRA (429-AL1/56-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 13.2 e o Anexo A.09).

No que diz respeito ao comportamento dos cabos em situações de defeito, considerou-se o nível máximo de corrente de defeito para este projeto de $0.95 \times 40 \text{ kA} = 38 \text{ kA}$, visto que 5% da corrente de curto-circuito se escoia para a subestação mais longe, o cabo ZEBRA (429-AL1/56-ST1A), apresenta-se dimensionado para estas correntes de curto-circuito. O cabo ZEBRA (429-AL1/56-ST1A), apresenta-se dimensionado para correntes de curto-circuito máximas de 38 kA para 0.35 s, correspondendo a uma temperatura máxima do cabo de 92.80°C ($T_{\text{inicial}} = 75^\circ\text{C}$).

⁽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.

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 poste. 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.

O cabo de guarda OPGW (AS/AA 39/94 AST 2X20 FO) apresentará características similares às do cabo DORKING (96-AL1/56-ST1A) mantendo-se, portanto, uma solução equilibrada.

A linha possui em toda a extensão dois cabos de guarda. Admitindo um defeito de 40 kA num dos extremos da linha, ter-se-ia em cada cabo uma corrente de $0.75 \times 40 / 2 = 15\text{kA}$ (supondo o escoamento de 75 % da corrente de defeito pelos cabos de guarda, e 25% da mesma é conduzida pelo poste para terra), correspondendo a uma temperatura máxima de 82.95°C e 97.63°C, para os cabos de guarda DORKING (96-AL1/56-ST1A) e OPGW (AS/AA 39/94 AST 2X20 FO), respetivamente ($T_{\text{inicial}} = 30^\circ\text{C}$).

2.3.2. 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, SA. 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 2.3 - Distâncias de segurança

Obstáculos	220 kV	
	Critério adotado [m]	Mínimos RSLEAT [m]
Solo	12.0	7.1
Árvores	5.0	3.7
Edifícios	6.0	4.7
Estradas	12.0	8.5
Vias-férreas eletrificadas	15.0 ⁽³⁾	14.2 ⁽³⁾
Vias-férreas não eletrificadas	12.0	8.5
Outras linhas aéreas	5.0 ⁽³⁾	4.7 ⁽³⁾
Obstáculos Diversos	5.0	3.7

2.4. 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 pelos cabos e para os efeitos térmicos resultantes do escalão de corrente de defeito máxima.

As uniões e pinças de amarração dos cabos, ZEBRA (429-AL1/56-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 150 kN e temperatura final do material abaixo do limite térmico para correntes de 40 kA durante 0.35 s.

A amarração do OPGW (AS/AA 39/94 AST 2X20 FO) 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.

⁽³⁾ Considerando o ponto de cruzamento a 200 m do apoio mais próximo.

2.5. 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 perspectiva 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 espectro 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.

2.6. CADEIAS DE ISOLADORES

2.6.1. 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.06.

Tabela 2.4 - Classificação da poluição ao longo da linha

Postes	Poluição	Carga 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)⁽⁴⁾, de acordo com o que se define a composição adequada para os diferentes tipos de cadeias na linha, a saber:

Tabela 2.5 - Tipo de cadeias a aplicar

Função da Cadeia Isoladores 220 kV	Tipo e Quantidade Isolador	Plano/Desenho (Ver Anexo A.07)
Cadeias de amarração dupla (Pórtico da subestação)	2x14 U160BS	PL 10171
Cadeias de amarração dupla	2x14 U160BS	PL 10172
Cadeias de suspensão dupla (Condutores Laterais)	2X14 U160BS	PL 10175
Cadeias de suspensão dupla (condutor Central)	2X14 U160BS	PL 10176

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. O comprimento da linha de fuga das cadeias com isoladores U160BS é 5320 mm (21.71 mm/kV).

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.º) preconiza para situação em repouso e desviada pelo vento, respetivamente, 1530 e 1430 mm - valores respetivamente inferiores aos mínimos preconizados pela REN, S.A. ⁽⁵⁾ nos intervalos correspondentes e que são, [1980 – 2050] e [1570 - 1650] em mm para uma variação da distância entre hastes de guarda respetivamente correspondente de, [1800 – 1865] em mm.

⁽⁴⁾ Vd. Norma CEI-60815.

⁽⁵⁾ 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 2.6 - 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
245	1.90	2.00	0.60	0.71

2.6.2. ACESSÓRIOS DE CADEIAS

Os acessórios de 220 kV estão adaptados ao escalão de corrente de defeito de 40 kA, durante 1 s, sendo a densidade máxima de corrente limitada a 75 A/mm².

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.07.

2.6.3. 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/AA 39/94 AST 2X20 FO), 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.07.

2.7. 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:

1. 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;
2. 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 1050 kV
 - ↪ Tensão suportável à frequência industrial de 50 Hz 460 kV
3. 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 [1980 a 2050] mm e na de desviado pelo vento [1570 a 1650] mm, respetivamente para as distâncias entre hastes de [1800 a 1865] mm.

2.8. CIRCUITO DE TERRA DOS APOIOS

2.8.1. NORMALIZAÇÃO ADOTADA

Neste âmbito tomou-se em consideração:

* **Zonas públicas e frequentadas⁽⁶⁾**, as recomendações estipuladas na publicação ANSI/IEEE std 80 -1986 e EN 50341-3-17.

⁽⁶⁾ A fim de se tornar mais claras esta definição diga-se que se entende por **zonas publicas** aquelas onde se verifique uma densidade populacional grande ainda que só em determinadas ocasiões (parques urbanos), áreas destinadas

Os limites especificados para a tensão de contacto e de passo, admitindo uma resistividade do solo de 100 Ω .m e um tempo de eliminação de defeito 0.5 s, são respetivamente:

Tabela 2.7 - Limites especificados para a tensão de contacto e de passo

	Zona Pública	Zona Frequentada
U_c	189	255
U_p	262	355

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

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

Nestas duas últimas zonas, e considerando tempos de eliminação de defeito < 0.5 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.

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 (1000 Ω) 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 poste 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 gravilha 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 deve ser

a convívio cultural, recreativo ou desportivo, recintos destinados a feiras, mercados, atos públicos e religiosos, lugares de 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.

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.

2.8.2. CONSTITUIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS DE TERRA

Indicam-se seguidamente as soluções construtivas para cada uma das situações típicas dos circuitos de terra.

A) Zonas pouco frequentadas e/ou não frequentadas

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 0.8 metros. Complementarmente, será instalado, em todos os apoios, um anel de terra (constituído por um cabo de cobre de $\varnothing = 9\text{mm}$) enterrado horizontalmente a cerca de 0.80 m de profundidade, ligando os quatro elétrodos num anel que rodeará o poste.

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 % do potencial do circuito de terra, segundo a direção da diagonal do apoio ou maciço de fundação:

Tabela 2.8 - Características do tipo de circuito de terra apresentado

Tipo de Circuito de Terra	Resistência de Terra para $\rho = 300 \Omega.m$ [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 $\varnothing = 16\text{mm}$ 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.04.

Convirá salientar que nestas condições, está 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.

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 ZEBRA (429-AL1/56-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.05.

A resistência elétrica quilométrica do cabo ZEBRA (429-AL1/56-ST1A) em corrente contínua à temperatura de 20°C é de 0.0674 Ω /km. A resistência elétrica em corrente alternada ($f = 50$ Hz) tendo em conta o efeito pelicular é de 0.0681 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 $^{\circ}\text{K}^{-1}$.

Obtendo-se para a temperatura máxima de funcionamento de 85°C o valor de 0.08594 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 0.2 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 (0.5);

R – radiação solar [1000 W/m²];

d – diâmetro do condutor [m];

T_A – temperatura ambiente absoluta [°K];

v – velocidade do vento (0.6 m/s para o regime de calma);

E – poder emissivo em relação ao corpo negro (0.6);

σ – constante de *Steffan* [5.7e-8 W/m².K⁴].

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.08 apresenta-se a evolução da temperatura dos condutores para diversos valores eficazes de corrente e diferentes temperaturas ambientes (ie, 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 ZEBRA (429-AL1/56-ST1A) é cerca de 982 A, que corresponde uma capacidade de transporte da linha de 374.19 MVA. Por sua vez, para uma temperatura ambiente de 15°C (“inverno”) a corrente máxima admissível é cerca de 1141 A, a que corresponde a capacidade de transporte de 434.78 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 40 kA;
- Tempo de eliminação de defeitos de 0.35 s;
- No caso do cabo ZEBRA (429-AL1/56-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 38.0 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 poste para a terra, ou seja, que cada cabo terá de suportar 15.0 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 3.1 - Correntes de defeito trifásico previstas

Subestação	Projeto 220 kV
SE Castelo Branco	40 kA
SE CSF Beira	40 kA

No quadro seguinte apresentam-se os valores obtidos podendo verificar-se a conformidade com os limites térmicos acima referidos.

Tabela 3.2 - 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)

Tipo de Condutor	ICC [kA]	tcc [s]	Temp. Inicial [°C]	Temp. Final [°C]	ΔT [°C]	Limite [°C]	Validação
ZEBRA (429-AL1/56-ST1A)	38	0.35	75	102.6	27.6	125	OK
DORKING (96-AL1/56-ST1A)	15	0.35	30	82.9	52.9	200	OK
OPGW (AS/AA 39/94 AST 2X20F)	15	0.35	30	97.6	67.6	200	OK

Face ao atrás exposto e de acordo com os pressupostos indicados, consideram-se adequados para 40 kA tanto o condutor ZEBRA (429-AL1/56-ST1A) como o cabo de guarda do tipo OPGW (AS/AA 39/94 AST 2X20 FO) e 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 MT, considerando a distância mínima dos cabos ao solo do critério REN, S.A. 12 m, ponderada pelo efeito da flecha do cabo como altura média.

No Anexo A.09 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 (no modelo de cálculo o problema é de dimensão 5, para ter em conta os três condutores e os dois cabos de guarda), $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$ (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:

$$[D] = \left[\frac{1}{r_i} \right] \quad i = 1 \dots 5$$

$[A]^{-1}$ 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 3.3 - Campo elétrico máximo à superfície

Tensão Nominal	Tensão Máxima
----------------	---------------

14.66 kV/cm	16.32 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:

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

Onde r é o raio dos cabos, condutores e cabos de guarda, ($i = 1 \dots 5$), 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).

3.1.4. CONSTANTES ELÉTRICAS DA LINHA

3.1.4.1. GRANDEZAS DIRETAS

Tabela 3.4 - Grandezas diretas

Resistência linear [Ω/km]	Reactância longitudinal [Ω/km]	Susceptância longitudinal [S/km]
0.0887	0.4149	2.7890×10^{-6}

3.1.4.2. GRANDEZAS HOMOPOLARES

Tabela 3.5 - Grandezas homopolares

Resistência linear [Ω/km]	Reactância longitudinal [Ω/km]	Susceptância longitudinal [S/km]
0.2837	0.7902	2.0956×10^{-6}

4. DIRETRIZ DA LINHA

Nos desenhos da planta geral do traçado, indica-se o traçado da linha à escala 1:25000.

No perfil e planta parcelar da linha, apresenta-se a localização e especificação dos apoios ao longo do traçado, assim como a posição dos condutores inferiores e dos cabos de guarda em todos os vãos.

4.1. LOCALIZAÇÃO

Os traçados da linha aérea LN CSF Beira – SE Castelo Branco, a 220 kV com comprimento de 33.04 km, desenvolve-se nos seguintes distritos e atravessa os seguintes concelhos e freguesias:

Tabela 4.1 - Localização da linha, segundo a Carta Administrativa Oficial de Portugal

Distrito	Concelho	Freguesia
Castelo Branco	Castelo Branco	Monforte da Beira
		Malpica do Tejo
		Castelo Branco
		Benquerenças

Os distritos, concelhos e freguesias atravessados estão indicados no perfil e planta parcelar. O parcelamento dos terrenos na faixa de 60 metros centrada no eixo da linha assim como os tipos de exploração serão em período de Projeto de Licenciamento também representados na planta parcelar, que conterá ainda, a numeração das parcelas em correspondência com a Relação de Proprietários resultante do levantamento cadastral efetuado.

5. TRAVESSIAS DE VIAS DE COMUNICAÇÃO

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 2.3.2.

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 5.1 - Travessias de estradas

Designação da estrada	Ponto de Travessia	Vértice de Travessia
M351	N/A	V4 – V5
N18-8	km 6 + 470	V12 – V13

S/ identificação	N/A	V17 – V18
N3	km 204 + 930	V17 – V18
A23	km 116 + 280	V20 – V21

5.2. TRAVESSIAS DE SERVIDÕES DE VIAS-FÉRREAS

No traçado da linha ocorrem as seguintes travessias de linhas de caminho-de-ferro:

Tabela 5.2 - Travessias de linhas de caminho-de-ferro

Designação da linhas de caminho-de-ferro	Vértice de Travessia
Linha da Beira Baixa	V17 – V18

5.3. TRAVESSIAS DE CURSOS DE ÁGUA NAVEGÁVEIS

No traçado da linha não ocorrem travessias de cursos de água navegáveis.

5.4. TRAVESSIAS DE CURSOS DE ÁGUA NÃO NAVEGÁVEIS

Tabela 5.3 - Travessias de cursos de água não navegáveis

Designação do Curso de Água	Concelho/Freguesia	Vértice de Travessia
Barroca das Caldeirinhas	Castelo Branco/Monforte da Beira	V3 – V4
Ribeiro da Salgueira	Castelo Branco/Monforte da Beira	V3 – V4
Barroca do Beirão	Castelo Branco/Monforte da Beira	V5 – V6
Ribeiro da Cruz	Castelo Branco/Monforte da Beira	V6 – V7
Ribeiro de Saldo	Castelo Branco/Monforte da Beira	V6 – V7
Ribeiro da Pedreira	Castelo Branco/Monforte da Beira	V6 – V7
Ribeiro da Sancada	Castelo Branco/Malpica do Tejo	V6 – V7
Barroca da Madronheira	Castelo Branco/Malpica do Tejo	V6 – V7
Ribeira da Serra	Castelo Branco/Malpica do Tejo	V7 – V8
Barroca da Tolosa	Castelo Branco/Malpica do Tejo	V7 – V8
Ribeiro do Ramalhoso	Castelo Branco/Malpica do Tejo	V7 – V8
Rio Ponsul	Castelo Branco/Castelo Branco	V8 – V9
Ribeiro do Cagavaio	Castelo Branco/Castelo Branco	V11 – V12
Ribeiro do Sapateiro	Castelo Branco/Castelo Branco	V12 – V13
Ribeira da Pipa	Castelo Branco/Castelo Branco	V13 – V14

Designação do Curso de Água	Concelho/Freguesia	Vértice de Travessia
Ribeira da Eira do Cavalo	Castelo Branco/Castelo Branco	V14 – V15
Ribeira da Paiteira	Castelo Branco/Benquerenças	V15 – V16
Ribeira da Canabichosa	Castelo Branco/Benquerenças	V17 – V19
Ribeira da Nave das Enguias	Castelo Branco/Benquerenças	V19 – V20
Ribeira da Velha	Castelo Branco/Benquerenças	V21 – V22

5.5. SERVIDÕES AERONÁUTICAS CIVIS E MILITARES

No traçado da linha ocorrem as seguintes interferências com servidões Aeronáuticas Civis e Militares:

Tabela 5.4 - Travessias com servidões Aeronáuticas Civis e Militares

Designação das servidões Aeronáuticas Civis e Militares	Vértice de Travessia
Aeródromo Municipal de Castelo Branco	V7 – V11

6. 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 220 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 projeção 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.

7. CRUZAMENTOS COM OUTRAS LINHAS ELÉTRICAS AÉREAS

No traçado da linha ocorrem as seguintes travessias com outras linhas elétricas:

Tabela 7.1 - Cruzamentos com Outras Linhas Elétricas Aéreas

Nível de Tensão [kV]	Designação da Linha	Vértice de Travessia
30	LN PTD 1562 MONTE DOS TRONQUEIRÕES	V4 – V5
30	LN 30KV PT Nº1376 MONTE DA GRANJA DOS CASTELOS	V7 – V8
30	LN P/ PTD 1385 DO M.DA GRANJA DOS CASTELOS.	V7 – V8
30	LN PTC9174 UNIDADE TRATAMENTO RESIDUOS INDUST.BANAIS	V12 – V13
30	0511L3000100	V15 – V16
30	LN C BRANCO - CEBOLAIS (SE 5805 AP8)	V17 – V18
30	LN INT A10 DA LN PTD1237 P.P.GNR - A12-A LN PT1397 BENQUERENÇAS DE CIMA	V17 – V18
150	Linha FALAGUEIRA - CASTELO BRANCO 1/2	V18 – V19
150	Linha FALAGUEIRA - CASTELO BRANCO 3	V18 – V19
60	LN60 1365 Vila Velha de Rodão-Talagueira	V20 – V21
60	S/ identificação	V21 – V22
60	LN60 1358 Oleiros-Castelo Branco (REN)	V22 – V23
150	Linha GARDUNHA - CASTELO BRANCO	V22 – V23

8. CRUZAMENTOS COM SERVIDÕES DE LIGAÇÕES HERTZIANAS

No traçado da linha verifica-se interferências com servidões de ligações hertzianas:

Tabela 8.1 - Travessias com servidões de ligações hertzianas

Designação das servidões de ligações hertzianas	Vértice de Travessia
S/ designação	V17 – V18

9. CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM GASODUTOS

No traçado da linha verifica-se interferências com redes primárias e secundárias de abastecimento de gás:

Tabela 9.1 - Travessias com redes primárias e secundárias de abastecimento de gás

Designação das redes primárias e secundárias de abastecimento de gás	Vértice de Travessia
Portalegre - Guarda	V15 – V16

10. BALIZAGEM AÉREA

10.1. 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.

10.1.1. BALIZAGEM DIURNA

10.1.1.1. 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 (AS/AA 39/94 AST 2X20 FO) 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.

10.1.1.2. 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.



10.1.2. BALIZAGEM NOTURNA

10.1.2.1. APOIOS A SINALIZAR

A balizagem noturna consiste na colocação de balisores 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.

10.2. 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.

As medidas de colisão e eletrocussão para aves serão aplicadas em fase de projeto de licenciamento, de acordo com as imposições da Declaração de Impacte Ambiental (DIA) e/ou sugestão do consultor ambiental.

11. CONTACTOS ACIDENTAIS COM PEÇAS EM TENSÃO

A ocorrência desta situação é improvável e pode resumir-se à utilização de gruas 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 2.3.2, 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”**.

12. 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.

13. EFEITOS DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

13.1. VALORES LIMITES

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 e com DL 11/2003, transpôs para a Legislação Portuguesa os limites de exposição para o território nacional. No quadro II da referida portaria apresentam-se os níveis de referência, de acordo com a tabela abaixo, para a exposição do público em geral e que são os seguintes:

Tabela 13.1 - 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

as 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 para o troço de linha em projeto apresentam-se no Anexo A.09 e A.10, respetivamente.

13.2. 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 em simultâneo as diversas configurações dos apoios utilizados e dois cabos de guarda, estes supostos ao potencial do solo. A disposição geométrica dos cabos corresponde à família de apoios MTG, conforme o apresentado no Anexo A.02, considerando uma distância ao solo que corresponde à distância média absoluta em todo o projeto⁽⁷⁾. 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 $[(q_r + j \cdot q_i)j] = 1, \dots, 5$ 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 $[(v_r + j \cdot v_i)j] = 1, \dots, 5$ o vetor de fasores de tensões. A matriz $[\tilde{P}]$ é simétrica e os seus elementos definidos por:

⁽⁷⁾ Quer dizer, é a distância média considerando a menor distância ao solo e o efeito da flecha expectável num vão.

⁽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.

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

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

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):

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

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

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

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

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

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.09 apresentam-se os perfis transversais do campo elétrico máximo ao nível do solo e a 1.8 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 220 kV, com um condutor por fase, cabos de guarda ao potencial do solo e valor eficaz do módulo da tensão na linha no seu valor nominal e para a altura mínima adotada pela REN, SA.

Tabela 13.2 - Valores calculados do campo elétrico

Altura média dos cabos ao solo [m]	Campo Elétrico Máximo (Nível do solo) [kV/m]	Campo Elétrico Máximo (a 1.8m do solo) [kV/m]
12.00	1.62	1.68

Estes valores, como se verifica, estão dentro dos limites apresentados em 13.1.

13.3. 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⁾

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

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.10 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 e para a altura mínima adotada pela REN, SA. 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.09 apresentam-se os diversos perfis transversais da densidade de fluxo magnético a 1.8 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.08. Para a linha em projeto, com a configuração imposta pelos apoios utilizados, com regime de correntes suposto trifásico e equilibrado o valor máximo da densidade de fluxo magnético a 1.8 m do solo é de:

Tabela 13.3 - Valores calculados do campo magnético

Altura média dos cabos ao solo [m]	Densidade de Fluxo Magnético (a 1.8m do solo) [μT]
12.00	18.072

Os valores da indução magnética decaem rapidamente e para o caso mais desfavorável a 30 m do eixo da linha não excedem 2.08 μT. Todos os valores calculados são muito inferiores aos valores limites apresentados em 13.1 mesmo numa perspetiva de exposição pública permanente.

⁽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. No caso de linhas simples o número de condutores são 3.

13.4. 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 impactos 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 12 m (para linhas de 220 kV), e também aos restantes obstáculos que são bastante mais conservadoras do que as distâncias mínimas definidas regulamentarmente. 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, como é o caso da linha em projeto, a 220 kV, 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).

No entanto decorrente da análise do traçado, para este tema em concreto, verifica-se não ser necessário a adoção das medidas adicionais atrás referidas.



14. ELEMENTOS DO PROJETO PRÉVIO

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

- ≡ Peças Escritas:
 - ↪ Memória Descritiva
 - ↪ Anexos à Memória Descritiva
 - A.01 Elementos Gerais da Linha
 - A.02 Esquema Axial dos Apoios
 - A.03 Esquema das Fundações
 - A.04 Circuitos de Terra dos Apoios
 - A.05 Características dos Cabos
 - A.06 Características dos Isoladores
 - A.07 Planos de Cadeias de Isoladores e Fixação dos CG
 - A.08 Capacidade Térmica dos Cabos (Em Regime Permanente)
 - A.09 Campo Elétrico
 - A.10 Indução Magnética
- ≡ Peças Desenhadas:
 - ↪ Planta Geral do Traçado da Linha, à escala 1:25000;
 - ↪ Planta Geral do Traçado da Linha inserido sobre Ortofotomapas;
 - ↪ Perfil e Planta Parcelar.

Porto, 9 de outubro de 2023,

O AUTOR DO PROJETO

(Rui Sá)

VERIFICADO POR

(Marcelo Pereira)

O TÉCNICO RESPONSÁVEL

(Marcelo Pereira)

Ordem Eng^{os} nº 065810

DGEG nº 56693



VALUE ELEMENT ENGINEERING
SOLUTIONS

M Av. Central Seroa, 594, 2º andar,
4595-415 Seroa – Paços de Ferreira
E geral@valueelement.pt

T +351 255 871 022
W www.valueelement.pt
in [value-element-engineering-solutions](https://www.linkedin.com/company/value-element-engineering-solutions)