

Análise da Solução “Condutores Especiais” no Incremento da Capacidade de Transporte das Linhas Aéreas de Muito Alta Tensão

Rui Filipe Silva Mendes Cunha

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
sob orientação de
Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

(O Presidente do Júri, Professor Doutor Vladimiro Henrique Barrosa Pinto de Miranda)

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Rua Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal

Março de 2008

RESUMO

A constituição do Mercado Ibérico de Electricidade, aliada à forte aposta nacional nas energias renováveis, criaram grandes limitações na capacidade de transporte da RNT.

O aumento da capacidade de transporte de electricidade pode ser obtido com a construção de novas linhas, ou pelo aumento da capacidade de transporte das linhas já existentes. Tendo em conta que o licenciamento de novos corredores de linha é actualmente muito difícil de obter e que as populações estão cada vez mais atentas e preocupadas com possíveis problemas de saúde associados às linhas de Muito Alta Tensão, os métodos que permitem aumentar a capacidade de transporte das linhas já existentes ganham uma importância acrescida.

Actualmente a solução mais utilizada para o aumento da capacidade de transporte de uma linha é o “uprating” com recurso à elevação dos apoios, que obriga a intervenções demoradas, trabalhosas e difíceis de realizar em zonas densamente povoadas ou de difícil acesso.

É desta forma que surge a importância de avaliar a aplicabilidade de Condutores Especiais nos “uprating” de Linhas Aéreas de Muito Alta Tensão.

A aplicação de Condutores Especiais permite o aumento da capacidade de transporte sem que sejam necessárias grandes alterações nos apoios, resultando então tempos de execução muito mais reduzidos, e menor impacto ambiental.

Esta solução é bastante atractiva do ponto de vista técnico, mas devido ao elevado custos dos Condutores Especiais a sua aplicação não pode ser generalizada.

No estudo efectuado, concluiu-se que na generalidade dos vãos analisados a substituição do condutor Zebra pelo Condutor Especial ACCR 795/T16, seria o suficiente para resolver todos os problemas de distâncias mínimas a obstáculos definidas no Regulamento, sem que houvesse necessidade de fazer alterações nas estruturas.

Palavras-chave

Condutores Especiais, “Uprating”, Capacidade de Transporte, Linhas Aéreas de Muito Alta Tensão.

ABSTRACT

The creation of the Iberian Electricity Market, in conjunction with the strong Portuguese investment in renewable energy sources, has created big limitations in RNT transport capability.

Increasing the capacity for electricity transport can be done by constructing new power lines, or by augmenting the capacity of the existing ones. Since licensing new lines is nowadays very difficult and given the fact that the general public is more concerned about possible health problems related to Overhead Transmission Lines, the methods that focus on increasing the capacity of already existing lines have gain even more importance.

Presently, the most used solution to increase the transport capacity of a line is the uprating relying on elevating the structure supports, which in turn makes the associated construction work take more time, besides being very difficult to do in areas with high population density or bad accessibilities.

Because of all of this it is important to evaluate the applicability of High Capacity Conductors when uprating Overhead Transmission Lines.

Applying High Capacity Conductors allows increasing the transport capacity without the need to do significant modifications on the structure supports, resulting in smaller intervention times and less environmental impact.

This solution is quite attractive from the technical point of view, but the prohibitive cost of High Capacity Conductors does not allow it to be used on all common cases.

In our study we concluded that, in the general case of the line portions we analyzed, substituting the Zebra conductor with the High Capacity Conductor ACCR 795/T16 would be enough to solve the problems related to minimal distances to obstacles defined by law, without the need to do modifications on the structures that support the power lines.

Keywords

High Capacity Conductor, Uprating, Transmission Capacity, Overhead Transmission Lines.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura, por todo o apoio que me deu, pela disponibilidade, pelos conselhos e correcções dadas.

Quero também agradecer ao Eng. João Guincho, por todo o apoio prestado, pelos conhecimentos transmitidos e pela disponibilidade que sempre teve para esclarecer as minhas dúvidas.

Ao meu cunhado Pedro Ribeiro quero agradecer a total disponibilidade que sempre demonstrou para me ajudar e para resolver os problemas que iam aparecendo no meu computador.

Aos meus colegas de faculdade, pela amizade, pelo convívio e pela ajuda que sempre me deram nos momentos difíceis do curso.

Aos meus pais e irmã, por me apoiarem durante todo o curso.

Ao meu afilhado Samuel, pela companhia e alegria transmitida durante a realização deste trabalho.

Por último quero agradecer à minha namorada, a Patrícia, pela paciência, conselhos e apoio que sempre me deu.

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	10
1.1 – Introdução aos Condutores Especiais.....	10
1.2 – “Uprating” com Condutores Especiais.....	14
1.3 – Conclusões do capítulo.....	15
CAPÍTULO 2 – SÍNTESE TÉCNICA DA REDE.....	16
2.1 - Apoios (Postes).....	16
2.1.1 - Famílias de Apoios.....	19
2.1.2 - Tipos de Apoios.....	24
2.1.2.1 – Suspensão.....	24
2.1.2.2 – Amarração.....	25
2.2 - Cadeia de Isoladores.....	26
2.3 – Cabos.....	29
2.3.1 - Cabos Condutores	29
2.3.2 - Cabos de Guarda	30
2.4 – Acessórios.....	31
2.4.1 – Amortecedores.....	31
2.4.2 - Separadores	33
2.4.3 - Balizagem	34
2.4.3.1 - Sinalização para aeronaves	34
2.4.3.2 - Sinalização para avifauna ou BFD – Bird Fly Diverter	35
2.5 – Conclusões do capítulo.....	36
CAPÍTULO 3 – PRINCIPAIS FACTORES QUE CONDICIONAM A	
CAPACIDADE DE TRANSPORTE.....	37
3.1 – Aumento do consumo de electricidade.....	37
3.2 – A interligação com Espanha.....	38
3.3 – Energias Renováveis.....	40
3.4 – Conclusões do capítulo.....	41
CAPÍTULO 4 – ACTUAL METODOLOGIA DE AUMENTO DA	
CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE UMA LINHA.....	42
4.1 – Elevação dos Apoios.....	43
4.2 – Passagem do Poste de Suspensão a Amarração.....	44
4.3 – Reposição da Tensão Mecânica dos Condutores	44

4.4 – Substituição dos Condutores.....	44
4.5 – Monitorização usando Réplicas de Condutores.....	45
4.6 – Monitorização de condutores – Método CAT-1.....	46
4.7 – Monitorização da flecha – Vídeo.....	47
4.8 – Conclusões do capítulo.....	47
CAPÍTULO 5 – PROGRAMA DE AUXÍLIO AO CÁLCULO MECÂNICO	48
5.1 – Apresentação do programa.....	48
5.1.1 – Folha de trabalho.....	49
5.1.2 – Tabela de Cabos.....	50
5.1.3 – Cálculo Térmico.....	51
5.1.4 – Catenárias.....	52
5.2 – Teste do programa.....	53
5.3 – Conclusões do capítulo.....	54
CAPÍTULO 6 – CONDUTOR SELECCIONADO PARA O ESTUDO.....	55
6.1 – Características do condutor.....	55
6.2 – Conclusões do capítulo.....	56
CAPÍTULO 7 – CASO DE ESTUDO.....	58
7.1 – Definições Regulamentares.....	58
7.2 – Análise da aplicação do condutor ACCR.....	60
7.2.1 – Cálculo mecânico do condutor ACCR 795/T16 a 87°C.....	61
7.2.2 – Comparação das catenárias do condutor Zebra a 85°C com o condutor ACCR 795/T16 a 87°C.....	62
7.2.3 – Análise das distâncias regulamentares de segurança.....	68
7.3 – Condutor ACCR a 95°C.....	70
7.4 – Comparação de custos.....	70
7.5 – Conclusões do capítulo.....	71
CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXO A – Características do Condutor ACCR da 3M.....	75
ANEXO B – TABELAS DA ANÁLISE MECÂNICA DO CANTÃO 6.....	76
ANEXO C – Memória descritiva do “uprating” REN.....	78
ANEXO D – Orçamentação das soluções comparadas.....	99
ACRÓNIMOS.....	5
GLOSSÁRIO.....	6

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Condutor ZTACSR.....	11
Figura 1.2: Condutor GZTACSR.....	11
Figura 1.3: Condutor ZTACIR.....	11
Figura 1.4: Condutor ACSS.....	12
Figura 1.5: Condutor ACCC.....	12
Figura 1.6: Condutor ACCR.....	12
Figura 1.7: Comportamento da flecha com o aumento da temperatura.....	14
Figura 2.1: Apoio em Suspensão.....	16
Figura 2.2: Apoio em Amarração.....	17
Figura 2.3: Pinça de Suspensão (cabo guarda).....	24
Figura 2.4: Pinça de Amarração	25
Figura 2.5: Cadeia de amarração dupla.....	27
Figura 2.6: Descarregador de sobretensão.....	31
Figura 2.7: Amortecedor “Stock bridge”.....	31
Figura 2.8: Analisador de vibrações.....	33
Figura 2.9: Separador.....	34
Figura 2.10: Balizagem diurna das linhas.....	34
Figura 2.11: Balizagem diurna dos apoios	35
Figura 2.12: Balizagem nocturna de linhas	35
Figura 2.13: BFD – “Bird Fly Diverter”.....	36
Figura 3.1: Evolução da estrutura de produção.....	37
Figura 3.2: Trocas anuais de energia ente Portugal e Espanha.....	38
Figura 3.3: Interligações entre Portugal e Espanha.....	39
Figura 3.4: Alterações recentes das Interligações entre Portugal e Espanha	39
Figura 3.5: Gráfico das entregas ao SEP dos PRE’s renováveis entre 1988 e 2010.....	40
Figura 3.6: Potência Eólica num período de 24h.....	41
Figura 4.1: Aplicação de um módulo num apoio.....	43
Figura 4.2: Dispositivo de monitorização.....	46
Figura 4.3: Sensor de variação da temperatura.....	46
Figura 4.4: Célula de carga.....	46
Figura 4.5: Aplicação do aparelho de monitorização.....	47

Figura 5.1: Folha de Trabalho.....	49
Figura 5.2: Folha “Tabela de Cabos”.....	50
Figura 5.3: Folha “Cálculo Térmico”.....	52
Figura 5.4: Folha “Catenárias”.....	53
Figura 6.1: Composição do condutor ACCR.....	55
Figura 6.2: Comparação da flecha, para a mesma carga na linha.....	56
Figura 7.1: Folha de cálculo da análise mecânica do condutor ACCR.....	61
Figura 7.2: Comparação das catenárias no vão 16-17.....	62
Figura 7.3: Comparação das catenárias no vão 17-18.....	63
Figura 7.4: Comparação das catenárias no vão 24-25.....	63
Figura 7.5: Comparação das catenárias no vão 27-28.....	64
Figura 7.6: Catenária dos condutores Zebra e ACCR no vão 16-17 com pontos de fixação à mesma cota.....	65
Figura 7.7: Catenária dos condutores Zebra e ACCR no vão 17-18 com pontos de fixação à mesma cota.....	65
Figura 7.8: Catenária dos condutores Zebra e ACCR no vão 24-25 com pontos de fixação à mesma cota.....	65
Figura 7.9: Catenária dos condutores Zebra e ACCR no vão 27-28 com pontos de fixação à mesma cota.....	66
Figura 7.10: Comportamento da flecha com o aumento da temperatura no Condutor ACCR.....	66
Figura 7.11: Comportamento da flecha com o aumento da temperatura no Condutor Zebra.....	67
Figura 7.12: Comportamento da tracção com o aumento da temperatura no Condutor ACCR.....	67
Figura 7.13: Comportamento da tracção com o aumento da temperatura no Condutor Zebra.....	68
Figura 7.14: Comparação das catenárias no vão 16-17.....	68
Figura 7.15: Comparação das catenárias no vão 17-18.....	69
Figura 7.16: Comparação das catenárias no vão 24-25.....	69
Figura 7.17: Comparação das catenárias no vão 27-28.....	69
Figura 7.18: Catenária do condutor ACCR a 95°C.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1: Características das ligas de alumínio utilizadas nos condutores em estudo.....	13
Tabela 1.2: Características da alma dos condutores em estudo.....	13
Tabela 2.1: Distâncias no ar para os diferentes níveis de tensão.....	28
Tabela 5.1: Verificação dos parâmetros calculados pelo Programa	53
Tabela 5.2: Verificação das flechas calculadas pelo Programa.....	54
Tabela 5.3: Comparação com o parâmetro do PLS-CADD.....	54
Tabela 7.1: Distâncias RSLEAT a obstáculos.....	59
Tabela 7.2: Distâncias REN a obstáculos.....	60
Tabela 7.3: Temperaturas de funcionamento.....	60
Tabela 7.4: EDS e parâmetro de regulação do cantão em estudo.....	61
Tabela 7.5: Comparação de custos das diferentes soluções.....	71

ACRÓNIMOS

ACCC	“Aluminium Conductors Steel Reinforced”
ACCR	“Aluminium Conductors Composite Reinforced”
ACCC	“Aluminium Conductors Composite Core”
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
EDS	“Every-day-stress”
GTZACSR	“Gap Type Ultra Thermal Resistant Aluminium Conductors Steel Reinforced”
LMAT	Linha de Muito Alta Tensão
MAT	Muito Alta Tensão
MIBEL	Mercado Ibérico de Electricidade
MT	Média Tensão
OPGW	“Optical Ground Wire”
PRE’s	Produtores em Regime Especial
REN	Redes Energéticas Nacionais
RNT	Rede Nacional de Transporte
RSLEAT	Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão
SEP	Sistema Eléctrico Público
ZTACIR	“Ultra Thermal Resistant Aluminium Conductors Invar Reinforced”
ZTACSR	“Ultra Thermal Resistant Aluminium Conductors Steel Reinforced”
ZTAL	Alumínio Zircónico

GLOSSÁRIO

Apoio (ou poste) – Dispositivo destinado a suportar um conjunto de cabos condutores e de guarda, isoladores e acessórios de uma linha eléctrica aérea.

Circuito – Sistema de três condutores através dos quais flui um sistema trifásico de correntes eléctricas.

Cantão – Porção de uma linha compreendida entre dois apoios, nos quais os condutores são fixados por amarração.

Corredor – Faixa de terreno, com largura de 400 m ao longo da qual é possível definir o traçado da linha. Os corredores são condicionados pela presença de obstáculos, sejam eles de natureza técnica (declives, obstáculos geomorfológicos, climatológicos e de poluição atmosférica), ambientais (zonas de elevada sensibilidade, paisagens protegidas), ou de ocupação do solo (florestas, povoações, monumentos, presença de outros sistemas lineares de transporte e comunicação e proximidade de aeroportos).

EDS – Razão entre a tensão mecânica mais frequente do cabo (15 °C sem vento) e a sua tensão de rotura.

Linha – Conjunto de equipamentos que interligam duas ou mais instalações eléctricas.

Rede – Conjunto de subestações, linhas, cabos e outros equipamentos eléctricos ligados entre si com vista a transportar a energia eléctrica produzida pelas centrais até aos consumidores.

Rede de distribuição – Parte da rede utilizada para condução da energia eléctrica, dentro de uma zona de consumo, para o consumidor final.

Rede de transporte – Parte da rede utilizada para o transporte da energia eléctrica, em geral e na maior parte dos casos, dos locais de produção para as zonas de distribuição e de consumo.

Rede Nacional de Transporte – Compreende a rede de muito alta tensão, rede de interligação, instalações do Gestor de Sistema e os bens e direitos conexos.

Tensão – A tensão nominal de uma linha é o valor da diferença de potencial eléctrico entre os condutores dessa linha e o solo suposto ao potencial zero. Os valores de tensão nominal das linhas eléctricas (ou melhor, de instalações e equipamentos eléctricos) estão normalizados. O valor desta tensão caracteriza ou parameteriza de várias maneiras as instalações. Em particular, a geometria das linhas é condicionada pelo valor da tensão, quer pelos valores das distâncias mínimas a observar para o bom funcionamento dos equipamentos, como pelas distâncias de segurança ao solo e a outros obstáculos sobrepassados, ou em geral, na vizinhança da linha. Um conjunto de siglas é usado habitualmente para designar genericamente o nível de tensão das linhas nas redes de distribuição e transporte em Portugal (Definição de acordo com DL 182/95 (artigo 4º)):

BT: $U_n < 1 \text{ kV}$

MT: $1 \text{ kV} < U_n < 45 \text{ kV}$

AT: $45 \text{ kV} < U_n < 110 \text{ kV}$

MAT: $110 \text{ kV} < U_n$

Traçado – Caminho a seguir pela linha no interior de um corredor. Corresponde à localização espacial precisa da linha e é ditado pelas características técnicas desta (ângulos, largura da zona de protecção) e por condicionantes económicas (comprimento, tipo de fundações e postes) e ambientais (minimização dos impactes dentro do corredor).

“Upgrading” – Aumento da capacidade de transporte de energia eléctrica da linha através da subida do seu nível de tensão.

“Uprating” – Aumento da capacidade de transporte de energia eléctrica da linha sem subir o seu nível de tensão.

Vão – Distância (espaço) entre dois apoios. Normalmente é medido em metros.

Vão Gravítico de um Apoio – Comprimento horizontal medido entre os pontos mais baixos das catenárias adjacentes de um determinado apoio.

Vão de Vento de um Apoio – Semi-soma dos dois vãos adjacentes a esse apoio.

Vértice – Ponto de inflexão do traçado de uma linha e que faz um ângulo. Este ângulo é medido num referencial local, entre a linha que prolonga o alinhamento, na direcção crescente de distância à origem. Este ângulo é indicado em unidades angulares de graus com a indicação (+) à direita (D) ou (-) à esquerda (E), considerando um observador olhando no sentido de progressão da linha.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

No título desta dissertação, o termo “Incremento da Capacidade de Transporte”, refere-se ao aumento da capacidade de transporte de uma linha sem alteração do nível de tensão. Normalmente esta alteração é designada pelo termo anglo-saxónico “Uprating”, sendo por isso utilizada essa designação na restante dissertação.

A crescente preocupação da sociedade com o ambiente, nomeadamente com o impacte ambiental provocado por infra-estruturas de elevadas dimensões como é o caso das Linhas Aéreas de Muito Alta Tensão, têm criado muitas dificuldades à expansão da RNT. Assim sendo, o aumento da capacidade de transporte da RNT depende fortemente da optimização da exploração das linhas já existentes. A utilização de “Condutores Especiais” nos “uprating” é mais uma solução para o problema da capacidade de transporte.

Neste capítulo, para além de breve introdução aos Condutores Especiais, é feita uma descrição da sua aplicação nos “uprating” das linhas de Muito Alta Tensão.

No capítulo seguinte é feita uma síntese técnica da RNT, que dá uma visão dos elementos que constituem a nossa rede, seguindo-se uma descrição dos factores que mais contribuem para a necessidade do aumento da capacidade de transporte. O capítulo seguinte descreve a actual metodologia de aumento da capacidade de transporte, seguindo-se o capítulo que descreve o programa desenvolvido para o auxílio ao cálculo mecânico.

Por fim, nos capítulos finais descreve-se o condutor especial seleccionado para o estudo, seguindo a análise da aplicação desse condutor a uma linha específica, culminando com algumas conclusões sobre a viabilidade da aplicação do condutor em estudo.

1.1 – Introdução aos Condutores Especiais

Os condutores Especiais de Altas Temperaturas, são condutores reforçados mecanicamente e que por isso apresentam melhor comportamento quando sujeitos a temperaturas elevadas, uma vez que dilatam muito menos que os condutores convencionais, não alterando significativamente as suas propriedades eléctricas com esse aumento da temperatura.

Como exemplos de condutores especiais temos:

- O ZTACSR, condutor que difere do conhecido ACSR apenas pela aplicação de uma liga de alumínio-zircônio (ZTAL), que lhe confere a possibilidade de funcionar a temperaturas de até 210°C sem recozer os seus fios de alumínio, não impedindo no entanto os valores elevados da flecha;

Fonte: www.sumitomoslectricusa.com



Figura 1.1: Condutor ZTACSR

- O GZTACSR, condutor idêntico ao anterior, mas que apresenta uma pequena falha entre a alma em aço com elevada resistência mecânica e a camada interna dos condutores de alumínio, para que toda a tracção do cabo seja suportada pela alma;



Fonte: www.sumitomoslectricusa.com

Figura 1.2: Condutor GZTACSR

- O ZTACIR, formados por ligas ZTAL e alma em fios Invar, ou aço galvanizado revestido a alumínio, que lhe confere um coeficiente de dilatação linear muito baixo;



Fonte: www.sumitomoslectricusa.com

Figura 1.3: Condutor ZTACIR

- O ACSS (Aluminium Conductor Steel Supported), condutor formado por fios de alumínio inteiramente recozidos para melhorar a condutividade eléctrica e reforçados na zona central por fios de aço;



Fonte: www.cable.alcan.com

Figura 1.4: Condutor ACSS

- O ACCC (Aluminium Conductor Composite Core), condutor constituído por barras de alumínio e reforçado na zona central por compósito de fibras de Vidro;



Fonte: www.compositetechcorp.com

Figura 1.5: Condutor ACCC

- O ACCR (Aluminium Conductor Composite Reinforced), condutor em alumínio-zircónio e zona central reforçada por compósito metalo-cerâmico.



Fonte: www.3m.com

Figura 1.6: Condutor ACCR

Nas tabelas seguintes pode comparar-se as principais características dos constituintes dos diversos condutores. Na primeira temos as características dos diferentes tipos de ligas de alumínio utilizados nos condutores acima referidos.

Tipo de Alumínio		Condutividade (%IACS)	Resistência à tracção mínima (Mpa)	Temperatura de Funcionamento Admissível (°C)	
				Contínuo	Emergência*
Duro	1350-H19 (HAL)	61,2	159-200	90	120
Termicamente Resistente	TAL	60	159-176	150	180
Extra-Resistente Termicamente	ZTAL	60	159-176	210	240
Recozido	1350-0	63	59-97	200-250**	250**

Tabela 1.1: Características das ligas de alumínio utilizadas nos condutores em estudo

Na segunda temos os diferentes tipos das almas dos condutores e as suas características mecânicas.

Tipo de Conductor	Resistência à Tracção Mínima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coefficiente de Dilatação Linear (μ)
ACSR / ZTACSR	1230-1320	206	11,5
GZTACSR	1765	206	11,5
ZTACIR	1030-1080	162	2,6-3,6
ACSS	1280-1450 1520-1620	206 (inicial) 186 (final)	11,5
ACCC	(a)	117	1,61
ACCR	1380	216	6,3

(a) – Valor não encontrado

Tabela 1.2: Características da alma dos condutores em estudo

No gráfico seguinte pode observar-se para alguns condutores o comportamento da flecha com o aumento da temperatura.

Fonte: Sumitomo Electric U.S.A.

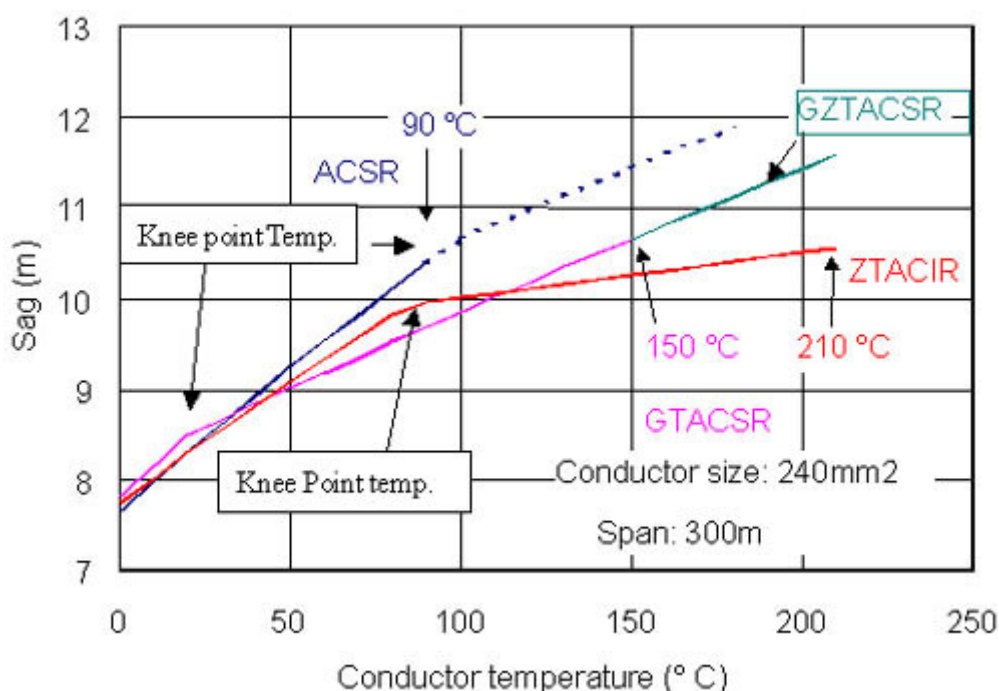


Figura 1.7: Comportamento da flecha com o aumento da temperatura

1.2 – “Uprating” com Condutores Especiais

Nos “uprating” com condutores especiais, além da substituição dos condutores, são também substituídos os acessórios (pinças e uniões), uma vez que estes têm que estar igualmente preparados para temperaturas de funcionamento elevadas. Este tipo de solução, é bastante simples de efectuar, tem um tempo de execução menor quando comparado com as actualmente utilizadas pela REN nas linhas da RNT. Com particular relevância o facto de não ter grande impacto no meio ambiente, uma vez que não são necessárias grandes modificações de apoios, considerando-se por isso, uma mais valia a utilização desta solução, quando estamos perante zonas densamente povoadas ou de difícil acesso.

As tarefas necessárias para a sua execução são:

- Colocação dos condutores em roldanas;
- Substituição dos acessórios de fixação dos condutores às cadeias de isoladores;
- Desenrolamento do condutor existente na linha;
- Passagem do novo condutor;
- Regulação do parâmetro;
- Fixação dos condutores.

1.3 – Conclusões do capítulo

Facilmente se pode depreender neste capítulo que os Condutores Especiais podem ter um papel importante nos “uprating” das linhas de Muito Alta Tensão, pelas suas características de elevada resistência mecânica, ligas de alumínio que permitem o seu funcionamento a elevadas temperaturas e pela simples e rápida instalação, permitindo assim um reduzido impacto ambiental.

CAPÍTULO 2 – SÍNTESE TÉCNICA DA REDE

Uma linha é constituída essencialmente por apoios, condutores e isoladores. Os apoios têm a função de suporte da linha e de manutenção das distâncias mínimas dos condutores ao solo ou a superfícies navegáveis; os condutores são os responsáveis pela transmissão de energia de um ponto para outro; por ultimo, os isoladores asseguram a fixação dos condutores aos apoios, mantendo o isolamento entre eles.

2.1 - Apoios (Postes)

A principal função dos postes é servir de apoio às linhas, garantindo que estas respeitam as distâncias mínimas a outras linhas ou ao espaço envolvente, nomeadamente ao solo, a árvores ou edifícios.

Existem dois sistemas de fixação dos cabos condutores aos apoios, que, usualmente denominam os mesmos como:

- **Suspensão**

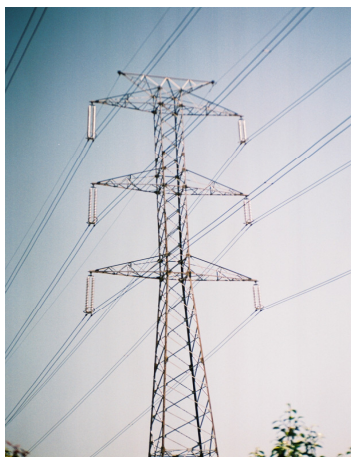


Figura 2.1: Apoio em Suspensão

- **Amarração**



Figura 2.2: Apoio em Amarração

Na Rede Nacional de Transporte (RNT), a estrutura mais utilizada é em aço reticulado, embora por motivos estéticos e de maior integração no espaço envolvente, já se comecem a utilizar estruturas tubulares em aço. Todos os apoios, independentemente do seu tipo, estão sujeitos a esforços aos quais têm de resistir, para que seja assegurada a estabilidade das linhas. Estes esforços podem ser de diversos tipos:

- Longitudinais
- Transversais
- Torcionais
- Verticais

Variam em grandeza de acordo com o tipo de apoio. Como exemplo, um apoio em suspensão tem como principal característica a resistência a esforços verticais em comparação com um em amarração, que apresenta maior resistência aos esforços longitudinais, nomeadamente se existir quebra de um condutor para o qual tem de estar dimensionado e ser capaz de suportar esses esforços excepcionais. Assim, os esforços podem ser normais e excepcionais, sendo que os excepcionais podem ser causados pela quebra de um condutor que altera significativamente os esforços a que um apoio está sujeito. No cálculo destes esforços tem-se em conta a tracção exercida pelos cabos, o peso da própria estrutura e a pressão do vento sobre esta, sobre os condutores (incluindo os cabos de guarda caso existam) e restantes elementos constituintes das linhas. É o cálculo destes esforços que permitirá numa fase seguinte dimensionar o apoio e as suas

fundações, que garantirá a estabilidade deste e a resistência ao arrancamento que os esforços atrás mencionados induzem à estrutura do apoio.

Cada estrutura apresenta quatro pontos de apoio no solo, sendo estes constituídos por um maciço de betão independente, formados por chaminé prismática e sapata em degraus. As fundações são dimensionadas para os esforços máximos que lhe poderão ser transmitidos pela estrutura metálica, dependendo o seu cálculo das condições geotécnicas do terreno onde serão implantadas.

O volume de terras que contribui para a estabilidade do apoio é o “cone” definido pela aresta a 30° do último degrau da chaminé prismática, cujo peso e compressão impedirá o arrancamento induzido pelos diversos esforços descritos.

Através da estrutura metálica dos apoios é feita a ligação à terra, permitindo o escoamento de correntes de defeito para a terra.

De acordo com o disposto no regulamento de linhas de alta tensão, a ligação à terra deverá ser realizada individualmente numa das cantoneiras montantes do apoio se a resistência de terra for superior a 20Ω , sendo que, caso a resistência de terra seja de valor inferior ao referido é dispensável a ligação individualizada, desde que não existam aí instalados aparelhos de corte ou transposições de linhas aéreas para linhas subterrâneas.

Na Rede Nacional de Transporte a ligação à terra é realizada individualmente em todos os apoios e são ligadas as quatro cantoneiras montantes destes à terra através de um cabo de cobre, que é por sua vez ligado a quatro estacas por intermédio de ligadores apropriados, procurando-se sempre um bom contacto e de baixa resistência eléctrica. Além disso, se o valor da resistência de terra for superior a 20Ω é efectuada uma ligação em anel das quatro cantoneiras referidas, para melhorar o circuito de terra do apoio, permitindo um melhor escoamento das correntes de defeito, evitando consequências indesejadas e potencialmente perigosas.

Procura-se também que o valor da resistência de terra seja inferior a 15Ω no primeiro km junto das subestações, prevenindo eventuais contornamentos por arco de retorno. Em situações que este valor não seja conseguido, é possível instalar um anel a unir as quatro estacas para melhorar o circuito de terra.

O fenómeno de arco de retorno consiste no escorvamento que ocorre, quando uma descarga atmosférica incide sobre o cabo de guarda provocando uma elevação do potencial da estrutura metálica do apoio que despontará um arco no sentido apoio – condutor (terra – fase) sobre a cadeia de isoladores. Normalmente é devido ao caminho

estar ionizado, verifica-se um novo escorvamento (50 Hz), mas desta vez no sentido fase – terra por esse percurso.

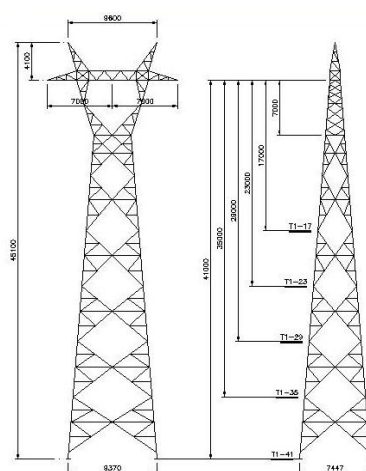
2.1.1 - Famílias de Apoios

Na Rede Nacional de Transporte são utilizados apoios que se encontram subdivididos em diversos modelos que constituem pequenos grupos denominados por famílias, de acordo com a resistência aos diversos esforços a que são sujeitos, nível de tensão, disposição dos condutores, local de instalação (exemplo: fim de linha), etc.

Dentro dessas famílias, os modelos apresentados de seguida são os que têm mais destaque, por serem os mais utilizados na Rede Nacional de Transporte:

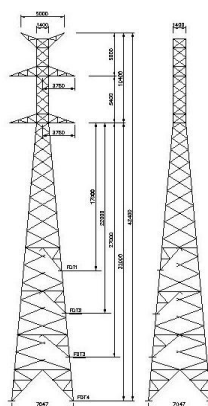
- **150 kV**

Família de postes tipo T



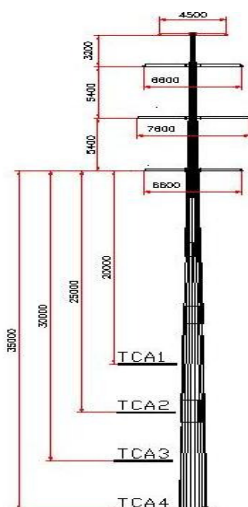
Tipo T	Suspensão / Amarração
Nº de circuitos	1
Nº de circuitos de Terra	2

Família de postes tipo F



Tipo F	Suspensão
Nº de circuitos	2
Nº de circuitos de Terra	2

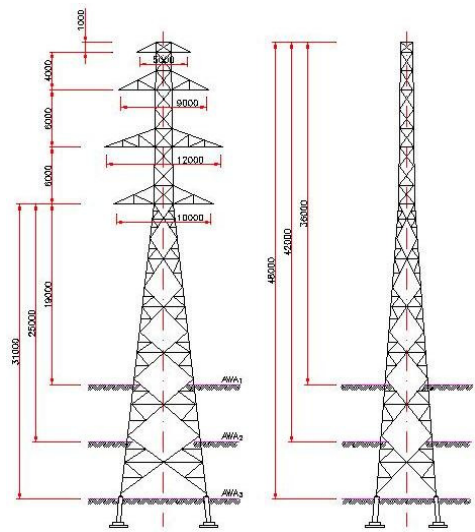
Família de postes tipo TCA (Tubulares)



Tipo TCA	Suspensão
Nº de circuitos	2
Nº de circuitos de Terra	2

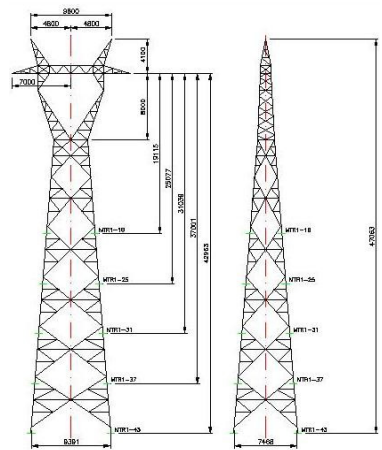
- 220 kV

Família de postes tipo AW



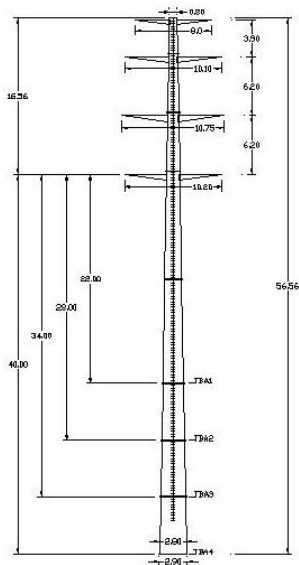
Tipo W	Suspensão / Amarração
Nº de circuitos	2
Nº de circuitos de Terra	2

Família de postes tipo M



Tipo M	Suspensão / Amarração
Nº de circuitos	1
Nº de circuitos de Terra	2

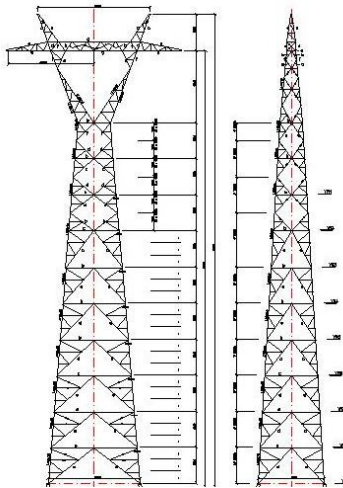
Família de postes tipo TBA (Tubulares)



Tipo TBA	Suspensão / Amarração
Nº de circuitos	2
Nº de circuitos de Terra	2

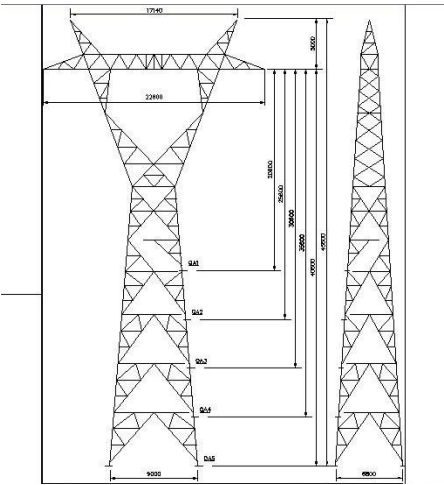
- 400 kV

Família de postes tipo Y



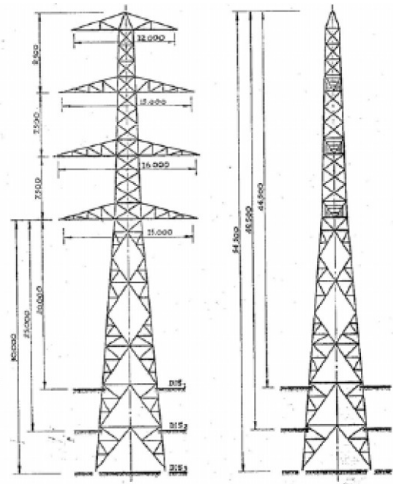
Tipo Y	Suspensão / Amarração
Nº de circuitos	1
Nº de circuitos de Terra	2

Família de postes tipo Q



Tipo Q	Suspensão / Amarração
Nº de circuitos	1
Nº de circuitos de Terra	2

Família de postes tipo D



Tipo D	Suspensão / Amarração
Nº de circuitos	2
Nº de circuitos de Terra	1

2.1.2 - Tipos de Apoios

Tal como já foi referido, os apoios podem ser divididos em dois grupos, apresentando características diferentes consoante a sua utilização e sistema de fixação.

2.1.2.1 - Suspensão

Os apoios em suspensão caracterizam-se pelo facto dos cabos (condutores e de guarda) ficarem apoiados em acessórios designados por pinças de suspensão, sem que sejam cortados.

As pinças de suspensão são fixas à cadeia de isoladores, estes por sua vez encontram-se mecanicamente ligados aos apoios numa posição vertical, ao contrário do que acontece nos apoios em amarração, que se encontram numa posição quase horizontal.

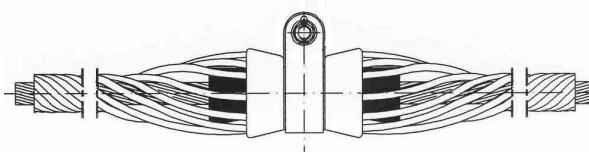


Figura 2.3: Pinça de Suspensão (cabo guarda)

Apesar das dificuldades relativamente a um apoio deste tipo em ângulo, este pode ser utilizado nessas situações quando os ângulos forem de pequena amplitude (2 a 3°). Mesmo nestas circunstâncias, vai originar que as cadeias de isoladores não permaneçam numa posição vertical, introduzindo esforços transversais no apoio e dificultando as operações de substituição de isoladores.

Os esforços a que estes apoios são submetidos são basicamente esforços verticais (peso dos condutores) e esforços transmitidos à estrutura e restantes elementos, que constituem a linha, pela força do vento. O facto dos esforços verticais não contribuírem para a força de arrancamento a que o apoio é sujeito, leva a que as dimensões das fundações sejam menores e consequentemente o seu custo também é menor.

O custo deste tipo de apoios é também atenuado pela menor quantidade de ferro utilizada na estrutura (esforços nas cantoneiras mais reduzidos) e pelo menor número de cadeias de isoladores necessárias (normalmente três cadeias simples de isoladores). A

partir de 1990 a Rede Nacional de Transporte passou a recorrer a cadeias duplas de suspensão em situações que requerem maior fiabilidade e maiores coeficientes de segurança no que diz respeito à queda de condutores, tais como, vãos de elevado comprimento, travessias de estradas e linhas-férreas.

2.1.2.2 - Amarração

Este tipo de apoio é utilizado face à necessidade de introduzir nos percursos das linhas alterações de tracções ou mudanças de direcção, criando neste último caso ângulos no traçado da linha. É também utilizado com a função de fim de linha, situação de grande desequilíbrio, uma vez que de um dos lados do apoio os cabos se encontram à sua tracção normal, enquanto que do outro a tracção é substancialmente menor. Desta forma, a estrutura metálica destes apoios é reforçada, tal como as suas fundações, tendo como objectivo contrariar a força de arrancamento a que são submetidos. Para além das funções mencionadas, recorre-se a este tipo de apoio como apoio de reforço. Pretende-se neste caso possibilitar de alguma forma, o sustento de quedas em cascata, estando os apoios preparados para serem submetidos a esforços anormais de elevado valor.

Os apoios em amarração caracterizam-se pelo facto dos cabos (condutores e de guarda) serem cortados e fixos em cada um dos lados do apoio, através de acessórios denominados por pinças de amarração, e estas por sua vez, fixas às cadeias de isoladores que se encontram mecanicamente ligadas aos apoios.

A continuidade eléctrica do circuito é assegurada por um troço de cabo designado por fiador, sendo este ligado a cada pinça de amarração através de patilhas adequadas para o efeito. As pinças de amarração referidas possuem já um mecanismo que fixa o condutor à cadeia de isoladores e ao fiador, sendo constituídas por três elementos:

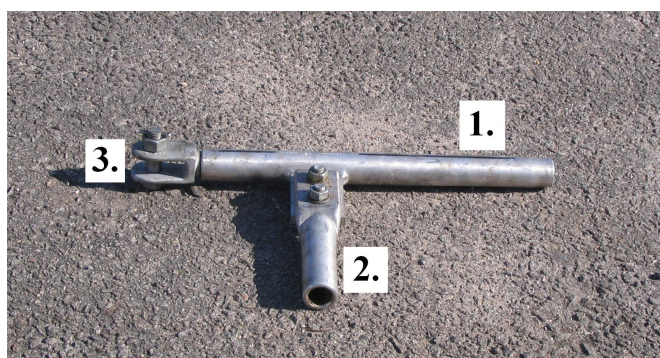


Figura 2.4: Pinça de Amarração

1. Elemento onde é esmagado o alumínio dos cabos para um bom contacto eléctrico – manga de alumínio;
2. Peça na qual é fixo o fiador – terminal de fiador;
3. Elemento que garantirá uma ligação mecânica eficaz à cadeia de isoladores e fixação do aço dos cabos condutores – terminal de aço.

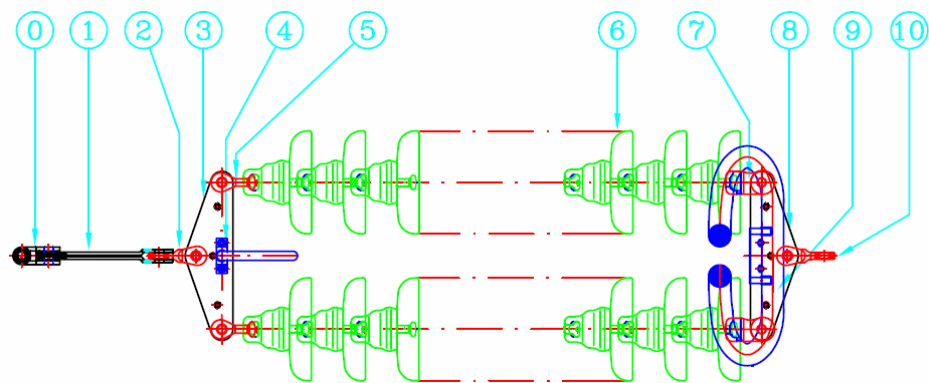
Os esforços a que estes apoios estão submetidos são:

- Pela acção do vento na própria estrutura metálica, nos condutores e restantes elementos fixos à própria estrutura;
- Devido ao ângulo efectuado pelos condutores (esforços transversais e torcionais proporcionais ao ângulo);
- Pelo peso dos condutores;
- Pelas eventuais diferenças de tracção dos cabos de ambos os lados do apoio;
- Pela ruptura de condutores, denominados por esforços excepcionais, mas que criam esforços longitudinais e de torção elevados.

Perante as características apresentadas em relação a este tipo de apoio, o custo de uma estrutura deste género é superior, sendo por isso menos utilizado em comparação com os apoios em suspensão.

2.2 - Cadeia de Isoladores

Este componente apresenta uma elevada importância para as linhas aéreas de energia, e tem como função suspender os condutores e isolar os mesmos da massa (apoio). Uma cadeia de isoladores é constituída fundamentalmente por isoladores e acessórios metálicos para os ligar nas duas extremidades ao apoio e aos condutores, tendo integrado na sua estrutura o sistema anti-arco (hastes de descarga).



0	Charneira	6	Isolador
1	Prolongo	7	“Ball socket” com patilha
2	Ligador cruzado	8	Balanceiro
3	Balanceiro	9	Anel de protecção inferior
4	Haste de descarga superior	10	Ligador cruzado
5	Olhal com bola		

Figura 2.5: Cadeia de amarração dupla

As hastes de descarga têm por função a uniformização do campo eléctrico ao longo da cadeia de isoladores e conferem a estes uma protecção contra os efeitos do próprio arco.

Existem vários tipos de sistemas anti-arco presentes na Rede Nacional de Transporte, constituídos por hastes de descarga (superior e inferior), por anéis de descarga (superior e inferior) e por sistemas mistos. A regulação das hastes obedece ao critério de coordenação de isolamento, definido para cada nível de tensão e local. As várias distâncias mínimas a considerar serão organizadas de acordo com uma hierarquia. Por ordem crescente teremos:

- Distância entre hastes de guarda (explosores) de cadeias de amarração da linha aos pórticos das subestações. Protecção prioritária do equipamento das subestações (disjuntores em fase de abertura ou abertos em definitivo) contra sobretensões de tipo atmosférico.

- 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;
 - Tensão suportável à frequência industrial de 50 Hz.
- 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 com o objectivo de evitar contornamentos para as estruturas. Os valores calculados para a distância mínima entre peças em tensão e a massa na situação de repouso e na situação de desviado pelo vento estarão de acordo com o estipulado RSLEAT.

As distâncias no ar a considerar devem ser as seguintes:

Tensão mais elevada (kV)	170	245	420 ⁽²⁾
Entre dispositivos de protecção nas ligações das subestações	800 ⁽¹⁾	1070 ⁽¹⁾	1700(1700) ⁽¹⁾
Entre dispositivos de protecção	1265	1800	2828(2682)
	1365	1865	2882(2750)
Entre peças em tensão e os apoios para cadeias não desviadas pelo vento	1390	1980	2950(2950)
	1500	2050	3110(3025)
Entre peças em tensão e os apoios para cadeias desviadas pelo vento	1130	1550	2600(2600)
	1220	1650	2600(2600)

(1) Admite-se uma tolerância de 3%

(2) Valores entre parêntesis para isolamento reduzido

Tabela 2.1: Distâncias no ar para os diferentes níveis de tensão

Numa cadeia o número de isoladores é determinado pelo nível de tensão e pelo comprimento da linha de fuga necessário para que o isolamento seja eficaz. A linha de

fuga corresponde à distância que a corrente teria de percorrer pela superfície do isolador, entre as duas extremidades metálicas deste, correspondendo por isso à distância de isolamento para uma frequência de 50 Hz.

Dentro dos tipos de isoladores existentes, os mais utilizados hoje em dia pela Rede Nacional de Transporte são os isoladores de vidro de longa linha de fuga e pequena linha de fuga. O facto de um isolador ser dotado de uma longa linha de fuga, permite a sua utilização em locais de forte poluição, sendo denominados por anti-poluição. No entanto, nas zonas já identificadas como zonas poluídas, já são utilizados isoladores compósitos, uma vez que estes se revelam mais eficazes nessas situações.

2.3 - Cabos

Nas linhas de energia existem dois tipos de cabos, tendo cada um a sua função específica. Existem os cabos que compõem os circuitos eléctricos, pelos quais se faz o transporte de corrente, e existem os cabos de guarda, que tal como o nome indica servem de protecção aos anteriores em situações de descargas atmosféricas. Estes cabos estão instalados a uma cota superior à dos cabos condutores.

De seguida faz-se uma descrição destes dois tipos de cabos, os cabos condutores e os cabos de guarda.

2.3.1 - Cabos Condutores

Estes são na realidade o elemento mais importante que compõe uma linha de energia, isto porque é através deles que a corrente vai ser conduzida até aos locais pretendidos. Os cabos condutores podem ser de diversos tipos e com características diferentes, estando a sua utilização predeterminada em várias situações, de acordo com o nível de tensão e temperatura admissível. Devem resistir à tracção mecânica a que estão sujeitos e garantir a condutibilidade eléctrica pretendida. Os condutores mais utilizados na RNT são de alumínio – aço, apresentando no seu interior um conjunto de fios em aço que lhes confere a consistência mecânica necessária e na parte exterior os fios de alumínio como elementos condutores, ou em liga de alumínio (Almelec) que possui as duas características anteriores.

2.3.2 - Cabos de Guarda

Os cabos de guarda desempenham uma função de blindagem dos condutores às descargas atmosféricas e de interligações das terras dos apoios e das subestações extremas.

A existência destes cabos permitem que as terras dos diversos apoios estejam ligadas entre si, possibilitando um melhor escoamento das correntes de defeito por todos os apoios da linha, sendo que parte dela é atenuada pela impedância dos cabos e estruturas. Na falta destes cabos verifica-se que a corrente tem obrigatoriamente de se escoar pelos dois apoios de extremidade do vão que sofreu o defeito, verificando-se a necessidade de escoar a mesma corrente mas apenas por dois caminhos e de uma forma indirecta, ou seja, é através de arcos que contornam as cadeias de isoladores. É devido a estas circunstâncias e características que são utilizados os cabos de guarda, sendo estes importantes no dimensionamento eléctrico dos cabos condutores e do circuito de terra da linha.

Estes cabos são colocados numa cota superior aos cabos condutores para que sobre eles incidam as descargas atmosféricas, às quais deverão resistir. Ao longo do percurso existente entre o local onde ocorreu a descarga e os apoios mais próximos, as elevadas correntes de defeito vão sendo atenuadas e as cristas de onda daí resultantes conduzidas até aos apoios, onde através das suas estruturas metálicas e respectivas ligações à terra, vão ser escoadas. Os cabos de guarda são igualmente utilizados em funções de comunicação e telecomando, sendo para esse efeito utilizados cabos de alumínio com fibra óptica no seu interior (OPGW).

Com o objectivo de reduzir o número de disparos das linhas de Muito Alta Tensão, em consequência das sobretensões de origem atmosférica, e como complemento à função de blindagem garantida pelos cabos de guarda, a REN começou a aplicar descarregadores de sobretensão (junto aos apoios), em linhas com número de disparos significativos e em zonas de elevado índice ceráunico. A primeira aplicação destes dispositivos ocorreu no ano de 2005, na linha Sines-Portimão2.



Figura 2.6: Descarregador de sobretensão

2.4 – Acessórios

2.4.1 – Amortecedores

Os amortecedores são utilizados para minimizar os problemas de fadiga causados pelas vibrações eólicas resultantes da força que o vento exerce sobre os cabos condutores e cabos de guarda. Estas vibrações transmitem-se às cadeias de isoladores e aos apoios, prejudicando assim o seu correcto funcionamento.



Figura 2.7: Amortecedor “Stock bridge”

Existem alguns factores que determinam o comportamento dos cabos nestas circunstâncias:

- Tensão mecânica de esticamento;
- Geometria dos vãos;
- Características de inércia (massa) e de elasticidade;
- Características dos acessórios de fixação dos cabos;
- Regime dos ventos:
 - Os regimes de rajada não são aqueles que maior fadiga provocam sobre os condutores dada a sua irregularidade;
 - Os regimes lamelares de velocidade baixa / média são os que produzem as vibrações de mais alta frequência que conduzem a problemas de fadiga mecânica.

Elaborar uma modelação matemática que permitisse uma escolha adequada deste acessório apresenta um elevado grau de complexidade, pelo que, o normal é optar por amortecedores cujas características de inércia e elásticas permitam o amortecimento num espectro relativamente amplo de frequências na gama das expectáveis para os diferentes locais.

Com base nas indicações transmitidas pelos fabricantes e de alguma experiência adquirida, começou-se por utilizar o seguinte critério de montagem de amortecedores:

- Utilização de amortecedores em todas as amarrações à tracção plena;
- Nas suspensões, considerando uma limitação ao EDS na casa dos 20-22% com um máximo de 24% e o uso de pinças AGS, apenas nos vãos superiores a 500 m será de colocar um amortecedor nos extremos do respectivo vão (cabo condutor assim como cabo de guarda).

Mais recentemente foram introduzidas algumas alterações ao critério acima indicado, em locais onde foram detectadas anomalias cuja origem se atribuiu ao excesso de vibração na linha.

Para que o critério de montagem de amortecedores tivesse uma base técnica e científica, a REN adquiriu um “Analisador de Vibrações”, para que com os elementos de medição real, fosse adoptado o critério mais adequado.



Figura 2.8: Analisador de vibrações

Trata-se de equipamento específico para análise de vibrações em cabos de linhas AT e MAT, que, em contacto com o cabo, regista o número de vezes que uma determinada relação amplitude versus frequência de vibração acontece no mesmo. Além destes dados este equipamento regista também a temperatura ambiente e velocidade do vento no local.

2.4.2 - Separadores

A necessidade de transporte de elevadas quantidades de energia levaria à utilização de condutores de elevada secção e consequentemente de difícil arrefecimento, característica esta, de elevada importância na capacidade de transporte de energia dos condutores. Por esta razão opta-se em determinadas circunstâncias por recorrer à instalação de dois ou mais condutores por fase de secção mais reduzida, que por terem no seu conjunto uma maior superfície de contacto com o ar permitem um arrefecimento mais eficaz, aumentando a respectiva capacidade de transporte, a qual é limitada pela temperatura dos condutores.

A manutenção da distância entre os vários condutores de fase ao longo do vão é assegurada pela utilização de separadores que ligam mecanicamente esses condutores, evitando oscilações irregulares e contactos entre eles.



Figura 2.9: Separador

2.4.3 - Balizagem

A balizagem aérea diurna e noturna de cabos e apoios tem como objectivo a sinalização dos mesmos para as aeronaves. Normalmente apenas os cabos de guarda são sinalizados.

2.4.3.1 - Sinalização para aeronaves

A balizagem diurna dos cabos é efectuada com esferas colocadas alternadamente de cor branca e laranja internacional, com um diâmetro mínimo de 600mm, espaçadas de 60m e dispostas em ziguezague quando existem dois cabos de guarda e espaçadas de 30m quando apenas existe um.



Figura 2.10: Balizagem diurna das linhas

Nas zonas em que se justifique, devem ser igualmente balizados os apoios por pintura total ou parcial e nas cores branco e laranja internacional.



Figura 2.11: Balizagem diurna dos apoios

Para balizagem nocturna são normalmente utilizados sistemas tipo balisor. Estes sistemas são constituídos por uma lâmpada de néon, fixada numa extremidade ao condutor de fase e na outra extremidade a uma antena colocada no campo eléctrico do condutor. A diferença de potencial entre o condutor de fase e a antena permite que a lâmpada se acenda, emitindo uma luz de tonalidade vermelha.



Figura 2.12: Balizagem nocturna de linhas

2.4.3.2 - Sinalização para avifauna ou BFD – Bird Fly Diverter

A sinalização dos cabos para as aves consiste na instalação de dispositivos do tipo BFD (Bird Fly Diverter), normalmente colocados nos cabos de guarda. São dispositivos de forma helicoidal em plástico de cor vermelha ou púrpura, que se ajustam ao cabo por enrolamento. Numa das extremidades estes dispositivos têm um anel de maior diâmetro, que combinado com a cor, aumenta a visibilidade dos cabos pelas aves. Estes dispositivos não introduzem um aumento significativo em relação à área exposta

ao vento, mas trazem grandes preocupações nas zonas de gelo, uma vez que a sua forma facilita a formação de grandes volumes de gelo, não é por isso aconselhável a sua aplicação nestas zonas.



Figura 2.13: BFD – “Bird Fly Diverter”

2.5 – Conclusões do capítulo

A rede de transporte de energia é constituída essencialmente por apoios, condutores e isoladores. Os apoios são responsáveis pelo suporte das linhas e pela manutenção das distâncias mínimas de segurança a outras linhas ou ao espaço envolvente. Nas linhas existem dois tipos de condutores, existem os que compõem os circuitos eléctricos, pelos quais se faz o transporte de energia e os condutores de guarda, que têm como função proteger os anteriores em situações de descargas atmosféricas. Os isoladores, têm como função suspender os condutores e isolar os mesmos dos apoios. Com a síntese da rede feita neste capítulo, torna-se mais fácil compreender a função dos diversos componentes que a constituem.

CAPÍTULO 3 – PRINCIPAIS FACTORES QUE CONDICIONAM A CAPACIDADE DE TRANSPORTE

Existem diversos factores que condicionam a capacidade de transporte da RNT, de entre os quais se destacam o aumento a longo prazo do consumo de electricidade, a interligação com Espanha e a forte aposta nacional nas energias renováveis.

A REN tem então necessidade de investir constantemente na actualização e na expansão da cobertura da RNT.

3.1 – Aumento do consumo de electricidade

O crescimento a longo prazo do consumo de electricidade em Portugal, impulsionado pelo crescimento económico, pela convergência com os padrões europeus de consumo de electricidade, e por projectos específicos como o comboio de alta velocidade e o novo aeroporto internacional de Lisboa, implicarão uma necessidade de aumento da capacidade de transporte.

Como resultado destes aumentos e de forma a assegurar os elevados níveis fiabilidade do sistema, existe a necessidade de criar novos centros produtores ou alterar os grupos já existentes para aumentar a potência instalada.

Fonte: REN

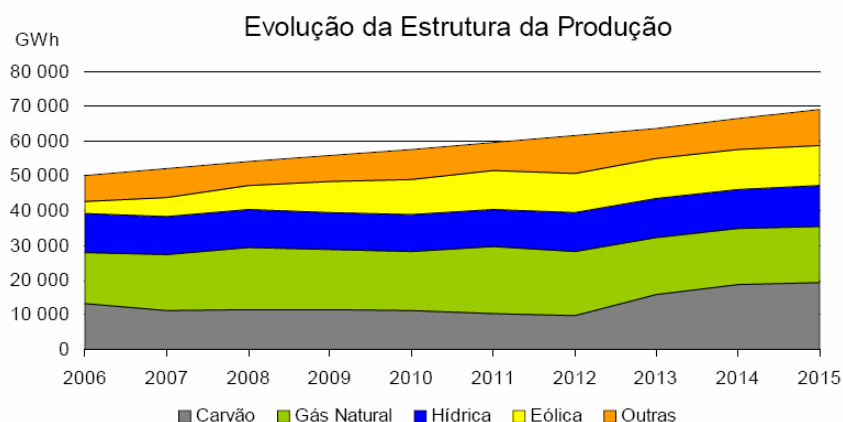


Figura 3.1: Evolução da estrutura de produção

Estas alterações obrigam a RNT a encontrar soluções que permitam uma eficaz circulação da energia dos centros produtores para os equipamentos das entidades distribuidoras. Embora existam alternativas como o estudo das características dos consumidores acompanhado de incentivos à alteração do padrão de consumo de modo a nivelar o diagrama de cargas, ou uma maior preocupação com a eficiência energética dos edifícios, de modo a reduzir os consumos, estas soluções não trazem resultados a curto prazo para a RNT, sendo no entanto uma mais valia a nível ambiental e económico para períodos de tempo de médio/longo prazo.

3.2 – A interligação com Espanha

Com o aparecimento do Mercado Ibérico, os consumidores passaram a poder escolher o seu fornecedor de energia eléctrica, e assim tornar o mercado mais competitivo, com melhorias na qualidade de serviço. O Mercado Ibérico de Electricidade trouxe também novas oportunidades às empresas instaladas em Portugal, uma vez que passam a ter acesso a um mercado eléctrico eficiente e competitivo.

Fonte: REN

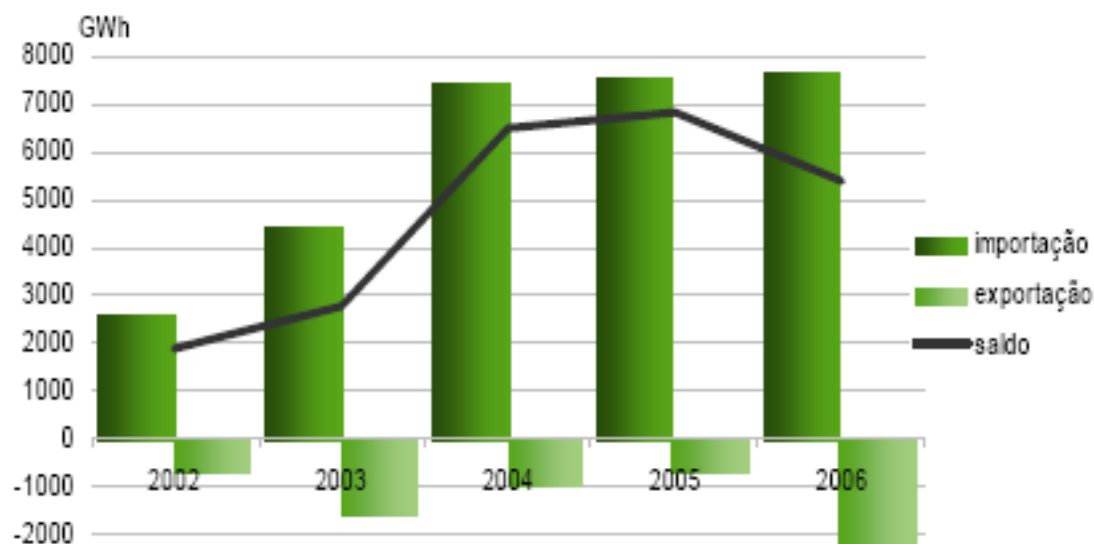


Figura 3.2: Trocas anuais de energia entre Portugal e Espanha

Mas, para que o MIBEL possa ter na realidade uma aplicação prática e não seja apenas um conjunto de leis e diplomas, é necessário que existam interligações eléctricas

CAPÍTULO3 – PRINCIPAIS FACTORES QUE CONDICIONAM A CAPACIDADE DE TRANSPORTE

sólidas entre os dois países, permitindo assim um mercado tão concorrente como o desejado.

Fonte: REN

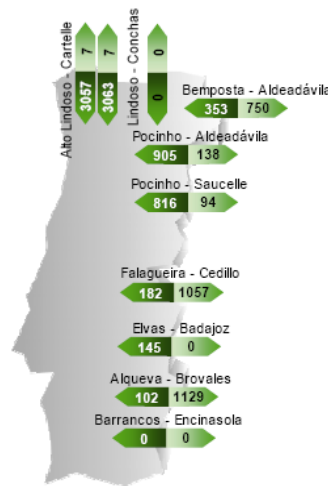


Figura 3.3: Interligações entre Portugal e Espanha

Nesse sentido, houve a necessidade de construir novas interligações e aumentar a capacidade de transporte de algumas das já existentes, permitindo assim alcançar os actuais 1800MW de capacidade de interligação. No entanto, estudos conjuntos da REN com a REE, apontam para a construção de duas novas interligações no horizonte 2010-2012 que permitirão alcançar os 3000MW de capacidade de interligação.

Fonte: REN

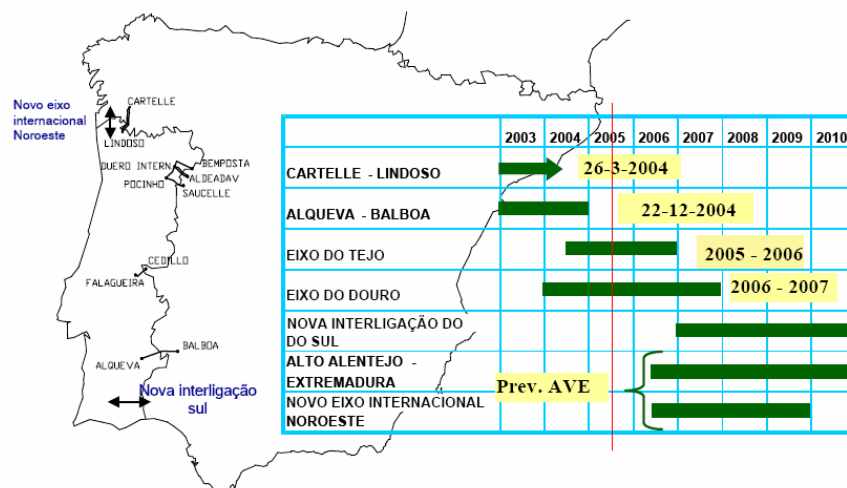


Figura 3.4: Alterações recentes das Interligações entre Portugal e Espanha

3.3 – Energias Renováveis

Com o objectivo de cumprir as metas estabelecidas pelo protocolo de Kyoto, a União Europeia viu-se obrigada a alterar a sua política energética. Essa alteração levou à definição de metas ambiciosas relativamente à utilização de energias renováveis.

Gráfico das entregas ao SEP dos PRE's renováveis entre 1988 e 2010

Fonte: REN

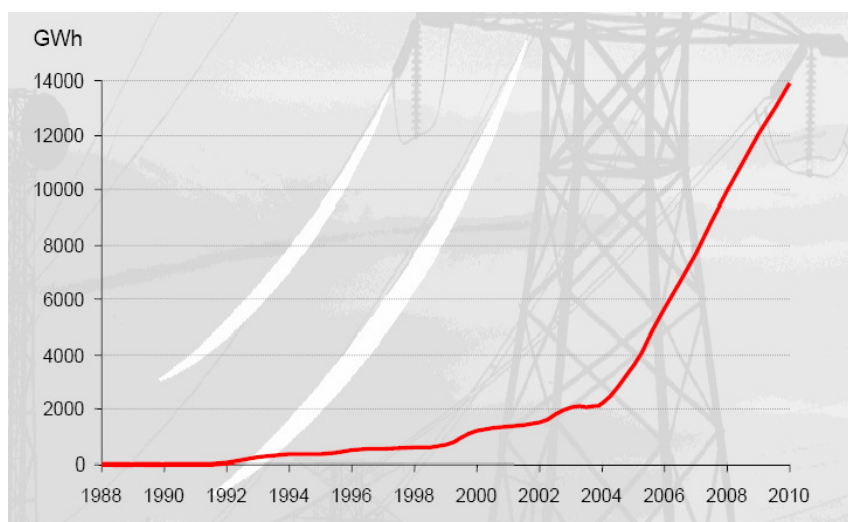


Figura 3.5: Gráfico das entregas ao SEP dos PRE's renováveis entre 1988 e 2010

Em Portugal, estabeleceu-se como objectivo para 2010 que 39% do consumo seja abastecido através de fontes de energia renováveis. O cumprimento dessas metas passa principalmente pelo reforço da capacidade dos grupos das hídricas e pelo crescimento da produção de origem eólica, existindo no entanto outras energias renováveis como a solar, a biomassa ou a dos oceanos que no futuro se podem revelar muito importantes. Tal facto pode ser verificado pelo número de Parques Eólicos construídos nos últimos anos e pelos que estão previstos para os próximos. A título de exemplo, prevê-se que a capacidade instalada dos produtores “eólicos” aumente dos actuais 2492MW para 5100MW em 2013.

Com a evolução da tecnologia a potência dos aerogeradores aumentou consideravelmente, criando a necessidade de ligar os parques eólicos directamente à rede de transporte. Existe então a necessidade de reforçar a rede de modo a garantir que essa potência possa fluir dos parques eólica para as redes de distribuição.

De salientar a elevada importância da aplicação de grupos com capacidade de bombagem nas hídricas, para assim aproveitar o excesso de potência eólica que eventualmente possa existir nas horas de vazio para repor a água nas albufeiras e assim criar uma “reserva energética” que pode ser colocada rapidamente em serviço nas situações em que a eólica falhe.

Volatilidade da Eólica

Fonte: REN

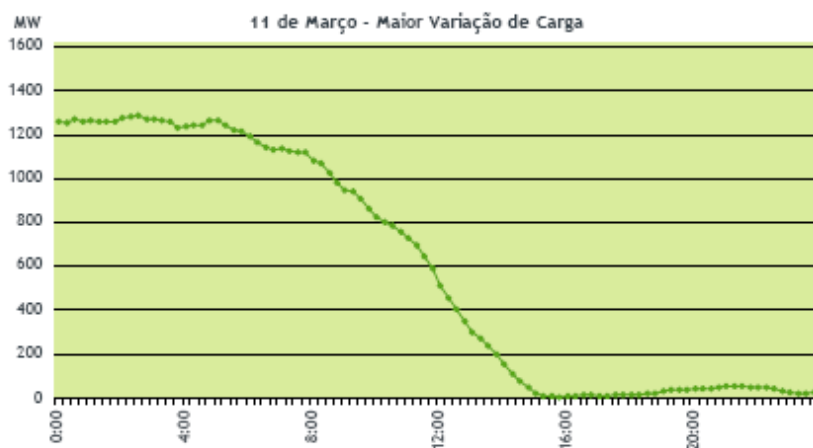


Figura 3.6: Potência Eólica num período de 24h

3.4 – Conclusões do capítulo

Os principais factores que condicionam a capacidade de transporte da RNT, são o MIBEL, que para que possa funcionar como um verdadeiro mercado livre obriga a uma capacidade acrescida nas interligações, as energias renováveis, que criam grandes fluxos de potência nas linhas da RNT, para que possam escoar a potência produzida para os centros urbanos onde o consumo é elevado, e o crescimento a longo prazo do consumo de electricidade, associado aos consumidores domésticos e a projectos específicos de grande envergadura como é o caso do novo aeroporto internacional de Lisboa ou o comboio de Alta Velocidade.

CAPÍTULO 4 – ACTUAL METODOLOGIA DE AUMENTO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE UMA LINHA

O principal obstáculo quando se pretende aumentar a capacidade de transporte de uma linha, são as perdas por efeito de Joule, uma vez que com o aumento da corrente se verifica também um aumento da temperatura dos condutores e consequente dilatação dos mesmos. Essa dilatação provoca o aumento da flecha, que pode originar o incumprimento das distâncias de segurança regulamentares a obstáculos no terreno, tais como casas, árvores, estradas, outras linhas, entre outros.

A actual metodologia de aumento da capacidade de transporte de uma linha assenta numa das seguintes opções:

- “Upgrading”;
- “Uprating”.

“Upgrading” é uma alteração de fundo da estrutura de uma linha já existente, com o objectivo de elevar o escalão de tensão da mesma.

“Uprating” é uma alteração menos profunda que a anterior, que visa o aumento da capacidade de transporte sem alteração do nível de tensão da linha.

Neste estudo será apenas abordada a opção de “uprating”, que tem como soluções mais comuns:

- Elevação dos Apoios;
- Passagem do poste de suspensão a amarração;
- Reposição da tensão mecânica dos condutores;
- Substituição dos condutores.
- Monitorização usando réplicas de condutores;
- Monitorização da flecha – Vídeo;
- Monitorização de condutores – Método CAT-1;

Em algumas situações não é usada apenas uma solução, mas sim varias soluções em conjunto.

4.1 – Elevação dos Apoios

Esta é uma solução muito utilizada para manter as distâncias livres sob as linhas. Consiste em incluir um módulo adicional prismático, tipicamente com 6 metros de altura.

Esta solução pode obrigar ao reforço das fundações do apoio, uma vez que ao aumentarmos a altura do apoio, o momento da força também aumenta devido ao maior braço e consequentemente são transferidos esforços mais elevados às fundações.



Figura 4.1: Aplicação de um módulo num apoio

Existem no entanto situações em que a introdução do módulo prismático não é suficiente, optando-se assim pela instalação de um apoio novo com uma altura útil superior ao actual.

4.2 – Passagem do Poste de Suspensão a Amarração

Com esta solução a linha sofre, junto desse apoio, uma elevação de 2, 3, ou 4 metros, conforme se trate de uma linha de 150, 220, ou 400 kV, respectivamente. Se a alteração for efectuada nos dois apoios que delimitam o vão, consegue-se uma elevação homogénea em todo o vão. É uma operação relativamente simples, mas só deve ser usada pontualmente e depois de analisados os esforços a que o apoio vai estar sujeito uma vez que são alteradas as condições para as quais foi calculado.

4.3 – Reposição da Tensão Mecânica dos Condutores

Com a idade as características mecânica dos condutores vão-se alterando, nomeadamente o coeficiente de elasticidade, diminuindo assim a capacidade de recuperação elástica após dilatação. A flecha dos condutores para a mesma temperatura aumenta com o passar dos anos. A regulação dos condutores de modo a recuperarem a sua geometria original, permite obter uma ligeira elevação dos mesmos. Esta solução tem custos reduzidos e é simples de efectuar, mas os ganhos em altura são muito reduzidos. Esta operação de reposição da tensão mecânica aos cabos é objecto de análise, uma vez que as suas características não são iguais às de um cabo novo.

4.4 – Substituição dos Condutores

A substituição dos condutores de uma linha de transmissão pode trazer ganhos significativos na capacidade de transporte dessa mesma linha. Dependendo do condutor anteriormente utilizado, da sua temperatura de funcionamento e da nova temperatura a que vai funcionar, podendo-se alcançar melhorias quer na capacidade de transporte quer na fiabilidade da linha, com custos inferiores aos da construção de uma nova linha.

Quando se implementa uma solução deste tipo, é fundamental que as estruturas existentes possam suportar os novos condutores sem que haja qualquer alteração estrutural.

No mercado existem muitos tipos de condutores, mas é necessário um estudo detalhado da linha em questão para se escolher o condutor que melhor se adequa às necessidades do projecto.

Esta alteração só pode ser realizada em linhas que tenham registado um bom comportamento estrutural ao longo dos anos, para que possa dar algumas garantias de resistência às tensões mecânicas acrescidas.

A substituição dos condutores por outros de maior secção sem alteração das flechas, irá resultar num aumento da tensão mecânica transmitida às estruturas, devido ao seu maior peso específico, maior efeito do vento resultante do aumento da área exposta e nas zonas de gelo, devido à maior manga de gelo. Nestas situações, temos então uma redução da fiabilidade da estrutura caso esta não seja reforçada para a nova situação.

Uma outra alternativa é a substituição do condutor por outro com peso específico idêntico, mas que possa operar a temperaturas superiores, evitando assim grandes alterações das estruturas de suporte. Esta solução será alvo de um estudo detalhado mais à frente.

4.5 – Monitorização usando Réplicas de Condutores

Uma outra forma de aumentar a capacidade de transmissão de potência eléctrica é através da exploração da linha na proximidade dos seus limites térmicos, aproveitando para isso as margens de segurança introduzidas pela adopção de valores elevados para os factores não dominados.

É então necessário um processo de aquisição de informação em tempo real, para que se conheçam os parâmetros da exploração e assim calcular a margem de utilização disponível.

Este método pode ser considerado como sendo dinâmico, uma vez que sem que se proceda a qualquer alteração da linha, é efectuada uma análise permanente do estado dos condutores, calculando para cada instante a possibilidade de aumentar a corrente veiculada. Por outro lado, não pode ser considerado um uprating tal como é normalmente entendido, uma vez que não existe uma elevação efectiva da capacidade de transporte, mas sim um melhor aproveitamento da capacidade real dos condutores.



Figura 4.2: Dispositivo de monitorização

4.6 – Monitorização de condutores – Método CAT-1

Este método também consiste na avaliação da variação térmica dinâmica das linhas, diferindo do anterior por utilizar uma segunda via de medição baseada na monitorização por medição directa da tensão mecânica dos condutores através de uma célula de carga instalada entra a estrutura e a cadeia de isoladores. A colocação deste dispositivo implica a saída de serviço da linha.



Figura 4.3: Sensor de variação da temperatura



Figura 4.4: Célula de carga

4.7 – Monitorização da flecha – Vídeo

Tal como visto anteriormente, a capacidade de transporte de uma linha de transmissão é limitada pela temperatura do condutor que se reflecte no aumento da flecha e consequente incumprimento das distancias mínimas a obstáculos. Conhecendo em cada vão, o valor da flecha para a temperatura máxima, as condições meteorológicas da zona em questão, as estruturas que suportam as linhas, e as cargas que terão de ser veiculadas pela linha, podem ser definidos os limites de corrente a transportar. No entanto, quando estes valores são definidos, são admitidas condições pessimistas, levando a que não seja utilizada toda a capacidade de transporte dos condutores.

Assim sendo, ao aplicar uma câmara de vídeo para monitorizar a flecha do condutor, pode avaliar-se a carga adicional que é possível injectar na linha, sem que se ultrapasse o limite de segurança regulamentar.



Figura 4.5: Aplicação do aparelho de monitorização

4.8 – Conclusões do capítulo

Embora existam várias soluções para o aumento da capacidade de transporte, os mais utilizados pela REN são a elevação dos apoios, a reposição da tensão mecânica dos condutores e a passagem do poste de suspensão a amarração. Regra geral não é adoptada apenas uma solução, mas sim as três em conjunto. Estas alterações têm normalmente bons resultados, mas obrigam a saída de serviço da linha muito prolongadas e têm o inconveniente de ser difícil a sua realização em zonas densamente povoadas ou de difícil acesso.

CAPÍTULO 5 – PROGRAMA DE AUXÍLIO AO CÁLCULO MECÂNICO

A análise da capacidade de transporte das diferentes linhas que formam a RNT, é uma das actividades mais importantes, ao nível do planeamento e do projecto da rede. De facto, o estudo das condições termo-mecânicas de exploração das linhas da rede de transporte tem fortes implicações económicas (a satisfação da demanda ao nível do consumo, o planeamento do investimento na rede) e de segurança (a garantia de que a segurança mecânica dos equipamentos e as distâncias de segurança eléctrica são sempre mantidas), a gestão dos quais é ainda mais sensível no contexto de liberalização do mercado de energia.

Este programa foi realizado com o objectivo de permitir conhecer o comportamento mecânico dos condutores para diferentes temperaturas de operação.

5.1 – Apresentação do programa

Este programa é constituído por um conjunto de folhas de cálculo do Excel. Na folha de cálculo “Tabela de Cabos” temos uma tabela com todos os cabos que se podem estudar, onde estão definidas todas as características necessárias para o estudo em questão. A folha de cálculo “Calculo Térmico”, permite efectuar o cálculo da temperatura a que se encontra o condutor para as condições iniciais. Existem também duas folhas de cálculo (“Mudança de Estado” e “Mudança de estado V_{red} e V_{max} ”) que resolvem as equações de mudança de estado e permitem assim obter o valor do parâmetro de regulação. Na folha de cálculo “Dados e Resultados”, tal como o nome indica, são definidos os parâmetros da linha em estudo, como a tensão, o cabo, a carga na linha ou a temperatura ambiente e onde são visíveis os resultados dos parâmetros calculados. Por último temos a folha de cálculo “Catenárias”, onde se pode analisar as catenárias do cabo seleccionado para as diferentes temperaturas e a folha de cálculo “ q e c ” onde se encontra uma tabela com o coeficiente de forma para os diferentes diâmetros de condutores e onde é calculada a pressão dinâmica para as diferentes hipóteses de cálculo (de acordo com o definido pela norma EN50341-3-17).

5.1.1 – Folha de trabalho

A folha de trabalho é a “Dados e Resultados”, uma vez que é aqui que se introduzem todos os dados da linha que se pretende estudar e é onde são visíveis todos os resultados.

Dados				Resultados			
Tensão da linha (KV) 220				ACCR 28,1			
Cabo (ver lista) ACCR 28,1				Situação Inicial Temp. 1 Temp. 2 Temp. 3 Hipoteses de Cálculo			
Temperatura Ambiente (°C) 6,3				15 87 95 110 15°C Vred 15°C Vmax			
Potência na Linha (MW) 0				Parâmetro K = 2544 1944 1897 1817 2700 2231			
Parâmetro K (se conhecido) EDS(%) 24,00				X_a = 422,189 396,254 394,244 390,791			
Corrente (A) = 0				Cotas do Cabo z= 100 400 400 400			
Parâmetro K = 2544				y= -14,681 -40,531 -41,106 -42,161			
Zona de Vento Zona B				Comprimento do Arco (m)= 628,16 629,29 629,42 629,68			
Lista de Cabos				Flecha Máxima = 19,28 25,26 25,88 27,02 18,16 21,99			
ACCR 21,8				Feixa de Nível = 35,10 40,52 41,10 42,17 34,13 37,52			
ACCR 23,5				Tração Horizontal = 3391,68 2590,72 2528,70 2422,22 4027,87 4775,08			
ACCR 25,2				Tração Total = 3417,37 2624,39 2563,20 2458,24 4054,97 4822,14			
ACCR 28,1				R/T (>2,5) = 4,14 5,38 5,51 5,75 3,49 2,93			
ACCR 30,4							
ACCR 31,6							
BEAR							
GUINEA							
PANTHER							
SVG 19/13							
TEJO							
ZAMBEZE							
ZEBRA							
X (m)				Y (m)			
X₀ (m) 0				Y₀ (m) 111,74			
X₁ (m)				Y₁ (m)			
X₂ (m)				Y₂ (m)			
X₃ (m)				Y₃ (m)			
X₄ (m)				Y₄ (m)			
X₅ (m)				Y₅ (m)			
X₆ (m)				Y₆ (m)			
X₇ (m)				Y₇ (m)			
X₈ (m)				Y₈ (m)			
X₉ (m)				Y₉ (m)			
X₁₀ (m) 628				Y₁₀ (m) 84,8			
Vão Equivalente (m) = 453,88							
Altura de fixação dos condutores							
a₁ 453,8558672				h₁ 25,7606667			
a₂ 626				h₂ 19,31			
a₃ 460				h₃ 31			
a₄ 457,41				h₄ 28,49			
a₅ 335,75				h₅ 22,49			
a₆ 392,03				h₆ 28,23			
a₇ 376,15				h₇ 22,49			
a₈ 544,3				h₈ 28,49			
a₉ 330,3				h₉ 28,49			

Figura 5.1: Folha de Trabalho

Na figura 5.1, as células que se encontram preenchidas de cor verde, são aquelas onde se introduzem os dados necessários para a resolução dos cálculos. Os dados tensão da linha, cabo, temperatura ambiente, potência na linha e zona de vento, são referentes à linha toda, sendo por isso introduzidos apenas no início do estudo e só são alterados quando se pretende estudar uma linha diferente. Os dados EDS ou parâmetro k (quando conhecido), os vãos, as alturas dos apoios e as temperaturas para as quais se pretende efectuar o estudo, são referentes a um cantão, sendo por isso alterados consoante o cantão que se está a estudar. Por último temos os dados referentes às cotas de fixação dos condutores, que alteram de vão para vão. Obtém-se então como resultado a posição

do condutor ao longo do vão em estudo, bem como as forças que nele actuam para as diferentes temperaturas seleccionadas e hipóteses de cálculo exigidas pelo RSLEAT.

5.1.2 – Tabela de Cabos

A folha de cálculo “Tabela de Cabos”, contém uma tabela com os dados dos cabos que se podem estudar.

	DIAM	SECÇÃO	PESO	F. rotura	Mod. Young	Coef.Dilat.Lin.	Res.Elect.	Temp.	Coef.Var.Res.Eléc.	P _{vred}	P _{vmax}	To (a 15°C)
	(mm)	(mm ²)	Kgf/m	Kgf	Kgf/mm ²	°C ⁻¹	Ohm/m	°C	°C ⁻¹	Kgf/m	Kgf/m	Kgf
ACCR 21,8	21,8	281	0,802	8837	7959	0,0000165	0,0001165	20	0,00403	1,0448785	1,856542011	2120,88
ACCR 23,5	23,5	328	0,937	10326	7959	0,0000165	0,0000998	20	0,00403	1,1517535	1,918726984	2478,24
ACCR 25,2	25,2	374	1,067	11388	7857	0,0000166	0,0000875	20	0,00403	1,2597841	1,985455423	2733,12
ACCR 28,1	28,1	467	1,333	14132	7551	0,0000163	0,00007	20	0,00403	1,4917963	2,140194673	3391,68
ACCR 30,4	30,4	545	1,553	14878	7449	0,0000175	0,0000594	20	0,00403	1,6912646	2,283714789	3570,72
ACCR 31,6	31,6	590	1,682	16102	7449	0,0000175	0,0000548	20	0,00403	1,8104395	2,373324301	3864,48
BEAR	23,45	326,6	1,219	11320	8000	0,0000178	0,0001097	20	0,00403	1,3908731	2,071112078	2716,80
GUINEA	14,63	127,5	0,589	6890	11000	0,0000153	0,000358	20	0,00403	0,8919014	1,774954996	1653,60
PANTHER	21	261,1	0,976	9249	7877	0,0000177	0,0001372	20	0,00403	1,1836989	1,938071268	2219,76
SWG 19/13	11,7	81,61	0,649	7200	19000	0,0000115	0,0019483	20	0,0032	0,9326136	1,795757567	1728,00
TEJO	25,11	373,9	1,615	18070	9350	0,00001517	0,000115	20	0,00403	1,7483684	2,326320966	4336,80
ZAMBEZE	31,8	594,5	1,802	12400	6000	0,0000212	0,000051	20	0,00403	1,9224388	2,459826872	2976,00
ZEBRA	28,62	482,9	1,619	13245	7000	0,0000193	0,0000686	20	0,00403	1,7520639	2,329099663	3178,80

Cond.cálc.												
ACCR 28,1	28,1	467	1,333	14132	7551	0,0000163	0,00007	20	0,00403	1,4917963	2,140194673	3391,68

Figura 5.2: Folha “Tabela de Cabos”

Para introduzir um cabo novo pode acrescentar-se uma linha à tabela e preencher todos dados referentes a esse cabo. Os valores P_{vred}, P_{vmax} e To são calculados por fórmulas, sendo por isso necessário copiar a formulas para e nova linha.

5.1.3 – Cálculo Térmico

A folha de cálculo “Calculo Térmico”, permite efectuar o cálculo da temperatura a que se encontra o condutor para as condições iniciais. Pode também ser utilizada para calcular a potência que a linha pode transportar a uma dada temperatura, bastando para isso que se aumente gradualmente a potência na linha e se observe a temperatura do condutor para a “situação inicial” na tabela dos resultados.

Para a realização desta folha de cálculo utilizou-se a equação geral que traduz o comportamento térmico dos condutores aéreos:

$$C \frac{dT}{dt} = P_j + P_s - P_c - P_r$$

Em que:

C – Capacidade calorífica linear em[J/(K.m)]

P_j – Potência dissipada por efeito de Joule [W/m]

P_s – Potência absorvida por radiação solar [W/m]

P_c – Potência perdida por convecção [W/m]

P_r – Potência perdida por radiação [W/m]

Microsoft Excel - Excel para Cálculo Mecânico EN50341

Ficheiro Editar Ver Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

P23

Dados

Perdas por efeito Joule	Pj	
Energia Solar	Ps	
Perdas por convecção	Pc	
Perdas por irradiação	Pi	
Corrente de curto-circuito	Icc	
Resistência do Condutor	R	
Coefficiente de absorção solar (W/m²)	α	0,5
Radiação solar (W/m²)	Si	1000
Diametro do condutor	d	
Velocidade do vento (m/s)	v	0,6
Constante de Stefan (W/m²K⁴)	σ	5,67E-08
Poder emissivo do corpo negro	E	0,6
Temperatura Ambiente	T1	
Temperatura final do cabo	T2	
Temperatura inicial do cabo	Tc	

Pj-Ps-Pc-Pi	Temp. Comd.
-9218,657217	1000
-9192,531668	999
-9166,46443	998
-9140,45541	997
-9114,504517	996
-9088,61166	995
-9062,776748	994
-9036,996688	993
-9011,28039	992
-8985,618762	991
-8960,014713	990
-8934,468153	989
-8908,97899	988
-8883,547133	987
-8858,172491	986
-8832,854974	985
-8807,594431	984
-8782,390952	983
-8757,244265	982
-8732,15434	981
-8707,121087	980
-8682,144415	979
-8657,224234	978
-8632,360455	977
-8607,552986	976
-8582,801738	975
-8558,106621	974
-8533,467544	973
-8508,884419	972
-8484,357165	971
-8459,885662	970
-8435,469852	969
-8411,109633	968
-8386,804918	967
-8362,555616	966
-8338,361638	965
-8314,222895	964
-8290,139297	963
-8266,110756	962
-8242,137183	961
-8218,218488	960

Pj	Ps	Pc	Pi
0	14,05	1364,123	7,87E+03
0	14,05	1362,75	7,84E+03
0	14,05	1361,378	7,82E+03
0	14,05	1360,005	7,79E+03
0	14,05	1358,632	7,77E+03
0	14,05	1357,259	7,75E+03
0	14,05	1355,887	7,72E+03
0	14,05	1354,514	7,70E+03
0	14,05	1353,141	7,67E+03
0	14,05	1351,768	7,65E+03
0	14,05	1350,395	7,62E+03
0	14,05	1349,023	7,60E+03
0	14,05	1347,65	7,58E+03
0	14,05	1346,277	7,55E+03
0	14,05	1344,904	7,53E+03
0	14,05	1343,532	7,50E+03
0	14,05	1342,159	7,48E+03
0	14,05	1340,786	7,46E+03
0	14,05	1339,413	7,43E+03
0	14,05	1338,041	7,41E+03
0	14,05	1336,668	7,38E+03
0	14,05	1335,295	7,36E+03
0	14,05	1333,922	7,34E+03
0	14,05	1332,549	7,31E+03
0	14,05	1331,177	7,29E+03
0	14,05	1329,804	7,27E+03
0	14,05	1328,431	7,24E+03
0	14,05	1327,058	7,22E+03
0	14,05	1325,686	7,20E+03
0	14,05	1324,313	7,17E+03
0	14,05	1322,94	7,15E+03
0	14,05	1321,567	7,13E+03
0	14,05	1320,195	7,10E+03
0	14,05	1318,822	7,08E+03
0	14,05	1317,449	7,06E+03
0	14,05	1316,076	7,04E+03
0	14,05	1314,703	7,01E+03
0	14,05	1313,331	6,99E+03
0	14,05	1311,958	6,97E+03
0	14,05	1310,585	6,95E+03
0	14,05	1309,212	6,92E+03

Temperatura do cabo = 15

Dados e Resultados Auxiliar Tabela de Cabos Catenárias **Cálculo Térmico** Mudança de Estado Mudança de Est

Pronto

Figura 5.3: Folha “Cálculo Térmico”

5.1.4 – Catenárias

Na folha de cálculo “Catenárias”, podem observar-se as catenárias descritas pelos condutores para as diferentes temperaturas seleccionadas na folha de trabalho. Assim, é mais fácil perceber a variação da flecha com o aumento da temperatura de operação. Permite também fazer a comparação gráfica do comportamento dos diferentes condutores, através da comparação dos gráficos correspondentes.

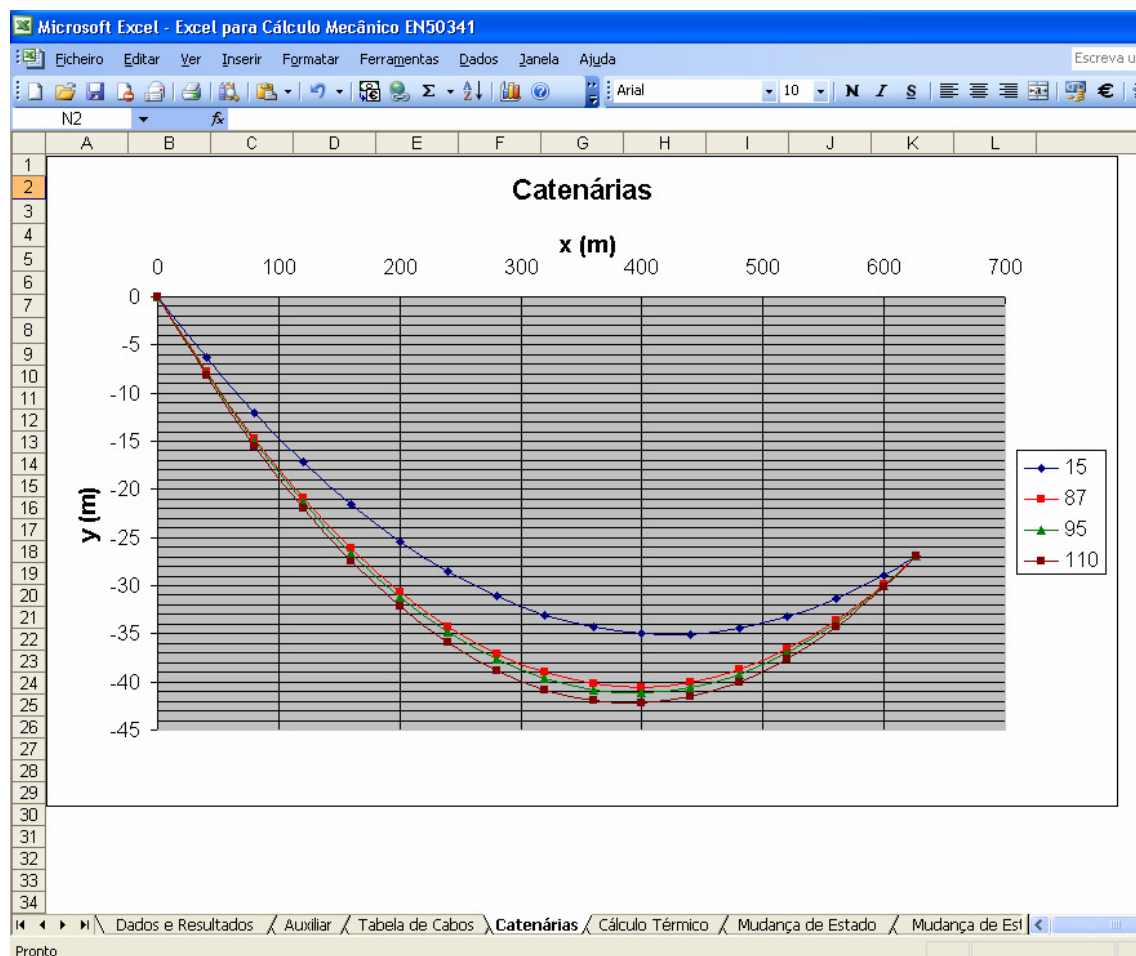


Figura 5.4: Folha “Catenárias”

5.2 – Teste do programa

Para validação do programa desenvolvido, foram comparados os resultados obtidos com um estudo de uma linha disponibilizado pela REN. Na tabela seguinte são analisados e comparados os parâmetros de regulação dos primeiros 6 cantões da linha.

Cantão	EDS (%)	Parâmetro (REN)	Parâmetro (Programa)
1	4,9	357	397
2	22,2	1387	1380
3	22,2	1630	1638
4	22,1	1609	1607
5	22,2	1557	1551
6	22,3	1512	1509

Tabela 5.1: Verificação dos parâmetros calculados pelo Programa

Como se pode observar na tabela 5.1, os valores do parâmetro obtidos com o programa, são bastante próximos dos valores do projecto REN, à excepção do primeiro cantão que se deve ao facto do EDS ser muito reduzido, originado assim um erro maior. De seguida será feita a análise da catenária da flecha máxima e de nível para o cantão 4, comparando novamente os valores obtidos com o programa com os medidos no perfil do estudo REN.

Vão	Estudo REN		Programa	
	$f_{\text{máx}}$	$f_{\text{nível}}$	$f_{\text{máx}}$	$f_{\text{nível}}$
615,71	29,48	27,02	29,58	27,06
251,54	4,78	6,84	4,92	6,84
759,2	44,87	40,42	45,05	40,48
278,01	5,37	36,08	6,02	37,58
601,75	28,205	29,018	28,25	29,06

Tabela 5.2: Verificação das flechas calculadas pelo Programa

Também aqui se verifica que os resultados obtidos são muito próximos dos medidos no perfil do estudo REN.

Por último, foi utilizado o PLS-CADD para fazer uma comparação do parâmetro de regulação para as diferentes temperaturas e hipóteses de cálculo (conforme a norma EN50341-3-17), tendo obtido aqui também resultados muito próximos.

	Parâmetro						
	15°C	87°C	85°C	75°C	-5°C	-5°C Vred	15°C Vmax
PLS-CADD	2401	1867,4	1878,6	1935,5	2623,2	2543,8	2144,8
Programa	2401	1868	1879	1936	2623	2541	2146

Tabela 5.3: Comparação com o parâmetro do PLS-CADD

5.3 – Conclusões do capítulo

O programa desenvolvido, permite simular o comportamento dos condutores para uma dada temperatura de funcionamento seleccionada pelo utilizador. As folhas de cálculo, foram programadas, com base nos métodos de cálculo definidos no livro “Projectos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão”, havendo no entanto o cuidado de confirmar os resultados sempre que tal era possível. Com a realização deste programa, o estudo do comportamento mecânico dos condutores especiais, torna-se uma tarefa simples, permitindo assim a elaboração do estudo pretendido.

CAPÍTULO 6 – CONDUTOR SELECCIONADO PARA O ESTUDO

Para o estudo em questão, o condutor escolhido foi o ACCR da 3M, pelo facto de ser aquele sobre o qual existe mais informação disponível e existirem já aplicações práticas deste condutor em alguns países como é o caso do Brasil, E.U.A., Itália, entre outros.

6.1 – Características do condutor

A combinação única da alma em matriz de compósito metalo-cerâmico com as coroas em Alumínio-Zircônio resistente ao calor trás muitas vantagens relativamente a outros condutores.

A alma em compósito tem a base metálica, um material inorgânico com capacidade de operar a altas temperaturas (210°C) sem perder a resistência, tanto inicialmente, como ao longo dos anos de uso. A composição da alma consiste de inúmeras fibras de óxido de alumínio embebidas numa matriz de alumínio. Esta composição de óxido de alumínio e alumínio é resistente á corrosão e estável entre si. Não é necessária protecção da alma como as galvanizações usadas nas almas de aço. A composição não é afectada por luz ultravioleta ou humidade e mantém sua resistência mesmo após longas exposições a ambos. O alumínio da coroa é resistente ao calor, mantendo a sua resistência quando opera a altas temperaturas.

Fonte: 3M



Figura 6.1: Composição do condutor ACCR

Estas características permitem que este condutor obtenha bons resultados em soluções como o funcionamento a elevadas temperaturas, os vãos longos e as zonas costeiras (zonas de elevado risco de corrosão). As propriedades mecânicas e eléctricas deste condutor podem ser consultadas no Anexo A.

Permite aumentos da capacidade de transporte de 1,5 a 3 vezes:

- Sem aumento do diâmetro do condutor, permitindo assim o uso das torres existentes;
- Com tempos e custos de projectos menores;
- Sem interferência no Meio ambiente;
- Sem custos com novos corredores de linha;
- Com execução simples e rápida.

Na figura seguinte está ilustrada uma situação de comparação da flecha, para a mesma carga na linha, entre o condutor ACSR e o ACCR da 3M.

Fonte: 3M

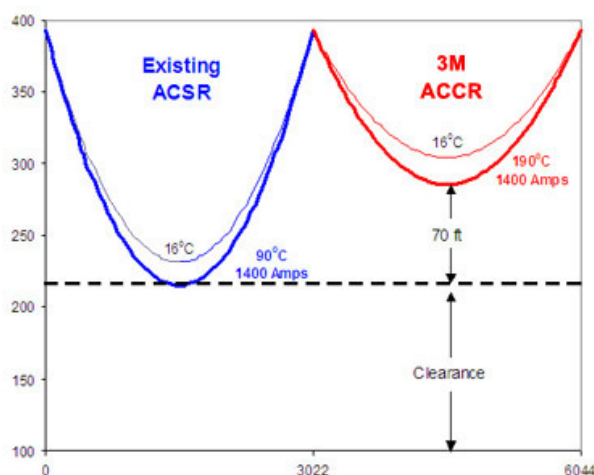


Figura 6.2: Comparação da flecha, para a mesma carga na linha.

Nota: Os condutores da figura 6.2, têm diâmetros diferentes e estão a operar a temperaturas diferentes.

6.2 – Conclusões do capítulo

O condutor ACCR da 3M, têm vindo a ser aplicado um pouco por todo o mundo, devido às suas características mecânicas que lhe conferem a capacidade de funcionar a elevadas temperaturas, mantendo as flechas relativamente reduzidas. Outro ponto forte deste condutor é o facto do seu núcleo em compósito metalo-cerâmico ser resistente à corrosão, permitindo assim a sua aplicação em zonas costeiras.

CAPÍTULO 7 – CASO DE ESTUDO

O estudo realizado consiste na comparação entre a substituição do condutor zebra numa linha de 220 kV por um condutor ACCR sem alteração das estruturas e os normais “uprating” utilizados pela REN.

A linha em questão é a Pereiros-Batalha2, na qual foi recentemente realizado um “uprating”, com vista em aumentar a temperatura de funcionamento dos 50 para os 85°C, o que se traduz num aumento da capacidade de transporte. Esta alteração requereu alterações profundas nas estruturas da linha, tendo sido substituídos 12 apoios, por novos apoios da família MT. Foram também introduzidos módulos prismáticos de 6 metros em 70 apoios e alterado o sistema de fixação dos condutores em diversos apoios. No anexo C, pode consultar-se a memória descritiva do “uprating” atrás referido, estando lá descritas todas as alterações efectuadas na linha.

O estudo pormenorizado da instalação do condutor ACCR, apenas é feito para um cantão, por não se justificar a repetição de cálculos exaustivos para a linha completa, tendo em conta que o pretendido é analisar e comparar as flechas com os diferentes condutores. O cantão seleccionado para o estudo foi o Cantão 6, por incluir a instalação de 2 novos apoios e 5 módulos prismáticos, sendo por isso “exigente”, no cumprimento das distâncias regulamentares de segurança.

7.1 – Definições Regulamentares

Em Portugal o EDS é definido para a temperatura de +15°C com ausência de vento e por razões de segurança não deve ultrapassar os 24%, podendo no entanto em algumas situações especiais ir até aos 25%.

EDS- Every Day Stress:

$$EDS(\%) = \frac{K \times p}{F_{rup}} \times 100$$

K – Parâmetro de regulação

p- Peso do condutor por km

F_{rup}- Força de ruptura do condutor

As tensões máximas de tracção admissíveis para os condutores nus e para os tensores das linhas não deverão, para a hipótese de cálculo mais desfavorável, ser superiores ao quociente das suas tensões de ruptura por 2,5 (RSLEAT art. 24º).

As hipóteses de cálculo para os condutores nus das linhas deverão ser as mais desfavoráveis das seguintes (RSLEAT art 21º):

- Fora das zonas de gelo:
 - 1- Temperatura de +15°C e vento máximo habitual;
 - 2- Temperatura de -5°C e vento reduzido;
- Em zonas de gelo:
 - 1- Temperatura de +15°C e vento máximo habitual;
 - 2- Temperatura de -10°C, manga de gelo e vento reduzido actuando sobre os condutores e cabos de guarda com manga de gelo.

De acordo com as disposições regulamentares do RSLEAT ou por situações locais as distâncias mínimas de segurança dos condutores a considerar são as seguintes:

Tensão Nominal (kV)	150	220	400
Solo	6,3	7,1	8
Árvores	3,1	3,7	5
Edifícios	4,2	4,7	6
Estradas	7,8	8,5	10,3
Vias férreas não electrificadas	7,8	8,5	10,3

Tabela 7.1: Distâncias RSLEAT a obstáculos

Sem prejuízo de valores diferentes impostos por disposições regulamentares ou por situações locais as distâncias de segurança dos condutores normalmente consideradas pela REN são as seguintes:

Tensão Nominal (kV)	150	220	400
Solo	10	12	14
Árvores	4	5	8
Edifícios	5	6	8
Estradas	11	12	16
Vias férreas electrificadas	13,5	14	16
Vias férreas não electrificadas	11	12	15
Outras linhas aéreas	4(a)	5(a)	7(a)
Obstáculos diversos	3,2	3,7	5

(a) Considerando o ponto de cruzamento a 300 m do apoio mais próximo

Tabela 7.2: Distâncias REN a obstáculos

7.2 – Análise da aplicação do condutor ACCR

Esta análise será feita com o condutor ACCR 795/T16 que tem um diâmetro aproximadamente igual ao condutor Zebra, mas como o seu peso linear é menor, permite um parâmetro de regulação superior, que resulta numa diminuição da flecha. As propriedades eléctricas deste condutor, não são muito diferentes das do condutor Zebra, não havendo por isso grandes alterações do ponto de vista das perdas eléctricas na linha. O condutor Zebra a operar a 85°C, para uma temperatura ambiente de 20°C, permite uma capacidade de transporte na linha de 416MVA. Analisando a temperatura do condutor ACCR, para a mesma potência na linha e temperatura ambiente, obtém-se a seguinte temperatura de funcionamento:

Condutor	Temperatura de funcionamento (°C)
ZEBRA	85
ACCR 795/T16	87

Tabela 7.3: Temperaturas de funcionamento

Será feita a análise do condutor ACCR 795/T16, para a temperatura de funcionamento acima referida, permitindo assim uma comparação do seu comportamento, com o condutor Zebra para a mesma exigência de carga.

7.2.1 – Cálculo mecânico do condutor ACCR 795/T16 a 87°C

Inicialmente foi feito o estudo do comportamento da catenária utilizando o programa desenvolvido que permite através da definição do EDS verificar a flecha máxima e de nível para as várias temperaturas e estados atmosféricos, as tracções horizontal e total e o coeficiente de segurança das tensões máximas de tracção.

Microsoft Excel - Cálculo Mecânico EN50341

Escreva uma pergunta

Q38

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O										
Dados															Resultados									
															ACCR 28.1									
															Situação Inicial									
															Temp. 1									
															Temp. 2									
															Temp. 3									
															Hipóteses de Cálculo									
															15									
															87									
															95									
															110									
															-5°C Vred									
															15°C Vmax									
Temperatura do Cabo (°C)																								
Parâmetro K =																								
X_s =																								
X_g =																								
Cotas do Cabo																								
g =																								
Comprimento do Arco (m) =																								
s =																								
Flecha Máxima =																								
Flecha de Nível =																								
Tração Horizontal =																								
Tração Total =																								
RT (>2.5) =																								

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Dados														
Lista de Cabos														
ACCR 21,8														
ACCR 23,5														
ACCR 25,2														
ACCR 28,1														
ACCR 30,4														
ACCR 31,6														
BEAR														
GUINEA														
PANTHER														
SVG 19/13														
TEJO														
ZAMBEZE														
ZEBRA														

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Dados														
Temperatura da linha (KV) 220														
Cabo (ver lista) ACCR 28,1														
Temperatura Ambiente (°C) 6,3														
Potência na Linha (MW) 0														
Parâmetro K (se conhecido)														
EDS(%) 24,00														
Corrente (A) 0														
Parâmetro K = 2544														
Zona de Vento Zona B														

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Dados														
X (m)														
Y (m)														
X_{Hipótese 1 (regulada)} 0														
Y_{Hipótese 1 (regulada)} 111,74														
X_{q1}														
Y_{q1}														
X_{q2}														
Y_{q2}														
X_{q3}														
Y_{q3}														
X_{q4}														
Y_{q4}														
X_{q5}														
Y_{q5}														
X_{Hipótese 2 (fixada)} 626														
Y_{Hipótese 2 (fixada)} 84,8														

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Dados														
Vão Equivalente (m) = 453,88														
Altura de fixação dos condutores														
a_{n+1} 453,8558672														
a_{n+2} 626														
a_{n+3} 460														
a_{n+4} 457,41														
a_{n+5} 335,75														
a_{n+6} 392,03														
a_{n+7} 376,15														
a_{n+8} 544,3														
a_{n+9} 330,3														

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Dados														
b_{n+1} 25,76066667														
b_{n+2} 19,31														
b_{n+3} 31														
b_{n+4} 28,49														
b_{n+5} 22,49														
b_{n+6} 28,23														
b_{n+7} 22,49														
b_{n+8} 28,49														
b_{n+9} 28,49														

Dados e Resultados / Auxiliar / Tabela de Cabos / Catenárias / Cálculo Térmico / Mudança de Estado / Mudança de Est

Figura 7.1: Folha de cálculo da análise mecânica do condutor ACCR.

Tendo em conta o coeficiente de segurança das tensões máximas de tracção, foi feito o estudo da regulação do parâmetro do condutor, de onde resultaram os seguintes valores de EDS e parâmetros de regulação para os 15 e 87°C.

Condutor	EDS (%)	Parâmetro a 15°C (m)	Parâmetro a 87°C (m)
ACCR 795/T16	24	2544	1944

Tabela 7.4: EDS e parâmetro de regulação do cantão em estudo

Verifica-se que o parâmetro de regulação deste condutor a 87°C (1944) é muito superior ao do condutor Zebra a 85°C (1512). Esta diferença deve-se ao facto do condutor ACCR, ter um peso linear inferior e uma força de ruptura superior, permitindo assim um EDS superior, sem prejuízo do cumprimento do coeficiente de segurança das tensões máximas de tracção.

Os resultados do estudo completo para o cantão 6 podem ser consultados no Anexo B.

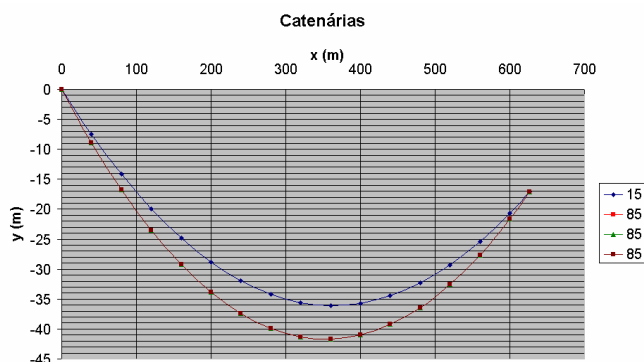
7.2.2 – Comparação das catenárias do condutor Zebra a 85°C com o condutor ACCR 795/T16 a 87°C

Com recurso à folha de cálculo “Catenárias” do programa desenvolvido é possível comparar as catenárias dos diferentes condutores para as respectivas temperaturas de funcionamento referentes à mesma carga na linha.

Será feita a comparação para 4 vãos, permitindo assim que se possam tirar conclusões para diferentes comprimentos de vãos e alturas de fixação. Esta selecção integra o vão mais comprido, o mais curto, um junto a um novo apoio e outro entre dois módulos.

Vão 16-17: (626 metros)

- Condutor Zebra a 85°C



-Condutor ACCR 795/T16 a 87°C

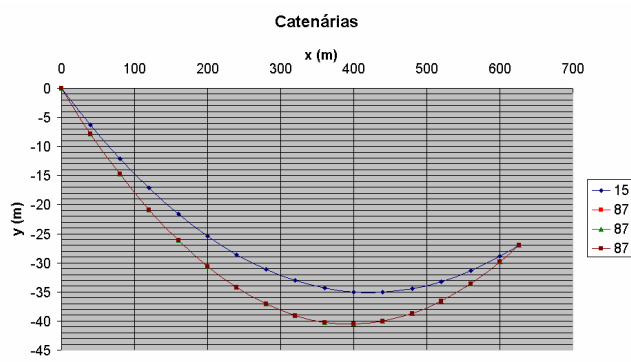


Figura 7.2: Comparação das catenárias no vão 16-17

Na figura 39, pode observar-se que a flecha de nível do condutor ACCR (40,52m) é ligeiramente inferior à do condutor Zebra (41,7m), mesmo sem a substituição do apoio à direita, que deu uma elevação de 9,9 metros ao ponto de fixação do condutor.

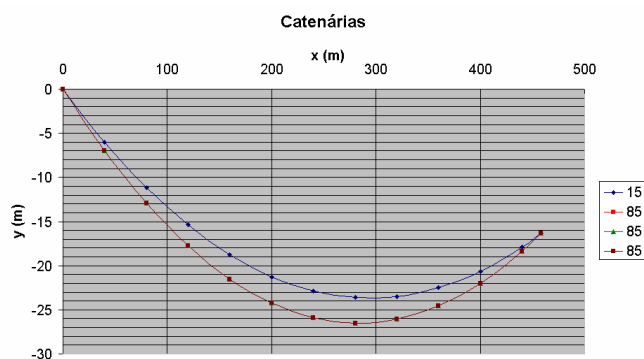
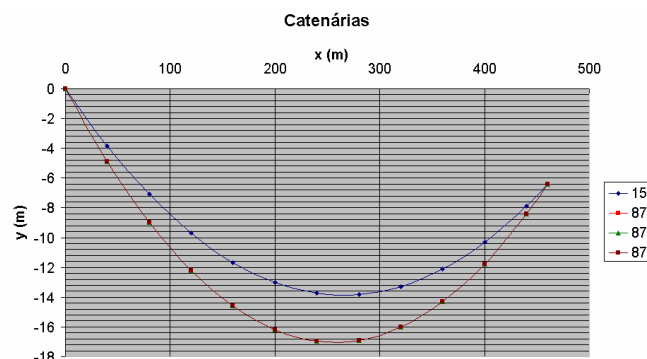
Vão 17-18: (460 metros)**- Condutor Zebra a 85°C****-Condutor ACCR 795/T16 a 87°C**

Figura 7.3: Comparação das catenárias no vão 17-18

Na figura 40, é preciso ter em atenção a diferença de escala do eixo vertical e o facto de o apoio novo ser o da esquerda. À flecha de nível do condutor Zebra (26,5m) é necessário reduzir o incremento de altura (9,9m) conseguido com a substituição do apoio, para que se possa fazer a comparação com a flecha de nível do condutor ACCR (17,02). Tendo em conta este aspecto, verifica-se que nesta situação não há uma redução da distância aos obstáculos, mas o aumento verificado é de apenas 0,42m, não constituindo por isso grande problema.

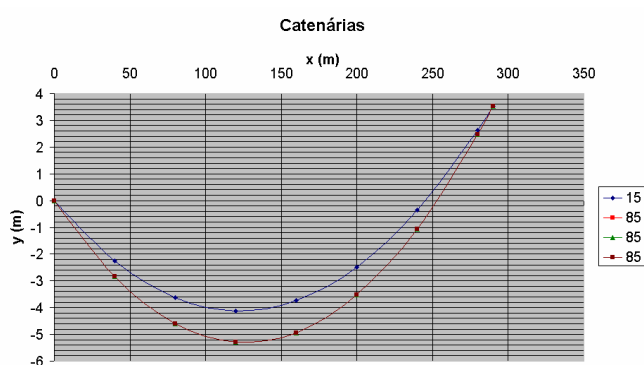
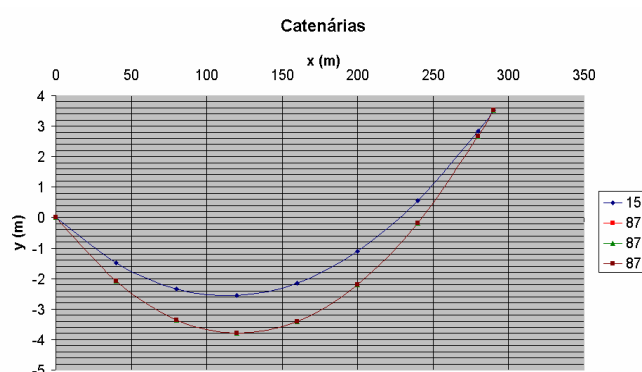
Vão 24-25: (290 metros)**- Condutor Zebra a 85°C****-Condutor ACCR 795/T16 a 87°C**

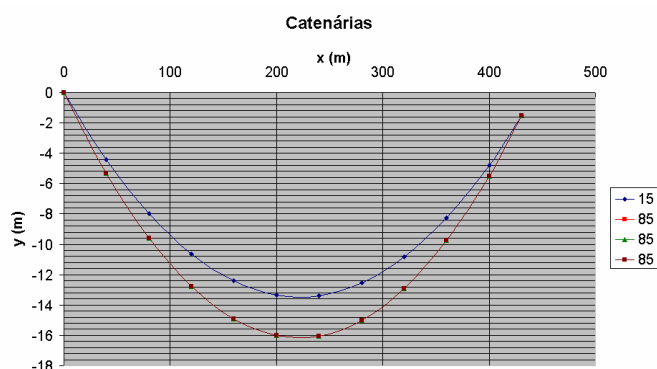
Figura 7.4: Comparação das catenárias no vão 24-25

O vão 24-25 é o vão mais pequeno do cantão em análise, que associado ao facto de no “uprating” efectuado pela REN terem sido incluídos módulos de 6 metros nos

dois apoios, o torna na situação mais desfavorável para o condutor ACCR. Da análise da figura 7.4, conclui-se que apesar de haver uma redução da flecha de nível em 1,52m, a linha está mais próxima dos obstáculos, porque na solução REN a linha está 6m acima. No entanto, mais à frente serão analisadas as distâncias a obstáculos.

Vão 27-28: (432 metros)

- Condutor Zebra a 85°C



-Condutor ACCR 795/T16 a 87°C

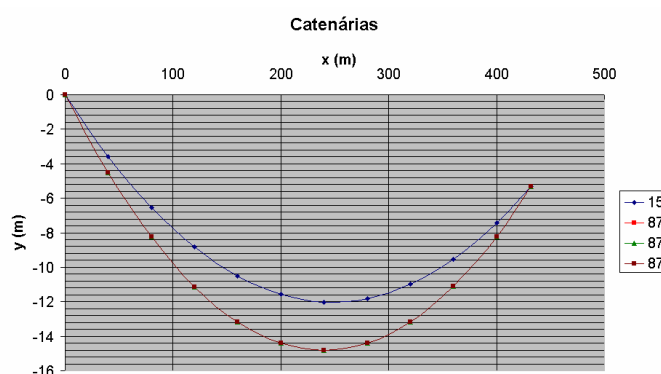


Figura 7.5: Comparação das catenárias no vão 27-28

Na figura 7.5, verificar-se uma redução da flecha de nível da solução com o condutor ACCR (14,82m) para a solução com o condutor Zebra (16,15m). Mas a solução REN inclui um módulo de 6 metros no apoio da esquerda e a substituição do apoio da direita, com uma elevação ao ponto de fixação de 9,8m. Conclui-se então que apesar da diminuição da flecha, não há uma redução da distância a obstáculos.

Numa segunda fase, e com recurso ao PLS-CADD, comparou-se o comportamento dos condutores Zebra a 85°C e o condutor ACCR 795-T16 a 87°C sem qualquer alteração dos apoios. Esta análise permite perceber a recuperação da flecha que o condutor ACCR consegue em relação ao condutor Zebra, para as mesmas condições de funcionamento.

Vão 16-17: (626 metros)

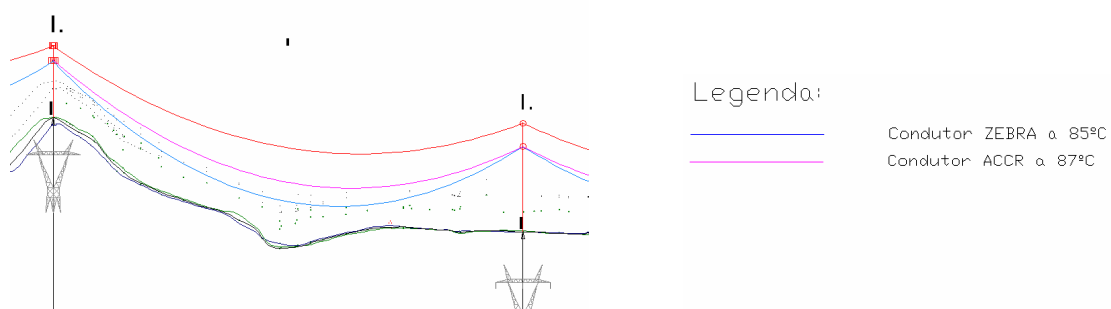


Figura 7.6: Catenária dos condutores Zebra e ACCR no vão 16-17 com pontos de fixação à mesma cota

Vão 17-18: (460 metros)

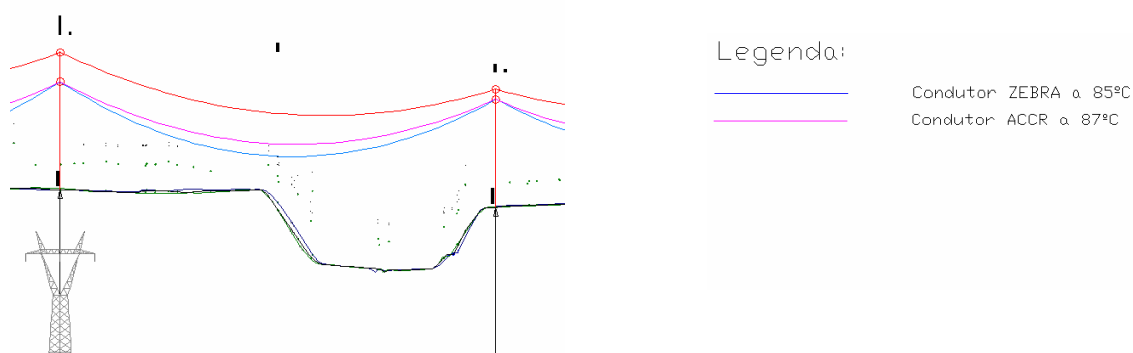


Figura 7.7: Catenária dos condutores Zebra e ACCR no vão 17-18 com pontos de fixação à mesma cota

Vão 24-25: (290 metros)

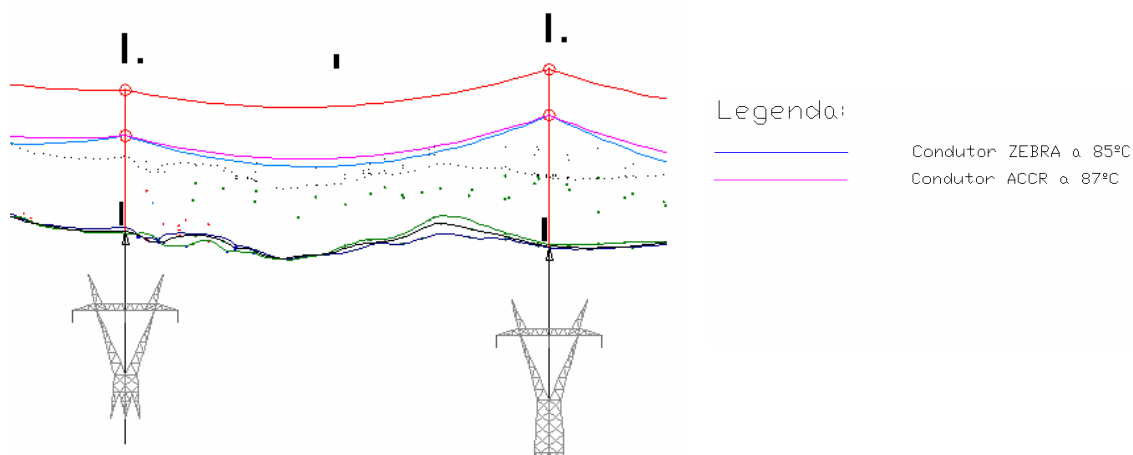


Figura 7.8: Catenária dos condutores Zebra e ACCR no vão 24-25 com pontos de fixação à mesma cota

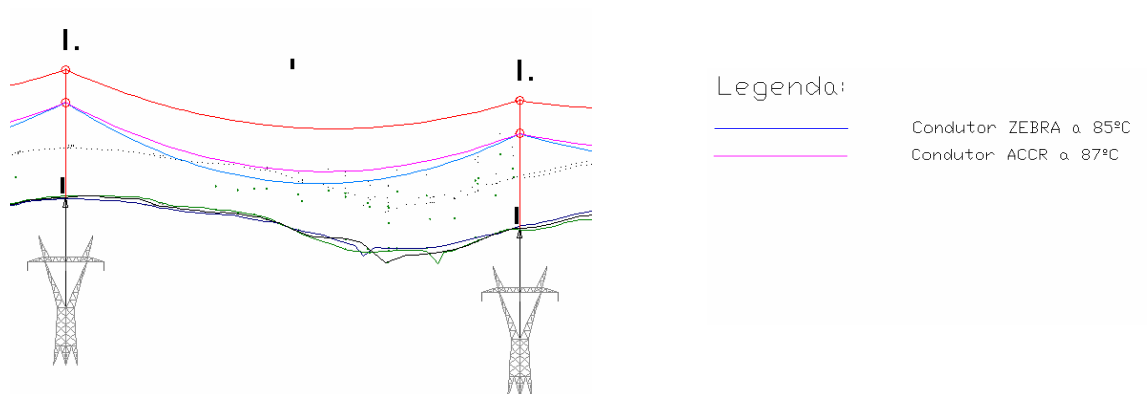
Vão 27-28: (432 metros)

Figura 7.9: Catenária dos condutores Zebra e ACCR no vão 27-28 com pontos de fixação à mesma cota

Como se verifica através da análise das figuras anteriores, a flecha do condutor ACCR é menor que a do condutor ZEBRA em todas as situações, como seria de esperar, com particular relevância no vão de maior comprimento.

Nas Figuras 7.10 e 7.11 pode observar-se o comportamento da flecha com o aumento da temperatura. Verifica-se que a flecha do condutor ACCR é consideravelmente inferior para a mesma temperatura.

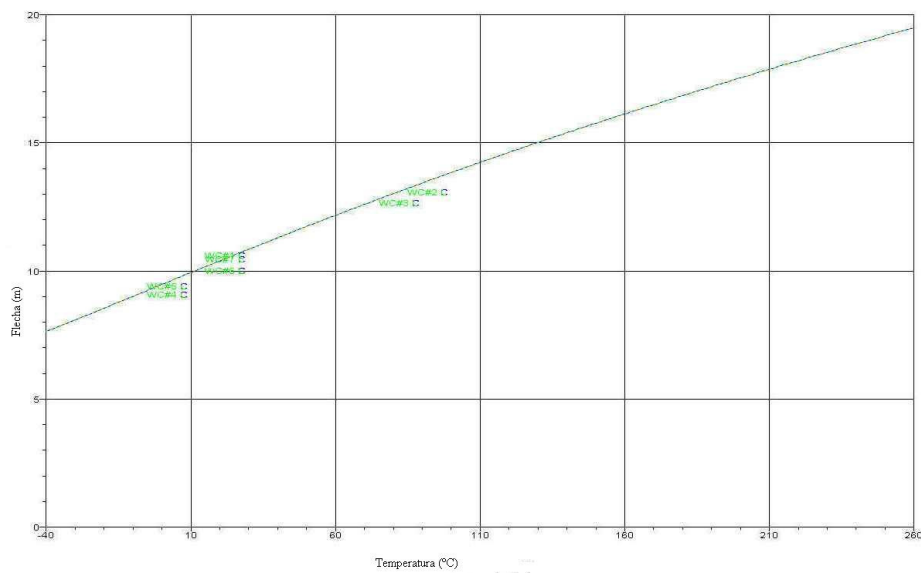


Figura 7.10: Comportamento da flecha com o aumento da temperatura no Condutor ACCR

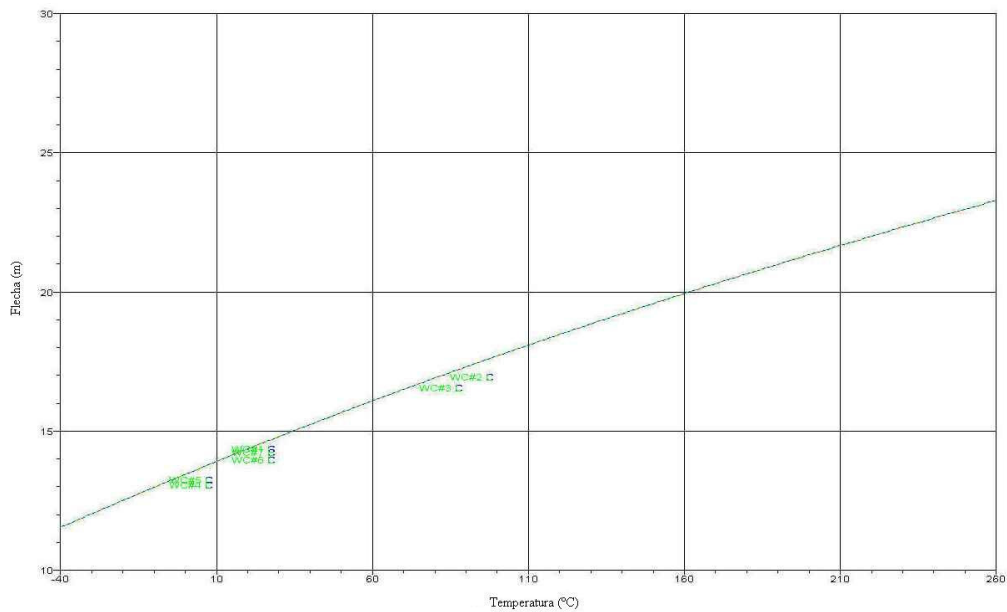


Figura 7.11: Comportamento da flecha com o aumento da temperatura no Condutor Zebra

Nas figuras 7.12 e 7.13, pode analisar-se a evolução das tracções horizontais a que os condutores estão sujeitos com o aumento da temperatura de funcionamento.

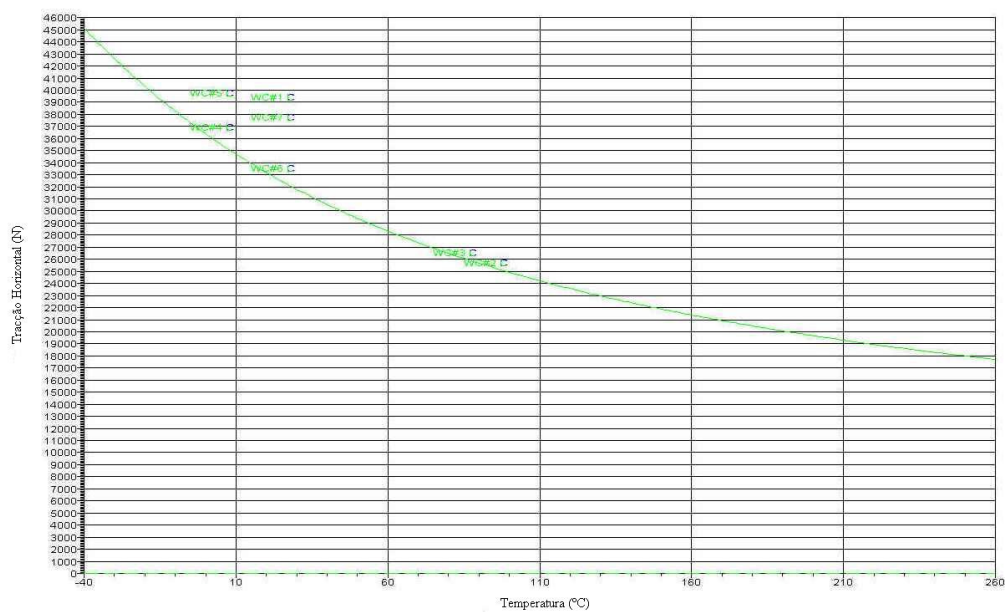


Figura 7.12: Comportamento da tracção com o aumento da temperatura no Condutor ACCR

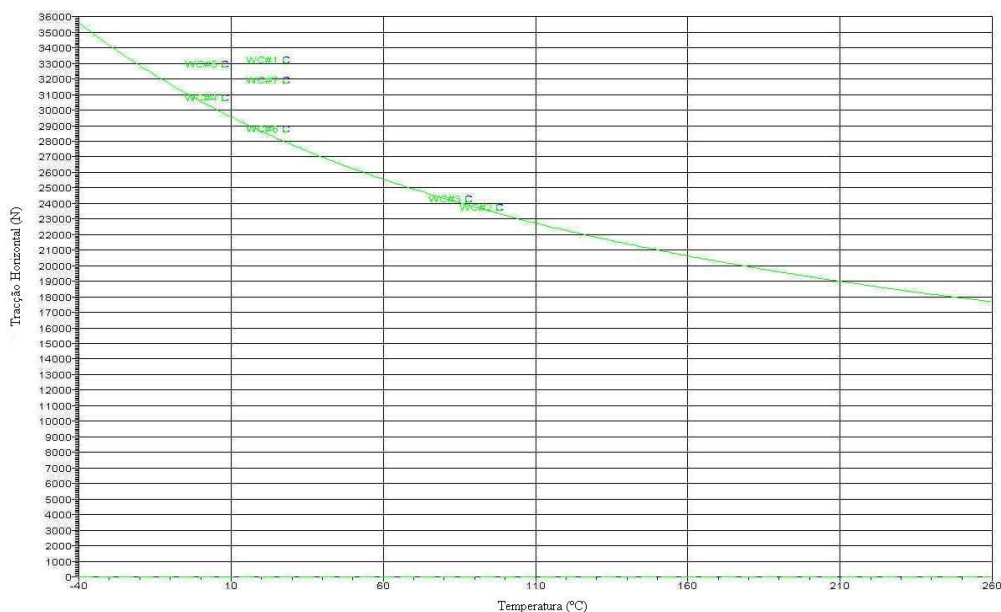


Figura 7.13: Comportamento da tração com o aumento da temperatura no Condutor Zebra

7.2.3 – Análise das distâncias regulamentares de segurança

Com recurso ao PLS-CADD, desenhou-se a catenária correspondente ao parâmetro para os 87°C no perfil e fez-se a análise das distâncias mínimas a obstáculos para o cantão 6. Aqui também só se apresentam os quatro vão analisados anteriormente, tendo em conta estes foram escolhidos de modo a englobarem as situações mais desfavoráveis.

Vão 16-17: (626 metros)

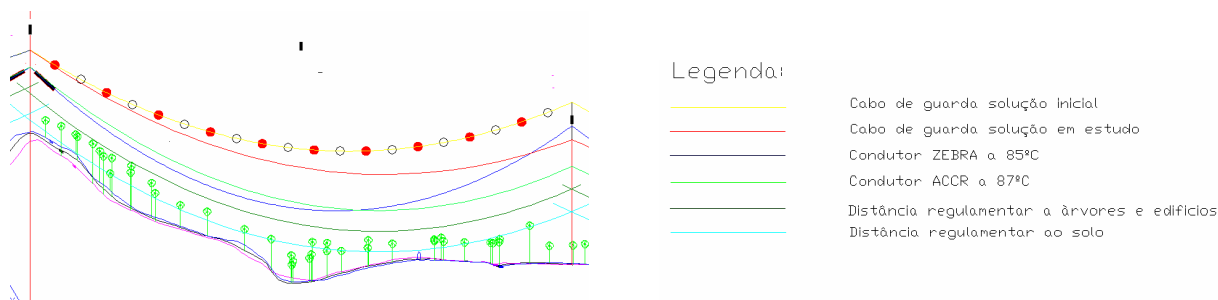


Figura 7.14: Comparação das catenárias no vão 16-17

Vão 17-18: (460 metros)

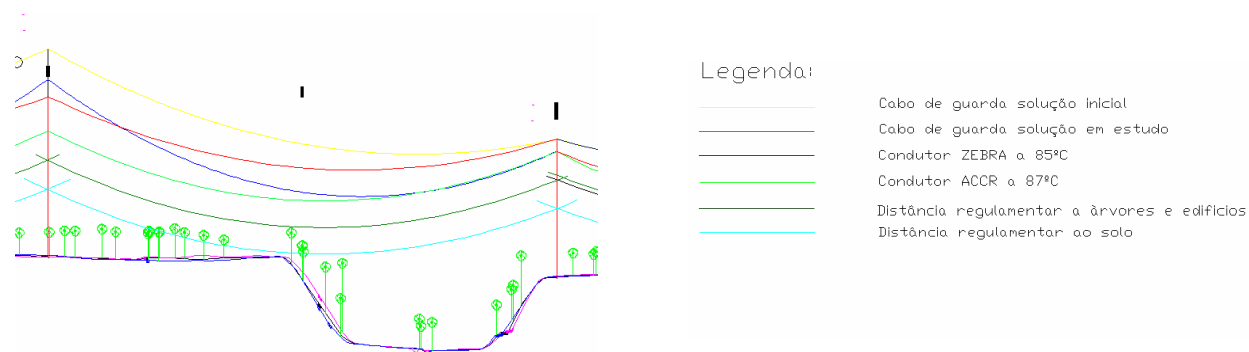


Figura 7.15: Comparação das catenárias no vão 17-18

Vão 24-25: (290 metros)

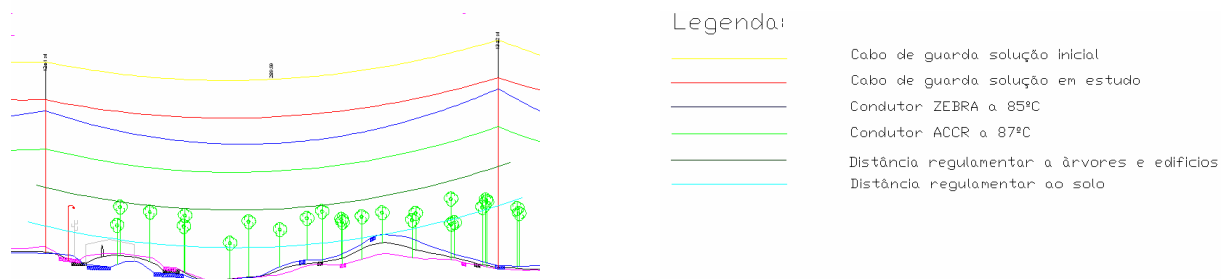


Figura 7.16: Comparação das catenárias no vão 24-25

Vão 27-28: (432 metros)

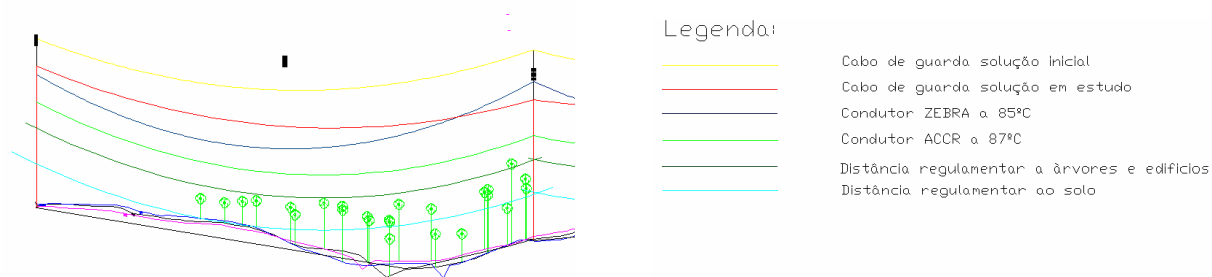


Figura 7.17: Comparação das catenárias no vão 27-28

Tal como se pode observar nas figuras anteriores, a flecha com o condutor ACCR é menor, contudo apenas no vão 16-17 há uma redução da distância a obstáculos e apenas em metade do vão. Tal facto deve-se à não inclusão de módulos nos apoios na situação em estudo. Verifica-se no entanto que as distâncias mínimas a obstáculos definidas pelo critério REN são respeitadas em todas as situações, embora no vão 24-25 e 27-28, a distância de segurança ao solo está mesmo no limite, e no vão 27-28 pode ser necessário cortar ou decotar uma árvore se esta estiver no alinhamento da linha.

7.3 – Condutor ACCR a 95°C

Para confirmar o comportamento da flecha a temperaturas de funcionamento diferentes das utilizadas nos “uprating” da REN, optou-se por realizar uma simulação para a uma temperatura de funcionamento do condutor ACCR de 95°C, confirmando-se que mesmo para esta temperatura de funcionamento eram respeitadas as distâncias regulamentares (RSLEAT), principalmente, nos vãos de maior comprimento.

Vão 16-17: (626 metros)

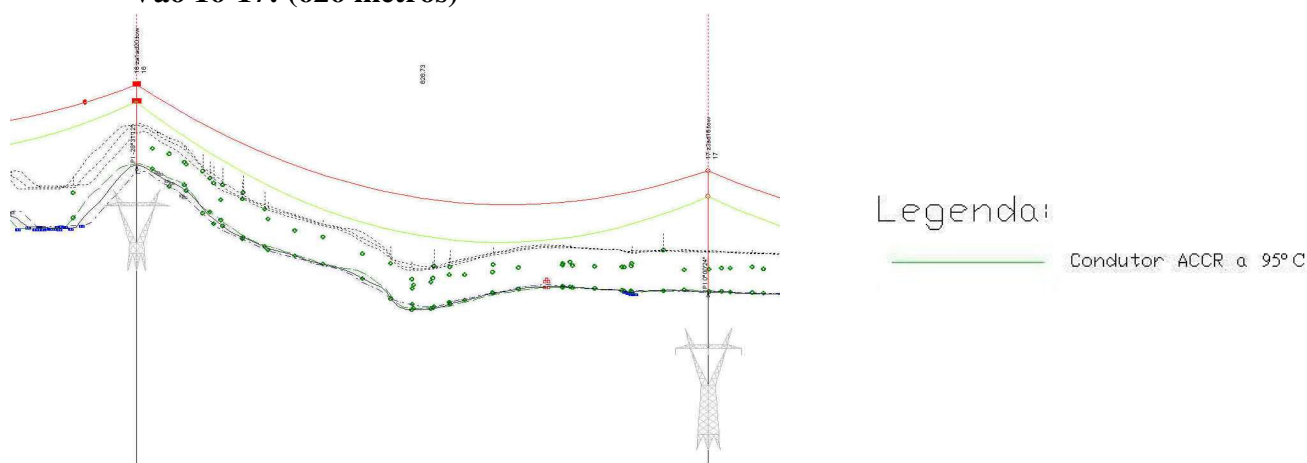


Figura 7.18: Catenária do condutor ACCR a 95°C

7.4 – Comparação de custos

Para o cantão estudado, foi feita uma comparação de custos entre a solução seguida pela REN e a solução estudada nesta dissertação. A descrição das tarefas e matérias-primas necessárias à realização das diferentes soluções são descritas e

orçamentadas em detalhe no Anexo D. Como não foi possível obter o preço do condutor seleccionado para o estudo, utilizou-se o preço do condutor Zebra multiplicado por um factor α , permitindo assim obter um preço variável para a solução em análise e calcular o α para o qual o preço das duas soluções se iguala. Existem no entanto indicações de que o preço do condutor ACCR é aproximadamente 6 vezes superior ao do condutor Zebra, bastando por isso fazer $\alpha = 6$ para se calcular um preço aproximado da solução em estudo.

α	Solução em Estudo	Solução REN
1	142021	158407
1,16	158407	158407
2	246565	158407
3	351108	158407
4	455652	158407
5	560195	158407
6	664739	158407

Tabela 7.5: Comparação de custos das diferentes soluções

Conclui-se então que para que a solução em estudo seja viável do ponto de vista económico, o preço do condutor ACCR, teria que ser muito próximo do preço do condutor Zebra.

Para o preço actual do condutor ACCR, a solução em estudo ficaria aproximadamente 4,2 vezes mais cara que a solução seguida pela REN, inviabilizando então a sua aplicação pelo menos em linhas onde se possa realizar a elevação dos apoios.

7.5 – Conclusões do capítulo

Para o caso em estudo, conclui-se que a aplicação do Condutor ACCR 795/T16 resolvia a totalidade dos problemas das distâncias a obstáculos dos vãos analisados. Tendo em conta que o cantão analisado tinha sido alvo de várias alterações nas estruturas e que os vãos seleccionados para a análise incluíam as situações mais desfavoráveis, podemos concluir que em principio as distâncias mínimas a obstáculos seriam respeitadas em toda a linha. Ficou comprovado com a análise feita, que o melhor desempenho deste condutor é para vãos longos, tal como é anunciado pelo fabricante. Concluiu-se também, através da comparação de custos, que a aplicação do condutor em estudo tem preço bastante mais elevado, inviabilizando assim a sua aplicação na maior parte das situações.

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES

Do trabalho desenvolvido pode concluir-se que a utilização do condutor ACCR 795-T16 nos “uprating” de linhas aéreas de Muito Alta Tensão é uma solução viável e que em certas situações pode ser mesmo muito vantajosa, como é o caso das zonas de florestação muito densa ou zonas habitacionais, nas quais normalmente é difícil ou mesmo impossível a realização de alterações nas estruturas.

Trata-se de uma solução simples de efectuar, quando comparada com a elevação dos apoios, permitindo assim curtos prazos de projecto e execução.

No entanto, devido à ainda reduzida aplicação deste condutor, o preço é elevado (cerca de 6 vezes o preço do condutor Zebra), o que inviabiliza a aplicação mais frequente do mesmo.

No caso em estudo verificou-se que a aplicação do condutor ACCR seria opção viável para a temperatura de funcionamento de 87°C, existindo apenas algumas situações que poderiam obrigar a cortar ou decotar algumas árvores, principalmente nos vãos mais curtos, onde a recuperação da flecha é menor e a solução seguida pela REN envolveu a elevação dos apoios.

De considerar que este estudo se debruçou com mais acuidade no funcionamento do cabo a 87 °C, contudo, a temperatura de funcionamento deste tipo de cabo poderá atingir os 210 °C em regime contínuo e 240 °C em situação de emergência.

Foi feita a tentativa de aplicar um condutor de diâmetro mais reduzido, que para a mesma carga na linha teria uma temperatura de funcionamento superior, mas devido ao aumento da resistência linear e à limitação regulamentar do EDS que não pode exceder os 24%, concluiu-se que não trazia qualquer mais valia em relação ao condutor seleccionado.

A ausência do cálculo das perdas eléctricas na linha é justificada pelo facto das propriedades do condutor seleccionado serem praticamente iguais às do condutor Zebra, não havendo por isso alterações significativas.

A terminar, diremos que de um modo geral, foram cumpridos os objectivos inicialmente propostos para esta dissertação, permitindo obter um conjunto de soluções importantes no que diz respeito ao aumento da capacidade de transporte das Linhas Aéreas de Muito Alta Tensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

P. R. Labegalini, J. A. Labegalini, R. D. Fuchs, M. T. de Almeida (1992) "Projectos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão", Editora Edgard Blucher.

Luís M. Checa, (1979) "Linhas de Transporte de Energia", Electricidade Electrónica

Luís Mira Amaral, "Energia e Mercado Ibérico", Booknomics

REN, S.A., Caracterização da Rede Nacional de Transporte para efeitos de acesso à Rede

REN, S.A., Capacidade de Interligação para o Ano de 2008

REN, S.A., A Energia Eólica em Portugal 2007

REN, S.A., Dados Técnicos 2007

REN, S.A., Caracterização das Interligações em 31 de Dezembro de 2006

REN, S.A., Plano de Investimentos da RNT 2006_2011

Hoffmann, S.P., Clark, A.M., "The approach to thermal uprating of transmission lines in the UK", CIGRE Paper B2-317, Paris, 2004.

Stephen, R., "Description and evaluation of options relating to uprating of overhead transmission lines", CIGRE Paper B2-201, Paris, 2004.

"Conductors for the uprating of overhead lines", CIGRE WG B2.12, No. 244, 1 Nov. 2003

Technical Notebook 3M, "Aluminum Conductor Composite Reinforced"

I. Zamora, A. J. Mazon, P. Eguia, R. Criado, C. Alonso, J. Iglesias, J. R. Saenz, (2001) “High-temperature conductors: a solution in the uprating of overhead transmission lines”, September 2001 IEEE Porto Power Tech Conference.

Daniel C. Lawry, Jose R. Daconti, “Overhead Line Thermal Rating Calculation Based on Conductor Replica Method”, 2003 IEEE

“Regulamento de segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão”, Decreto Regulamentar nº1/92, de 18 de Fevereiro

Norma Europeia, (2001) “EN 50341”.

<http://www.3m.com>

<http://www.compositetechcorp.com>

<http://www.ren.pt>

<http://www.fe.up.pt>

<http://www.dgeg.pt>

<http://www.erse.pt>

<http://www.edp.pt>

<http://www.sumutomolectricusa.com>

<http://www.cable.alcan.com>

ANEXO A – Características do Condutor ACCR da 3M

Table 4: Typical Properties of 3M Composite Conductors (*Metric Units*)

Conductor Physical Properties													
Designation		336-T16	397-T16	477-T16	556-T16	636-T16	795-T16	954-T13	1033-T13	1113-T13	1272-T13	1351-T13	1590-T13
Stranding		26/7	26/7	26/7	26/7	26/19	26/19	54/19	54/19	54/19	54/19	54/19	54/19
Diameter													
indiv Core	mm	2.2	2.4	2.7	2.9	1.9	2.1	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6
indiv Al	mm	2.9	3.1	3.4	3.7	4.0	4.4	3.4	3.5	3.6	3.9	4.0	4.4
Core	mm	6.7	7.3	8.0	8.7	9.3	10.4	10.1	10.5	10.9	11.7	12.1	13.1
Total Diameter	mm	18.3	19.9	21.8	23.5	25.2	28.1	30.4	31.6	32.8	35.1	36.2	39.2
Area													
Al	mm ²	170	201	241	282	322	403	483	523	564	645	685	806
Total Area	mm ²	198	234	281	328	374	467	545	590	635	726	771	908
Weight	kg/m	0.566	0.669	0.802	0.937	1.067	1.333	1.553	1.682	1.812	2.071	2.200	2.589
Breaking Load													
Core	kN	36.5	43.1	51.7	60.4	66.0	82.5	78.8	85.3	91.9	105.1	111.6	131.3
Aluminum	kN	25.7	29.8	34.9	40.7	45.6	55.9	66.9	72.4	78.1	89.2	94.7	111.5
Complete Cable	kN	62.2	72.9	86.6	101.2	111.6	138.5	145.7	157.8	170.0	194.3	206.4	242.9
Modulus													
Core	GPa	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Aluminum	GPa	55	55	55	55	55	51	55	55	55	55	55	55
Complete Cable	GPa	78	78	78	78	77	74	73	73	73	73	73	73
Thermal Elongation													
Core	10 ⁻⁶ /C	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
Aluminum	10 ⁻⁶ /C	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
Complete Cable	10 ⁻⁶ /C	16.5	16.5	16.5	16.5	16.6	16.3	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
Heat Capacity													
Core	W-sec/m-C	31	36	44	51	57	71	68	74	79	91	96	113
Aluminum	W-sec/m-C	449	530	636	743	849	1,062	1,280	1,386	1,494	1,707	1,813	2,134
Conductor Electrical Properties													
Resistance													
DC @ 20C	ohms/km	0.1614	0.1366	0.1138	0.0975	0.0854	0.0683	0.0580	0.0535	0.0497	0.0435	0.0409	0.0348
AC @ 25C	ohms/km	0.1652	0.1398	0.1165	0.0998	0.0875	0.0700	0.0594	0.0548	0.0509	0.0445	0.0419	0.0356
AC @ 50C	ohms/km	0.1816	0.1536	0.1281	0.1097	0.0961	0.0769	0.0652	0.0603	0.0559	0.0489	0.0461	0.0391
AC @ 75C	ohms/km	0.1979	0.1675	0.1396	0.1195	0.1048	0.0838	0.0711	0.0657	0.0610	0.0533	0.0502	0.0427
Geometric Mean Radius	cm	0.7424	0.807	0.884	0.9552	1.021	1.1416	1.2302	1.2801	1.3288	1.4205	1.464	1.5882
Reactance (1 ft Spacing, 60hz)													
Inductive X _a	ohms/km	0.2817	0.2754	0.2685	0.2626	0.2576	0.2491	0.2434	0.2404	0.2376	0.2325	0.2302	0.2241
Capacitive X _a	ohms/km	0.065	0.0635	0.0618	0.0603	0.0591	0.057	0.0556	0.0549	0.0542	0.0529	0.0524	0.0509

ANEXO B – TABELAS DA ANÁLISE MECÂNICA DO CANTÃO 6

ZEBRA				+5°C							15°C (c/vento)		-5°C (c/vento reduzido)		15°C (c/vento forte)		EDS (Z)	Apsis Antiga	Apsis Nova
Cantão	Vão	Cantar	Apsis	Parâmetro	Cump. Da Arco	F. méd	F. do Nível	Tr. Horizontal	Tr. Total	R/I	Parâmetro	R/I	Parâmetro	R/I	Parâmetro	R/I			
6	626,73	y0	111,74	1512	631,45	32,6	41,7	2448	2501	5,3	1832	4,4	1931	3,85	1725	3,21	22,39	2A1	2A1
		y1	94,7															23	MT1-43
	458,31	y0	94,7															23	MT1-43
		y1	78,38															23	23
	457,41	y0	78,38															23	23
		y1	85,71															22	22
	335,75	y0	85,71															22	22
		y1	89,35															US3	US3
	392,03	y0	89,35															US3	US3
		y1	72,88															22	22e
	376,15	y0	72,88															22	22e
		y1	67,39															23	23
	544,30	y0	67,39															23	23
		y1	91,33															23	23e
	330,30	y0	91,33															23	23e
		y1	69,56															21	21e
	290,00	y0	69,56															21	21e
		y1	73,08															22	22e
	395,60	y0	73,08															22	22e
		y1	69,12															22	22
	377,68	y0	69,12															22	22
		y1	75,12															22	22e
	430,91	y0	75,12															22	22e
		y1	73,59															22	MT1-37
	379,25	y0	73,59															22	MT1-37
		y1	77,94															23	23
	549,66	y0	77,94															23	23
		y1	72,46															UR4	UR4

ACCR 28.1				87°C							15°C (s/vento)		5°C (c/vento reduzido)		15°C (c/vento forte)		EDS (%)	Apoio
Catão	Vão	Cotas	Apoio	Parâmetro	Comp. Do Arco	F. máx	F. de Nível	Tr. Horizontal	Tr. Total	R/T	Parâmetro	R/T	Parâmetro	R/T	Parâmetro	R/T		
6	626,00	y0 111,7	16	1944	629,29	25,26	40,52	2531	2624	5,38	2544	4,1	2700	3,49	2231	2,93	24	ZA1
		y1 84,8	17															Z3
	460,00	y0 84,8			461,12	13,62	17,02	2531	2609	5,42		4,2		3,5		2,94		Z3
		y1 78,38	18															Z3
	457,41	y0 78,38			458,52	13,47	10,06	2531	2609	5,42		4,2		3,5		2,94		Z2
		y1 85,71	19															Z2
	335,75	y0 85,71			336,19	7,25	5,55	2531	2600	5,43		4,2		3,5		2,95		US3
		y1 89,35	20															US3
	392,03	y0 89,35			393,34	9,89	24,32	2531	2604	5,43		4,2		3,5		2,95		Z2
		y1 66,88	21															Z2
	376,15	y0 66,88			376,74	9,11	8,85	2531	2603	5,43		4,2		3,5		2,95		Z3
		y1 67,39	22															Z3
	544,30	y0 67,39			546,38	19,09	11,17	2531	2616	5,4		4,1		3,49		2,94		Z3
		y1 85,33	23															Z3
	330,30	y0 85,33			331,41	7,02	22,12	2531	2600	5,44		4,2		3,5		2,95		Z1
		y1 63,56	24															Z1
	290,00	y0 63,56			290,29	5,41	3,79	2531	2598	5,44		4,2		3,5		2,95		Z2
		y1 67,08	25															Z2
	395,60	y0 67,08			396,29	10,07	9,08	2531	2604	5,43		4,2		3,5		2,95		Z2
		y1 63,12	26															Z2
	377,68	y0 63,12			378,27	9,18	9,18	2531	2603	5,43		4,2		3,5		2,95		Z2
		y1 63,12	27															Z2
	432,00	y0 63,12			432,92	12,02	14,82	2531	2607	5,42		4,2		3,5		2,95		Z2
		y1 63,8	28															Z2
	362,00	y0 63,8			362,8	8,43	2,85	2531	2602	5,43		4,2		3,5		2,95		Z3
		y1 77,94	29															Z3
	549,66	y0 77,94			551,52	19,46	22,3	2531	2617	5,4		4,1		3,49		2,94		UR4
		y1 72,46	30															

ANEXO C – Memória descritiva do “uprating” REN



Divisão Equipamento
EQPJ-Linhas

LINHA PEREIROs – BATALHA 2
A 220 kV – “UPRATING”
MEMÓRIA DESCRITIVA

JG/EQPJ-LN/06

ÍNDICE

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	4
1.1. OBJECTO	4
1.2. IMPACTE AMBIENTAL.....	4
1.3. CRITÉRIOS TÉCNICOS GERAIS.....	4
1.4. OBSERVAÇÕES.....	5
2. EQUIPAMENTO	5
2.1. APOIOS	5
2.2. FUNDAÇÕES.....	5
2.3. CABOS	7
2.3.1. Aspectos Gerais do Dimensionamento.....	7
2.3.2. Distâncias de Segurança Associadas aos Cabos	8
2.4. ACESSÓRIOS DOS CABOS	9
2.4.1. Cabos Condutores	9
2.4.2. Cabos de Guarda	9
2.5. AMORTECEDORES DE VIBRAÇÕES	9
2.6. CADEIAS DE ISOLADORES	10
2.6.1. Aspectos de Dimensionamento Eléctrico	10
2.6.2. Acessórios de Cadeia	11
2.6.3. Fixação à Estrutura dos Cabos de Guarda.....	11
2.7. COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO.....	11
2.8. CIRCUITO DE TERRA DOS APOIOS	12
2.8.1. Normalização Adoptada.....	12
2.8.2. Constituição e Características dos Circuitos de Terra	13
2.9. CONJUNTOS SINALÉTICOS	14
3. CÁLCULOS.....	14
3.1. CÁLCULOS ELÉCTRICOS	14
3.1.1. Resistência Eléctrica Linear dos Condutores	14
3.1.2. Capacidade Térmica	15
3.1.3. Efeito Coroa. Campo Eléctrico Crítico. Perdas por Efeito Coroa.	15
3.1.4. Ruído Acústico.....	16
3.1.5. Interferências Radioeléctricas.....	16
3.1.6. Constantes Eléctricas da ligação da linha Pereiros – Batalha 2.....	16
4. DIRECTRIZ DA LINHA	16
5. TRAVESSIAS DE VIAS DE COMUNICAÇÃO.....	16
6. CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÃO	18
7. BALIZAGEM AÉREA	18
7.1. SINALIZAÇÃO PARA AERONAVES	18
7.2. SINALIZAÇÃO PARA AVES	18
8. ANÁLISE DE RISCOS ORIGINADOS PELA PRESENÇA E FUNCIONAMENTO DA LINHA.....	18
8.1. EFEITOS DOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	18
8.1.1. Valores Limites.....	18
8.1.2. Cálculo do Campo Eléctrico	19
8.1.3. Cálculo do Campo Magnético.....	19
9. PLANO DE SEGURANÇA E SAÚDE	20



LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

10. ELEMENTOS DO PROJECTO 20

1. Considerações Gerais

1.1. Objecto

A presente memória descritiva refere-se ao estudo de “Uprating” da Linha Pereiros – Batalha 2 a 220 kV (LPRBL2), o qual se enquadra no PIR (Plano de Investimento de Rede) aprovado.

Este estudo tem por objectivo fornecer as soluções técnicas que tornem possível a exploração da referida linha para uma temperatura máxima de 85°C, o que se traduz num aumento da capacidade de transporte.

1.2. Impacte Ambiental

Nos termos do Dec. - Lei n.º 69/00 de 3 de Maio de 2000 (Anexo II, n.º.3, alínea b) actualizado pelo Dec. Lei n.º 197/2005, são susceptíveis de processo formal de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) “instalações industriais destinadas ao transporte (...) de energia eléctrica por cabos aéreos”, com comprimentos e tensões superiores a 10 km e 110 kV, respectivamente. De acordo com o ponto 4 do Artigo 1º do Decreto-Lei n.º 197/2005, cabe à entidade licenciadora decidir sobre a necessidade de haver AIA para os projectos que não sejam abrangidos pelos limiares contidos no Anexo II.

A modificação a efectuar na LPRBL2 (“Uprating”) consiste em substituir os cabos de guarda, assim como os acessórios de fixação e os isoladores da actual linha. Além disso procede-se, nalguns casos, à substituição de apoios, mantendo-se o traçado original da linha.

Com esta solução de uprating pretende-se, em termos técnicos, aumentar a capacidade de transporte da linha e simultaneamente, ao efectuar pequenas alterações nas alturas dos apoios, minimizar os impactes ambientais designadamente em termos dos descritores de paisagem, ruído e qualidade do ar.

Perante este cenário considera-se que os impactes causados, por esta modificação, não são significativos e que não é necessário efectuar um Estudo de Impacte Ambiental, nem a respectiva Avaliação Ambiental.

1.3. Critérios Técnicos Gerais

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

- RSLEAT - Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (D.-Reg 1/92)
- Circulares dos Serviços de Aviação Civil;
- Circulares dos Serviços de Hidráulica;
- Regulamento de Protecção às Espécies Florestais e Agrícolas;
- Regulamento Geral do Ruído (Dec. – Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro);
- Servidões Administrativas.

e internacionais sobre os temas:

- Efeitos dos Campos Electromagnéticos;

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

- Tensões Induzidas;
- Perturbações Radioelétricas;
- Ruído Acústico;
- Critérios de Funcionamento da Linha em Regime de Curto Circuito.

1.4. Observações

A solução descrita no presente estudo de “Uprating” inclui, para além das intervenções na actual linha, mais uma medida, sem a qual a solução se torna inviável:

- *Reposição da zona de protecção da Linha Pereiros – Batalha 2.*

Deve ser reposta a zona de protecção da linha para garantir as distâncias de segurança preconizadas pela REN, SA, as quais são mais conservadoras que as expressas no RSLEAT, procedendo-se ao corte e/ou decote das árvores. No perfil e planta parcelar LD 31262 (folhas 1 a 13), identificam-se os vãos críticos, onde o corte e/ou decote se tornam imprescindíveis.

2. Equipamento

No anexo A.3 apresentam-se quadros com o resumo de quantidades de apoios e restante equipamento do presente projecto.

2.1. Apoios

Previu-se a substituição dos apoios 1, 17, 28, 67, 81, 94, 95, 108, 121, 132, 146 e 153 por novos apoios da família MT.

Está também contemplada a solução de introdução de módulos prismáticos de 6 m em diversos apoios. Nestas circunstâncias deverá, em tempo de construção, ser verificado o estado das fundações. Foi ainda prevista a passagem de alguns apoios de amarração para suspensão (apoios que em exploração foram passados a amarração no sentido de aumentar a distância ao solo, mas que com as alterações na linha podem voltar à situação inicial) e outros de suspensão para amarração.

Nos apoios 7, 11, 12, 32, 39, 44, 48, 60, 62, 63, 82, 83, 104, 114, 124, 126 e 133, que irão ser alvo de introdução de módulo prismático, está também prevista a substituição de quatro cantoneiras na zona de transição entre o fuste e o suporte da viga, conforme indicado no Anexo A.3.

Quanto ao apoio 18, do tipo Z3, serão removidas as hastes de cabo de guarda e estes passarão a ter os pontos de fixação na face superior da viga.

A lista das alterações apresenta-se num quadro no Anexo A.3 (Mapa de Medições).

2.2. Fundações

Os novos apoios apresentam quatro pontos de apoio no solo. As fundações previstas são de tipo convencional, constituídas por quatro maciços de betão independentes, com sapata em degraus e chaminé prismática. As fundações associadas à priori aos apoios de linha são dimensionadas para os mais elevados esforços que lhe poderão ser transmitidos pela estrutura metálica, considerando todas as combinações regulamentares de acções. O dimensionamento destas fundações é por sua vez dependente das condições geotécnicas do terreno onde são implantadas. Assim, à priori, as

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

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 Atrito Interno = 30 a 32 °
- Pressão Admissível = 200 a 300 kPa

Em condições normais o betão a empregar deverá ser caracterizado pela sua resistência mecânica à compressão, cujo valor característico é de 20 Mpa.

No quadro seguinte apresentam-se as fundações utilizadas nos novos apoios, cujas características principais se apresentam no Anexo A.3 (Mapa de Medições):

Apoio (n.º)	Tipo de Apoio (ANTIGO)	Tipo de Apoio (NOVO)	Tipo de Fundação
1	ZA2	MTA - 31	DRN 081 R
17	Z3	MT1 - 43	DRN 027
28	Z2	MT1 - 37	DRN 027
67	Z3	MT1 - 43	DRN 027
81	ZA2	MTA - 31	DRN 081R
94	ZA1	MTA - 25	DRN 081R
95	US3	MT1 - 37	DRN 027
108	ZR1(+1)	MTR1 - 25	DRN 040R
121	Z3	MT1 - 37	DRN 027
132	Z3/SD16	MT1 - 43	DRN 027
146	Z2	MT1 - 37	DRN 027
153	Z3	MT1 - 43	DRN 027

Relativamente aos apoios em que irão ser instalados módulos prismáticos deverá, em tempo de obra, ser verificado o estado das fundações e proceder, se necessário, ao respectivo reforço/reparação.

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

2.3. Cabos

2.3.1. Aspectos Gerais do Dimensionamento

2.3.1.1. Aspectos Mecânicos

Os cabos considerados mais adequados, tanto do ponto de vista mecânico como eléctrico, foram os seguintes:

- **Cabos Condutores:**
ACSR 485 ⁽¹⁾ (ZEBRA)
- **Cabos de Guarda:**
ACSR 130 (GUINEA) + OPGW

No perfil e planta parcelar da LPRBL2, desenho LD 31262 (folhas 1 a 13), encontram-se representados os parâmetros do cabo condutor na condição de flecha máxima (85°C s/vento).

No quadro seguinte indicam-se as tracções máximas a utilizar na linha.

Vãos	Tracções Máximas [daN]	
	ACSR 485 (ZEBRA)	ACSR 130 (GUINEA)
SPR - 1 e 190 - SBL	1500	600
Restantes	3846	2054

Em resultado das condições mecânicas escolhidas o EDS (Every Day Stress) ⁽²⁾ dos cabos condutores e de guarda será sempre inferior a 24%. Estes valores procuraram, com segurança e economia ⁽³⁾, aproveitar bem a capacidade mecânica dos cabos nas condições atmosféricas.

Cantão	Vão Eq. [m]	EDS [%]	T. Máx. [daN]
0/1	168	4,9	794
1/4	350	22,2	3575
4/5	661	22,2	3643
5/10	608	22,1	3750
10/16	511	22,2	3670
16/30	454	22,3	3744
30/38	439	23,5	3844

¹ Aluminium Conductors Steel Reinforced

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 uma maior probabilidade de ocorrência. O valor percentual indicado representa a percentagem da tracção nestas condições em função da tracção última (ie, de rotura) do cabo.

³ Verificadas as condições regulamentares de segurança no referente às tracções máximas e ainda prevenidos os problemas de fadiga em resultado de vibrações eólicas.

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

38/58	448	23,5	3846
58/70	459	22,4	3719
70/81	411	22,4	3663
81/88	441	22,1	3681
88/94	399	22,1	3598
94/105	448	22,3	3691
105/108	425	22,2	3657
108/122	427	22,4	3678
122/131	535	21,2	3613
131/152	416	22,3	3685
152/164	436	22,3	3668
165/166	138	12,1	1912
166/167	457	22,1	3668
167/171	397	22,0	3645
171/182	402	22,5	3588
182/186	414	22,2	3555
186/187	254	22,1	3428
187/188	101	22,1	3093
188/190	262	22,6	3408
190/191	67	3,6	587

Em relação ao EDS e à tracção máxima, os valores máximos serão 23,5% e 3846 daN, no cantão 38/58.

2.3.1.2. Aspectos Eléctricos

Do ponto de vista eléctrico, considerando a actual disposição de fases (4.8.0), calculou-se o valor do campo eléctrico à superfície dos condutores, que é de 14,05 kV/cm, correspondente à tensão nominal da linha (15,65 kV/cm para a tensão máxima), o qual é bom, quer do ponto de vista das perdas por efeito coroa, como do ruído acústico e radioeléctrico. No Anexo A.6.1 apresentam-se os valores calculados do campo eléctrico e nos Anexos A.4 e A.5 os calculados para o ruído acústico, interferências radioeléctricas e efeito de coroa.

No que diz respeito ao comportamento dos cabos em situação de defeito, considerou-se o nível máximo de corrente de defeito para os 220 kV nas duas subestações terminais de 40 kA, como referido em 3.1.2.2. Para um tempo médio de actuação das protecções de 310 ms, obtido para 85% de frequência de ocorrência, o cabo condutor ACSR 485 (ZEBRA) está bem adaptado para o escalão de corrente de curto-circuito trifásico de 40 kA. O mesmo se passa com os cabos de guarda ACSR 130 (GUINEA), os quais são elementos importantes na segurança das pessoas, transportando a maior parte da corrente de defeito e reduzindo a que é escoada para o solo via poste. Em relação à acção protectora ou de blindagem dos condutores, que tem reflexos na qualidade de serviço da Rede de Transporte, aqueles cabos de guarda encontram-se bem dimensionados para as correntes de descarga atmosféricas. O cabo OPGW apresentará características similares, mantendo-se uma solução equilibrada.

2.3.2. Distâncias de Segurança Associadas aos Cabos

Sobre este tema será observado o disposto no RSLEAT (dec. regulamentar 1/92), onde se definem distâncias mínimas várias nomeadamente em relação:

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

- Ao solo;
- Às árvores;
- Aos edifícios;
- Às auto-estradas e Estradas Nacionais;
- Entre cabos de guarda e condutores;
- Entre condutores.

Em relação às distâncias de segurança, particularmente aos obstáculos situados por baixo dos cabos (solo, árvores, edifícios, estradas, etc.) deve dizer-se que estas são avaliadas para a situação de flecha máxima, ou seja, temperatura dos condutores de 85°C na ausência de vento. Assim adoptaram-se sistematicamente as seguintes distâncias mínimas, iguais ou acima dos mínimos regulamentares:

Tensão Nom. = 220 kV	CRITÉRIO REN [m]	MÍNIMO RSLEAT [m]
Solo	12,0	7,1
Árvores	5,0	3,7
Edifícios	6,0	4,7
Estradas	12,0	8,5
Vias férreas electrificadas	14,0	14,0
Vias férreas não electrificadas	12,0	8,5
Outras linhas aéreas	5,0	5,0

2.4. Acessórios dos Cabos

2.4.1. Cabos Condutores

Os acessórios de fixação (pinças de amarração) e os de reparação (uniões e mangas de reparação) estão dimensionados para os efeitos térmicos resultantes do escalão de corrente de defeito máxima de 40 kA.

2.4.2. Cabos de Guarda

Os acessórios de fixação (pinças de amarração) e os de reparação (uniões e mangas de reparação) estão dimensionados para os efeitos térmicos resultantes do escalão de corrente de defeito máxima de 40 kA.

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).

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

O critério a seguir na colocação de amortecedores segue a sugestão da Divisão Exploração, tendo em conta a sua experiência na manutenção das linhas da RNT. Assim devem ser colocados amortecedores de acordo com o estabelecido no quadro seguinte:

Tipo de fixação	Comprimento do vão [m]	N.º de amortecedores
Amarração	$L \leq 800$	1 amortecedor junto a cada pinça de amarração
Amarração	$L > 800$	2 amortecedores junto a cada pinça de amarração
Suspensão	$L \leq 300$	1 amortecedor por vão (em vãos consecutivos deverá existir 1 junto de cada apoio)
Suspensão	$300 < L \leq 800$	2 amortecedores por vão (um em cada extremo)
Suspensão	$L > 800$	4 amortecedores por vão (2 em cada extremo)

2.6. Cadeias de Isoladores

2.6.1. Aspectos de Dimensionamento Eléctrico

Ao longo da linha serão usados isoladores de calote e haste, em vidro, poluição normal, de 160kN. Nas amarrações aos pórticos das subestações serão utilizados isoladores de poluição normal de 160kN. A escolha do nível de severidade de poluição que os isoladores podem suportar teve por base as recomendações da Divisão Exploração (EX).

Para as zonas de poluição ligeira/média a linha de fuga a considerar é de 20 mm/kV (tensão mais elevada)⁽⁴⁾, de acordo com o que se define a composição adequada para os diferentes tipos de cadeias em função da distância à subestação (entenda-se subestação da RNT), a saber:

1. Na totalidade da linha, cadeias com isoladores poluição ligeira/média do tipo U160BS, com a seguinte composição:

- Cadeias de amarração ao pórtico
ver PL 10 171 2 x 14, tipo U160BS
- Cadeias de amarração
ver PL 10 172 2 x 14, tipo U160BS
- Cadeias de suspensão simples

<i>condutor central</i>	ver PL 10 173	1 x 14, tipo U160BS
<i>condutor lateral</i>	ver PL 10 174	1 x 14, tipo U160BS

⁴ Vd. Norma CEI-60815.

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

- Cadeias de suspensão dupla

<i>condutor central</i>	ver PL 10 176	2 x 14, tipo U160BS
<i>condutor lateral</i>	ver PL 10 175	2 x 14, tipo U160BS

O comprimento de linha de fuga das cadeias é de 5320 mm (21,71 mm/kV, para uma linha de fuga, por isolador, de 380 mm).

A distância entre hastes de guarda (no pórtico) ou entre hastes e anéis de guarda (nos apoios) a respeitar na linha, de modo a permitir a garantia de uma adequada coordenação de isolamento na mesma é, no primeiro caso de 1070 mm e no segundo de 1849 mm (isoladores U160BS) .

Estas distâncias estão devidamente coordenadas com as distâncias mínimas entre peças em tensão e as partes metálicas das estruturas (massa) - que o RSLEAT preconiza para situação em repouso e desviada pelo vento, respectivamente, 1,53 m e 1,43 m - valores respectivamente inferiores aos mínimos preconizados pela REN,SA nos intervalos correspondentes e que são, em metros, [1,98 2,05] e [1,57 1,65] para uma variação da distância entre hastes de guarda respectivamente correspondente de, em mm, [1800 1865]⁽⁵⁾.

2.6.2. Acessórios de Cadeia

Os acessórios estão bem adaptados ao escalão de corrente de defeito de 40 kA.

As hastes de guarda nas cadeias de amarração e suspensão com isoladores para $I_{cc} > 20\text{kA}$ são em varão de aço de $\varnothing 25\text{ mm}$, e os anéis de descarga são em tubo de aço de $\varnothing 60\text{ mm}$, com uma secção mínima de 500 mm² e uma abertura de 50 mm.

2.6.3. Fixação à Estrutura dos Cabos de Guarda

O sistema de fixação das cadeias dos condutores e dos cabos de guarda às estruturas é através de charneira, o qual oferece uma resistência eléctrica de contacto favorável em comparação com os sistemas de fixação com acessórios de perfil redondo. A adopção deste sistema resultou da experiência de exploração e de ensaios específicos para o efeito.

No plano de especificação técnica abaixo mostra-se o conjunto de amarração do cabo de guarda:

CABO DE GUARDA

- PL10 181 - Conjunto de amarração de cabo de guarda com ou sem fibra óptica.
- PL10 180 - Conjunto de suspensão de cabo de guarda com ou sem fibra óptica.

2.7. Coordenação de Isolamento

No sentido de estabelecer a coordenação de isolamento, as várias distâncias mínimas a considerar serão organizadas de acordo com uma hierarquia. Por ordem crescente teremos:

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 que 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.

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

1. Distância entre hastes de guarda (explosores) de cadeias de amarração da linha aos pórticos das subestações ($d = 1,07$ m). Protecção prioritária do equipamento das subestações (disjuntores em fase de abertura ou abertos em definitivo) contra sobretensões de tipo atmosférico.
2. Distância entre hastes de guarda nas cadeias de isoladores. Aqui a linha terá um nível de isolamento semelhante ao do equipamento que constitui os painéis de linha, ou seja:
 - Tensão suportável ao choque atmosférico 950 kV
 - Tensão suportável à frequência industrial de 50 Hz 395 kVef
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 objectivo de evitar contornos para as estruturas. Os valores calculados para a distância mínima entre peças em tensão e a massa na situação de repouso são de [1,98 a 2,05] m e na de desviado pelo vento [1,57 a 1,65] m, respectivamente para as distâncias entre hastes de [1800 a 1865] mm.

2.8. Circuito de Terra dos Apoios

2.8.1. Normalização Adoptada

Neste âmbito tomou-se em consideração:

- * - **Zonas públicas e frequentadas** ⁽⁶⁾, as recomendações estipuladas na publicação ANSI/IEEE standard 80 - 1986.

Os limites especificados para a tensão de contacto e de passo, admitindo uma resistividade do solo de $100 \Omega \cdot m$ e um tempo de eliminação de defeito 0,5 s, são respectivamente ⁽⁷⁾:

<u>Zona Pública</u>	<u>Zona frequentada</u>
$U_c = 189$ V	$U_c = 255$ V
$U_p = 262$ V	$U_p = 355$ V

- * - **Zonas pouco frequentadas** ⁽⁸⁾, o prescrito nas especificações VDE 141/7.76;
- * - **Zonas não frequentadas** ⁽⁹⁾, as recomendações estipuladas na norma Suiça ASE 3569 - 1.1985.

⁶ A fim de 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, actos públicos e religiosos, lugares de romaria, zonas de equipamento social colectivo 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 amígdica, como caminhos de serviço, áreas junto a fontes ou poços de utilização habitual, zonas agrícolas de actividade frequente do tipo hortas, instalações agro-pecuárias e de apoio agrícola, etc.

⁷ Recorre-se aqui às equações de Dalziel para a corrente tolerável pelo corpo humano, e faz-se intervir a resistência eléctrica média de um indivíduo (1000Ω) e a resistência média pé-solo, proporcional à resistividade do solo.

⁸ Uma zona será entendida como **pouco frequentada** se corresponder a uma zona onde a presença humana seja pouco frequente por exemplo uma zona submetida a exploração agrícola em que a intervenção humana é reduzida, a uma exploração ganadeira, etc.

⁹ Uma zona é entendida como **não frequentada** se a presença humana é esporádica, sendo normalmente associada à inaptidão agrícola como por exemplo zona de floresta, zona de acentuado declive, zona escavada, etc.

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

Nestas duas últimas zonas, e considerando tempos de eliminação de defeito $\leq 0,5s$, as recomendações enunciadas não especificam qualquer valor limite para a tensão de contacto e de passo.

2.8.2. Constituição e Características dos Circuitos de Terra

A) Zonas pouco frequentadas e/ou não frequentadas

O troço da linha a modificar atravessa zonas que se podem classificar de pouco frequentadas.

A configuração tipo de eléctrodos de terra que se preconiza utilizar nestas zonas, é em todos os apoios de quatro (4) estacas e respectivos cabos (cobre) de ligação à estrutura.

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 (4), devendo os seus topos estar a uma profundidade mínima de 0,8 metros.

Os cabos de cobre que interligam os eléctrodos de terra às cantoneiras de cada uma das quatro bases, são de 50 mm².

O cabo de cobre é ligado à cantoneira e às estacas por intermédio de ligadores apropriados, procurando-se sempre um permanente bom contacto e de baixa resistência.

No quadro seguinte apresentam-se as características deste tipo de configuração, na direcção da diagonal do apoio e para o valor mínimo de resistividade ($\rho = 100 \Omega.m$):

Tipo de Circuito de Terra	Resistência de Terra [Ω] ($\rho=100\Omega.m$)	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 = 2,1m)	10,87	40,45	64,95	8,24

Nos apoios que se encontram muito próximos da subestação (menos de 1km) optou-se por instalar um anel a unir as 4 estacas, conseguindo-se desta forma obter uma resistência de terra menor que 15 Ω , (para $\rho \leq 100 \Omega.m$).

Esta opção será válida para uma resistividade do solo

$$100 \Omega.m \leq \rho < 300 \Omega.m$$

indicando-se no quadro abaixo os valores obtidos para o tipo de configuração do circuito de terra em análise, na direcção da diagonal do apoio e para o valor máximo de resistividade ($\rho = 300 \Omega.m$):

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

Tipo de Circuito de Terra	Resistência de Terra [Ω] ($\rho=300\Omega.m$)	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 = 2,1m e anel)	18,47	72,46	41,72	14,48

B) Zonas públicas e frequentadas

O troço da linha em projecto não atravessa zonas públicas.

2.9. Conjuntos Sinaléticos

Em cada apoio existe sinalização claramente visível do solo constante de:

- Chapa de sinalização ou de advertência com o texto “**PERIGO DE MORTE**” e o n.º de ordem do apoio na linha
- Chapa de identificação com o nome (sigla) da linha e o n.º de telefone do departamento responsável;

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

- Chapa de aço de 3mm de espessura com as dimensões de 2000x1000 mm
- Autocolante em vinil reflector branco aplicado numa das faces do painel
- Logotipo REN em autocolante vinil brilhante, aplicado sobre o autocolante de fundo branco, e com as cores (código PANTONE):

Azul em MACAL (8900S), 8939-02

Vermelho em MACAL (8900S), 8959-0

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 Eléctricos****3.1.1. Resistência Eléctrica Linear dos Condutores**

Os condutores são do tipo alumínio - aço, são constituídos por um núcleo central em fios de aço e por duas camadas de fios em alumínio. A ficha deste cabo está incluída no Anexo A.1.

A resistência eléctrica quilométrica do cabo ZEBRA em corrente contínua à temperatura de 20°C é de 0,0674 Ω/km . A resistência eléctrica em corrente alternada (f= 50 Hz) tendo em conta o efeito pelicular é de 0,0681 Ω/km . A variação da resistência eléctrica com a temperatura é dada por

JG/EQPJ-LN/06

14 / 22

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

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

onde o coeficiente de temperatura α tem o valor 0.00403 °K-1

3.1.2. Capacidade Térmica

3.1.2.1. Capacidade Máxima de Transporte

Os valores adoptados 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 30°C (“Verão”) a corrente máxima admissível é de 1007 A. Por sua vez, para uma temperatura ambiente de 15°C (“Inverno”) a corrente máxima admissível é de 1140 A.

3.1.2.2. Regime de Curto-Circuito

De acordo com o estudo efectuado pela Divisão de Planeamento de Rede, o nível de corrente de defeito para linhas de tensão de 220 kV deverá ser de 40 kA.

Como referido atrás, considerando um tempo médio de 310 ms de actuação dos sistemas de protecção, obtido para 85% de frequência de ocorrência, os condutores ACSR 405 (ZEBRA) atingem temperaturas da ordem dos 119° C, considerando que se parte de temperatura máxima de regime permanente de 85°C. Esta situação não introduz limitações em termos de segurança, uma vez que a linha está projectada para distâncias de segurança que compensam, nessa eventualidade, os aumentos de flecha. Por outro lado, os valores efectivos de corrente de defeito máximos apresentados no PIR 2006-2011 serão, no ano de 2016, de 23,3 kA e 16,6 kA, respectivamente para as subestações de Pereiros e Batalha.

Ainda de acordo com os mesmos critérios de actuação dos sistemas de protecção, um só cabo de guarda pode suportar correntes de defeito até 16,3 kA (temperatura máxima do alumínio de 200° C). A linha possui em toda a sua extensão 2 cabos de guarda, e admitindo um defeito de 40 kA, ter-se-ia em cada cabo, considerando o defeito num dos extremos da linha, uma corrente de $40 \times 0,75 \times 0,95 / 2 = 14,25$ kA (supondo o escoamento de 75% da corrente de defeito pelos cabos de guarda, distribuindo-se 95% para a subestação mais próxima e 5 % para a mais afastada), o que não introduz limitações em termos de segurança.

3.1.3. Efeito Coroa. Campo Eléctrico Crítico. Perdas por Efeito Coroa.

O cálculo do campo eléctrico crítico e perdas por efeito coroa foi feito com base nas características geométricas dos apoios Z e considerada a distância média dos cabos ao solo.

O campo eléctrico máximo à superfície dos condutores variará entre 14,05 kV/cm e 15,65 kV/cm correspondentes à tensão nominal e à tensão máxima de serviço.

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

O valor de altitude média foi estimado a partir das cotas no terreno, obtendo-se o valor de 103 m. A altitude influencia com algum significado o valor do campo eléctrico crítico, baixando-o. Na prática isto significa um aumento de perdas por efeito coroa.

As perdas por efeito coroa dependem particularmente das condições climáticas. Sob chuva elas podem crescer várias dezenas de vezes acima do valor calculado para bom tempo. No Anexo A.5 apresenta-se uma estimativa das perdas por efeito coroa, para a tensão nominal e máxima de

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

serviço, e que são, respectivamente, de **0,1154 kW/km** e de **0,2377 kW/km** por condutor em condições de bom tempo, correspondendo a perdas médias anuais na linha de cerca de **0,5771 kW/km** e **1,1886 kW/km**.

3.1.4. Ruído Acústico

No Anexo A.4 apresentam-se os valores do nível do ruído acústico de pico e de longa duração a partir do eixo da linha, para uma distância média ao solo de 20,11 m ⁽¹⁰⁾ e para a tensão nominal.

Em relação aos valores apresentados no referido Anexo, **34,29 dB(A)** a 30 m do eixo da linha para o ruído de pico e **24,66 dB(A)** para o ruído de longa duração (p=0,10).

3.1.5. Interferências Radioelétricas

No Anexo A.4 apresentam-se também os valores do nível de ruído de radiointerferência.

De acordo com o CISPR o nível de ruído interferente, a 15 m do condutor exterior, para as linhas de tensão 220 kV deve ser inferior a 50 dB com bom tempo. O valor calculado de **16,81 dB** é bastante inferior.

3.1.6. Constantes Eléctricas da ligação da linha Pereiros – Batalha 2

3.1.6.1. Grandezas directas e Inversas

Resistência linear: 0,0767 Ω /km

Reactância longitudinal: 0,4227 Ω /km

Susceptância transversal: $2,698 \cdot 10^{-6}$ S/km

Capacitância: 8,59 nF/km

4. Directriz da Linha

A linha Pereiros - Batalha 2 desenvolve-se a partir da Subestação de Pereiros, seguindo para Sul, e depois para Este, num troço final em linha dupla até à Subestação da Batalha.

Atravessa os concelhos de Coimbra, Condeixa-a-Nova, Soure, Pombal, Leiria e Batalha.

A directriz da linha, num total de 190 apoios e 76,082 km, apresenta-se na carta 1/25000, desenho LD 10606 (cartas 240, 241, 250, 262, 273, 274, 285, 297, 308).

5. Travessias de Vias de Comunicação

A LPRBL2 atravessa as seguintes vias de comunicação, conforme se pode ver no desenho LD31262 do Perfil e Planta Parcelar (folhas 1 a 13):

Vão 5-6 $\Rightarrow$ Estrada Nacional 110

Vão 8-9 $\Rightarrow$ Estrada Nacional 1

Vão 15-16 $\Rightarrow$ Auto-Estrada 1

¹⁰ $h_{med} = 12 + \frac{2}{3} \cdot f$ em que f é a flecha média.

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

Vão 16-17	⇒	Estrada Municipal 606
Vão 17-18	⇒	Estrada Nacional 1
Vão 20-21	⇒	Auto-Estrada 1
	⇒	Estrada Municipal 607
Vão 24-25	⇒	Estrada Nacional 347
Vão 28-29	⇒	Estrada Nacional 342
Vão 29-30	⇒	Auto-Estrada 1
Vão 32-33	⇒	Estrada Municipal 607
Vão 47-48	⇒	Estrada Nacional 348
Vão 51-52	⇒	Estrada Municipal 589
Vão 67-68	⇒	Caminho de Ferro; Linha Lisboa – Coimbra
	⇒	Estrada Nacional 529
Vão 69-70	⇒	Auto-Estrada 1
Vão 80-81	⇒	Estrada Nacional 237
Vão 81-82	⇒	Itinerário Complementar 8
	⇒	Estrada Nacional 237
Vão 89-90	⇒	Estrada Municipal 531
Vão 95-96	⇒	Auto-Estrada 1
Vão 112-113	⇒	Estrada Municipal 533
Vão 135-136	⇒	Itinerário Complementar 1
Vão 136-137	⇒	Estrada Nacional 349
Vão 138-139	⇒	Estrada Nacional 109
Vão 140-141	⇒	Caminho de Ferro; Linha do Oeste
Vão 144-145	⇒	Estrada Nacional 242
	⇒	Caminho de Ferro; Linha do Oeste
Vão 146-147	⇒	Estrada Nacional 242
Vão 150-151	⇒	Auto-Estrada 8
Vão 155-156	⇒	Estrada Municipal 541
Vão 158-159	⇒	Estrada Nacional 356
Vão 175-176	⇒	Estrada Nacional 1
Vão 178-179	⇒	Estrada Municipal 545

JG/EQPJ-LN/06

17 / 22

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

Vão 189-190 ⇒ Estrada Nacional 356

6. Cruzamentos e Paralelismos com Linhas de Telecomunicação

Em nenhum ponto de cada um dos troços de linha em projecto ocorrem situações de *paralelismo* com linhas de telecomunicação.

Nos casos de cruzamentos, as interferências produzidas devido a fenómenos de indução electromagnética são praticamente desprezáveis.

7. Balizagem Aérea

7.1. Sinalização para Aeronaves

A balizagem será feita nos cabos de guarda através de bolas alternadamente de cor branca e laranja internacional, com um diâmetro mínimo de 600mm espaçadas de 60m e dispostas em ziguezague, sensivelmente segundo o plano horizontal. Deste modo, as projecções ortogonais das bolas nos 2 cabos, sobre um plano vertical paralelo à linha, ficarão a 30m umas das outras. Assim de acordo com a Circular Aeronáutica nº 10/03 de 6 de Maio 2003, devem ser balizados os seguintes vãos, sem afectação da balizagem existente:

4-5; 5-6; 7-8; 9-10; 11-12; 15-16; 16-17; 20-21; 22-23; 29-30; 32-33; 41-42; 43-44; 47-48; 49-50; 59-60; 60-61; 62-63; 69-70; 74-75; 81-82; 82-83; 83-84; 95-96; 99-100; 104-105; 110-111; 117-118; 122-123; 124-125; 126-127; 130-131; 132-133; 135-136; 150-151; 152-153; 155-156; 160-161; 163-164; 177-178.

Os seguintes apoios são sujeitos a balizagem diurna, devendo ser avaliada individualmente a necessidade de se proceder a nova pintura das faixas:

114 ao 122 e 133 ao 140.

Os seguintes apoios deverão ter balizagem nocturna (balizores):

8, 9, 15, 16, 20, 21, 29, 30, 69, 70, 81, 82, 95, 96, 135, 136, 150 e 151.

7.2. Sinalização para Aves

Será mantida a sinalização existente.

8. Análise de Riscos Originados pela Presença e Funcionamento da Linha

8.1. Efeitos dos Campos Electromagnéticos

8.1.1. Valores Limites

A REN, S.A, nos seus projectos, cumpre os valores limite explicitados na Portaria 1421/2004 de 23 de Novembro, que transcreve os valores de referência da recomendação do Conselho da União Europeia (“Council Recommendation on the Limitation of Exposure of the General Public to

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

Electromagnetic Fields 0 Hz – 300 GHz”) de 99/07/05, previamente homologada na 2 188ª Reunião do Conselho em 99/06/08 pelos Estados Membros¹¹.

A referida recomendação endossa as recomendações do ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) no que se refere aos limites de exposição do público em geral.

O Quadro 8.6.1 sistematiza estes limites.

QUADRO 8.6.1
Limites de exposição a campos eléctricos e magnéticos a 50 Hz

CARACTERÍSTICAS DE EXPOSIÇÃO	CAMPO ELÉCTRICO [kV/m] (RMS)	DENSIDADE DE FLUXO MAGNÉTICO [μT] (RMS)
Público em geral (em permanência)	5	100

Nas linhas da Rede Eléctrica Nacional, em qualquer escalão de tensão, não ocorrem valores superiores aos referidos atrás. Esta conclusão está bem fundamentada por análise comparativa com cálculos teóricos e medições efectuadas em linhas similares em todo o mundo. O cálculo concreto dos valores do campo eléctrico e magnético para os troços de linha em projecto apresenta-se nos anexos A.6 e A.7.

8.1.2. Cálculo do Campo Eléctrico

No anexo A.6 “Campos Eléctricos” apresentam-se de uma forma sistemática os cálculos dos perfis transversais do campo eléctrico 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. Em A.6.2 apresenta-se este perfil para a configuração de circuito trifásico simples, fases dispostas em configuração de impedância mínima, cabos de guarda ao potencial do solo e valor eficaz do módulo da tensão na linha no seu valor máximo. O valor máximo do campo ocorre a cerca de 10 m do eixo da linha (ou seja, por debaixo dos condutores) e varia entre 1,99 kV/m ao nível do solo e 2,08 kV/m a 1,8 m do solo. Também se observa que a 20 m do eixo da linha aquele campo já decaiu rapidamente para cerca de 1,08 kV/m. Todos os valores calculados são muito inferiores aos valores limites apresentados no quadro 8.6.1 mesmo numa perspectiva de exposição pública permanente.

8.1.3. Cálculo do Campo Magnético

No anexo A.7 “Campos Magnéticos” apresentam-se de uma forma sistemática os valores do módulo do vector densidade de fluxo magnético em perfis transversais numa faixa de -40 a +40 m em torno do eixo da linha e altura mínima ao solo de 10 m. Nestes cálculos 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.7.1 apresenta-se o perfil transversal da densidade de fluxo magnético a 1,8 m do solo para um módulo de corrente “nominal” de 1140 A (i. e., correspondente à corrente máxima para a temperatura de 85°C). O regime de correntes é suposto trifásico e equilibrado. O valor máximo da densidade de fluxo magnético a 1,8 m do solo, o qual ocorre debaixo do eixo da linha, é de 7,64 μT. Este valor decai e a 20 m do eixo da linha já é apenas de 4,56 μT. Todos os valores calculados são muito inferiores aos valores limites apresentados no quadro 8.6.1 mesmo numa perspectiva de exposição pública permanente.

¹¹ O Estado Português esteve representado pela Sr.ª Ministra da Saúde.

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

9. Plano de Segurança e Saúde

Foi elaborado um Plano de Segurança e Saúde (PSS) na fase de projecto, contemplando a análise de riscos e respectivos planos de prevenção referente à obra de uprating da LINHA PEREIROs – BATALHA 2. O referido Plano contém a identificação da obra, dos interlocutores e dos intervenientes, a caracterização da obra, a organização do estaleiro, a caracterização do local de implantação do projecto, a avaliação e prevenção de riscos e a relação das entidades a contactar em caso de emergência.

10. Elementos do Projecto

Para o presente projecto produziram-se e juntam-se as seguintes peças:

a) - Peças Escritas:

- Linha Pereiros –Batalha 2 a 220 kV – Uprating. Memória Descritiva. Anexos.
- Linha Pereiros –Batalha 2 a 220 kV – Uprating. Plano de Segurança e Saúde.

b) - Peças Desenhadas:

- LD 10606 - Plantas com a implantação dos apoios (cartografia 1:25000)
(cartas 240, 241, 250, 262, 273, 274, 285, 297 e 308)
- LD 31262 - LPRBL2 a 220 kV, Uprating. Perfil e Planta Parcelar.
(folhas 1 a 13) Travessias de Vias de Comunicação.
- LD 30091 - Desenho axial dos apoios AWA.
- LD 30093 - Desenho axial dos apoios AWS.
- LD 30094 - Desenho axial dos apoios AWT.
- LD 30512 - Desenho axial dos apoios MT1.
- LD 30513 - Desenho axial dos apoios MTA.
- LD 30514 - Desenho axial dos apoios MTR1.
- LD 7126 - Desenho axial dos apoios YDT.
- LD 7125 - Desenho axial dos apoios Z.
- LD 7125 - Desenho axial dos apoios ZA.
- LD 7125 - Desenho axial dos apoios ZR.
- LD 7125 - Desenho axial dos apoios UR 1-2-3.
- LD 7125 - Desenho axial dos apoios UR 4-5-6.
- LD 7125 - Desenho axial dos apoios US.

LPRBL2 a 220 kV – “Uprating” - Memória Descritiva

Planos de Especificação Técnica:

- PL 10171 - Cadeia de amarração ao pórtico ($I_{cc} \leq 40$ kA)
- PL 10172 - Cadeia de amarração dupla ($I_{cc} \leq 40$ kA)
- PL 10173 - Cadeia de suspensão simples central ($I_{cc} \leq 40$ kA)
- PL 10174 - Cadeia de suspensão simples lateral ($I_{cc} \leq 40$ kA)
- PL 10176 - Cadeia de suspensão dupla central ($I_{cc} \leq 40$ kA)
- PL 10175 - Cadeia de suspensão dupla lateral ($I_{cc} \leq 40$ kA)
- PL 10180 - Conjunto de suspensão do cabo de guarda com ou sem fibra óptica
- PL 10181 - Conjunto de amarração do cabo de guarda com ou sem fibra óptica
- PL LTE 001 - Material de ligação à terra

Maciços de fundação:

- LD30336 - (DRN035R a DRN073R)
- LD30374 - (DRN021 a DRN031)
- LD30337 - (DRN081R a DRN171R)

Conjuntos sinaléticos:

- LD 19671 - Sinal perigo de morte (autocolante)
- LD 19673 - Sinal identificador da linha (autocolante)
- LD 19674 - Sinal identificador da linha (autocolante)
- LD 19675 - Sinal identificador do apoio (autocolante)
- LD 19676 - Sinal identificador de contacto telefónico (autocolante)
- LD 30290 - Autocolantes (Chapa de suporte “A”)
- LD 30291 - Autocolantes (Chapa de suporte “B”)
- LD 30380 - Sinal identificador do apoio para visualização aérea (autocolante)
- LD 30390 - Autocolantes (Chapa de suporte “C”)
- LD 30638 - Sinal identificador do concessionário (autocolante)
- LD 30639 - Autocolantes (Chapa de suporte “D”)

ANEXO D – Orçamentação das soluções comparadas

Solução em Estudo					
Designação	Código	Unidade	Preço Unitário	Quantidades	Preço Total
Substituição de cabos condutores e de guarda (Inclui todas as operações)					
1 x ACSR por 1xOPGW	1385	km	5.160,95		
2 x SWG por 2 x ACSR	1386	km	6.678,82		
2 x SWG por (1 x ACSR + 1xOPGW)	1387	km	7.589,55		
1xACSR por (1xACSR+1xOPGW)	1388	km	6.259,45		
1xSWG por (1xACSR+1xOPGW)	1389	km	9.240,14		
1xSWG por (1xACSR+1xACSR)	1390	km	8.345,93		
1xOPGW por 1xOPGW	1391	km	5.514,26		
1xCG(ACSR) por 1xCG(ACSR)	1392	km	4.471,04		
2xCG(ACSR) por 2xCG(ACSR)	1393	km	5.961,37		
1xCC por 1xCC	1394	km	5.961,37		
2xCC por 2xCC	1395	km	8.047,85		
3xCC por 3xCC	1396	km	10.134,33	6	60.805,98
32 - CABOS CONDUTORES E DE GUARDA					
ACSR 130mm ²	3201	km	1.617,37		
ACSR 157mm ²	3202	km	1.893,78		
AACSR 147 mm ²	3203	km	1.937,16		
ACSR 325mm ²	3204	km	3.987,06		
ACSR 485mm ²	3205	km	5.807,97	18	104.543,46
ACSR 595mm ²	3206	km	7.169,17		
AAAC 570mm ²	3207	km	6.129,48		
OPGW 16 FO	3208	km	6.601,13		
OPGW 40 FO	3209	km	8.415,96		
Material Recuperado como Sucata					
Sucata de alumínio aço		Ton	800	29,16	23.328,00
Sucata de ferro		Ton	150		
Isoladores cerâmicos		Ton	-91,30		
Isoladores de vidro		Ton	-94,01		
Custo Total					142.021,44

Solução REN					
Designação	Código	Unidade	Preço Unitário	Quantidades	Preço Total
10 - TRABALHOS PRELIMINARES					
Instalação e Preparação (obras com montagem de estaleiro)	1001	un	3.227,94	1	3.227,94
T. Topográficos	1002	apoio	322,79	2	645,58
11 - FUNDAÇÕES					
Abertura de Caboucos	1101	m3	94,15	28,4	2.673,86
Montagem de Bases	1102	apoio	710,15	2	1.420,30
Betão com cimento normal -	1103	m3	441,15	9,044	3.989,76
Ligação à terra	1106	apoio	53,02	2	106,04
Anel de interligação	1107	apoio	509,45	2	1.018,90
Capeamentos	1108	apoio	269,00	2	538,00
Terraplanagem	1109	apoio	220,57	2	441,14
12 - POSTES					
Assemblagem	1201	ton	258,24	23,48	6.063,48
Levantamento	1202	ton	247,47	23,48	5.810,60
Reaperto	1203	ton	80,70	23,48	1.894,84
12 - Módulos - Z1					
Assemblagem	1201	ton	258,24	1,6	413,18
Levantamento	1202	ton	247,47	1,6	395,95
Reaperto	1203	ton	80,70	1,6	129,12
12 - Módulos - Z2					
Assemblagem	1201	ton	258,24	8,7	2.246,69
Levantamento	1202	ton	247,47	8,7	2.152,99
Reaperto	1203	ton	80,70	8,7	702,09
12 - Módulos - Z3					
Assemblagem	1201	ton	258,24	3,3	852,19
Levantamento	1202	ton	247,47	3,3	816,65
Reaperto	1203	ton	80,70	3,3	266,31
Montagem de conjuntos sinaléticos	1204	un	55,98	2	111,96
Montagem de módulos prismáticos em suspensão (inclui grua)	1208	apoio	5.204,28	5	26.021,40
Regulação de cabos condutores e de guarda					
3 x CC + 2 x CG	1325	km	397,55	6	2.385,30
Fixação de cabos condutores e de guarda					
3 x CC + 2 x CG	1346	apoio	374,02	12	4.488,24
Amarração de cabos condutores e de guarda					
3 x CC + 2 x CG	1367	apoio	2.064,37	2	4.128,74
Passagem de susp. simples a susp.dupla					
3 x CC	1419	apoio	412,24	1	412,24
Passagem de cabos a roldanas					
3 x CC + 2 x CG	1538	apoio	245,76	14	3.440,64
16 - DESMONTAGEM					
Demolição de Maciços					
Demolição e aterro	1601	apoio	591,79	2	1.183,58
Desmontagem de Postes					
Desmontagem e recolha em estaleiro	1602	ton	441,74	15,06	6.652,60
30 - MATERIAIS DE LIGAÇÃO À TERRA					
Cabo Cobre	3001	m	2,67	120	320,40
Electrodos	3002	un	8,84	8	70,72
Ligadores	3003	un	4,75	8	38,00
Conj. Ligação à terra sem anel	3004	apoio	132,53	0	0,00
Conj. Ligação à terra com anel	3005	apoio	382,86	2	765,72
31 - ESTRUTURAS METÁLICAS					
Postes - (MT1 37 e MT1 43)	3101	ton	1.670,82	23,48	39.230,85
Bases	3102	ton	1.670,82	0,48	801,99
31 - ESTRUTURAS METÁLICAS - Módulos Z1					
Postes -	3101	ton	1.670,82	1,6	2.673,31
31 - ESTRUTURAS METÁLICAS - Módulos Z2					
Postes	3101	ton	1.670,82	8,7	14.536,13
31 - ESTRUTURAS METÁLICAS - Módulos Z3					
Postes	3101	ton	1.670,82	3,3	5.513,71
Chapas suporte conjunto sinalético	3104	un	6,48	2	12,96
Conjuntos Sinaléticos para postes					
Sinal de "perigo de morte"	3707	un	7,99	2	15,98
Sinal de "numeração de apoio"	3708	un	7,99	2	15,98
Sinal de "identificação da linha"	3709	un	10,64	2	21,28
Sinal de "identificação e nº telefone"	3710	un	9,38	2	18,76
Encargos com indemnização		€	6.000,00	2	12.000,00
Material Recuperado como Sucata					
Sucata de ferro		Ton	150	15,06	2.259,00
Custo Total					158.407,00