



Estudo da Localização dos Troços das Linhas de Transporte em Risco de Falha por Descarga Atmosférica

INÊS MARIA DA ROCHA TEIXEIRA DE ALMEIDA

novembro de 2016

ESTUDO DA LOCALIZAÇÃO DOS TROÇOS DAS LINHAS DE TRANSPORTE EM RISCO DE FALHA POR DESCARGAS ATMOSFÉRICA

Inês Maria da Rocha Teixeira de Almeida



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2016

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Inês Maria da rocha Teixeira de Almeida, N° 1110182, 1110182@isep.ipp.pt

Orientação científica: Teresa Alexandra Nogueira, tan@isep.ipp.pt

Empresa: REN Supervisão: Eng.º José Moreira, jose.moreira@ren.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2016

À minha família...

Agradecimentos

Esta é mais uma fase que chega ao fim. Para a sua execução e sucesso foi essencial o apoio de algumas personalidades que marcaram este percurso, às quais deixo os maiores agradecimentos.

Ao Engenheiro José Moreira, orientador do estágio na REN, pela calorosa receção e integração na sua equipa. Tenho ainda a agradecer a sua disponibilidade, o seu constante acompanhamento ao longo do trabalho e a sua pertinente preocupação para uma aprendizagem tanto maior quanto possível. Pela atenção às visitas em obra e por todo o conhecimento transmitido.

À Engenheira Teresa Nogueira, orientadora académica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pela sua disponibilidade desde o início, pela essencial ajuda para a realização do presente relatório tornando-o mais claro e completo. O seu empenho, a preocupação e a dedicação merecem o maior dos reconhecimentos.

Ao Professor Tiago Andrade que estabelecendo um ponto de ligação entre a empresa e a instituição colaborou ativamente para o desenvolvimento e resolução do trabalho, acompanhando o seu progresso e sugerindo melhorias pertinentes. É de agradecer a motivação e coloração no foco do grande objetivo.

Aos meus colegas e amigos, André Ponte e Carlos Lopes, que me acompanharam ao longo destes quase seis meses, dia após dia, aconselhando, ajudando e criando um ambiente de cooperação e ajuda mútua. A tantos outros que foram fundamentais e que de uma forma ou outra tornaram esta experiência mais especial e única. A todos os meus amigos que me deram um pouco mais mesmo quando eu dava um pouco menos.

Um especial agradecimento à minha mãe, Maria Acilda Almeida, ao meu pai, Vitorino Almeida, ao meu irmão, Filipe Almeida e ainda aos meus avós, pelo apoio, porque sem eles não seria possível.

A todos o meu mais sincero muito obrigado.

Resumo

As linhas aéreas de transmissão e distribuição de energia elétrica encontram-se muitas vezes em zonas de elevada densidade de descargas atmosféricas, estando assim suscetíveis a desligamentos não programados causados por sobretensões. Os incidentes com origem em descargas atmosféricas representam atualmente, uma parte significativa do total de incidentes da rede. Existem ainda outras três grandes causas como os incêndios, a poluição dos isoladores e as cegonhas, sendo que têm sido tomadas medidas no sentido de atenuar as consequências dos mesmos. Por serem medidas consideravelmente mais complexas e mais dispendiosas do que as anteriormente referidas, as que melhoram a *performance* das linhas aquando das descargas atmosféricas não são tão comumente aplicadas.

Face à consciência da necessidade de uma intervenção, mas por se conhecer a sua inviabilidade quando aplicada em toda a rede, foi necessário identificar e priorizar as linhas ou troços que merecem maior atenção. Desta forma, foi através dos dados históricos, e após o seu tratamento, que se georreferenciaram os incidentes, ou seja, foi possível conhecer a localização dos mesmos.

Com a construção de diversos mapas, obtidos do cruzamento de informação identificaram-se os principais fatores responsáveis pela suscetibilidade de uma linha aérea relativamente a descargas atmosféricas. Ou seja, foi possível identificar quais as causas estruturais, ambientais e contextuais que podem tornar uma linha ou troço mais sensível a sofrer incidentes por descargas atmosféricas.

Tendo como base os dados históricos desenvolveu-se uma metodologia que relaciona o nível de tensão, a altitude, a resistência de terra e o conzelho do apoio ou linha em questão. Esta metodologia permite calcular a probabilidade de um dado apoio ou linha de sofrer um incidente devido a descargas atmosféricas. Esta probabilidade é designada índice de criticidade, sendo que através do *solver* do *Excel* foram atribuídos pesos distintos a cada parâmetro determinando a influência de cada um.

De forma a facilitar ao utilizador o cálculo do índice de criticidade, foram criadas duas interfaces distintas. Uma das interfaces, em *Visual Basic for Applications*, permite o cálculo

por apoio reticulado. A outra, em *Excel*, possibilita o cálculo por linha e mesmo para a toda a rede.

Quando se trata da implementação de medidas, a análise de resultados reais obtidos é fundamental para se conhecer a eficácia do projeto. Por existir uma linha na qual foram tomadas algumas medidas, a Linha Sines-Tunes, procedeu-se à sua análise. Analisou-se o comportamento da linha, anterior e posterior à instalação de alguns descarregadores de sobretensão e da adição de um segundo cabo de guarda. Esta análise possibilitou perceber a dimensão de uma intervenção parcial na linha, ou seja, que melhorias se podem obter com a adoção de medidas em alguns apoios ou troços das linhas.

É então neste ponto de vista que se mostra fundamental perceber quais as linhas que maiores implicações trazem á rede, de forma a combater esta problemática. Se de entre as linhas mais críticas se selecionarem os troços mais fustigados ou que apresentam características favoráveis a desencadear incidentes por descargas atmosféricas, e se forem estudadas medidas que maximizem resultados com menos recursos, então tal pode significar uma melhoria significativa da *performance* total da rede.

Palavras-Chave

Descargas atmosférica, Linhas aéreas, Linhas de Transmissão, Muito Alta Tensão, Incidentes

Abstract

Overhead power lines are usually placed in the same location where there are highly dense lightning being vulnerable to unscheduled interruptions caused by overvoltage. Incidents by lightning cause represents, these days, a significant number of all the incidents registered on the power network. There are still three big causes such as fires, isolators pollution and storks, even with effective measures to reduce its effects. Because these measures are more complex and more expensive than the previously referred, the ones that improve line's performance when lightning occurs are not usually applied.

Given the awareness for an intervention, but because we know it is impracticable when applied to all the network, it was necessary to identify and prioritize the lines or line segments that are needed more focus on. So it was through historic data bases and after its analysis, that they geotag incidents so we could know its locations.

With the new maps made by gathering, several information it was able to identify main factors responsible for the susceptiveness of a overhead power line associated to lightning discharges. In other words, it was possible to identify which structural, environmental and contextual causes that may influence the line or line segment to be more sensitive to suffer incidents by lightning.

Since we have an historic database it was developed a method that relates the voltage level, spot elevation, ground resistance and the province located. This method allows us to calculate the probability of a single line studied to suffer an incident due a lightning discharge. This probability is designated as critical ratio, and through solver Excel were assigned different matter values for each parameter, knowing the previous records.

So, it was made two in order to make it easy to calculate the critical ratio. One of the interfaces in Visual Basic for Applications allows the support calculation as the other allows the tower calculation. Lastly, in Excel, it was applied the method to lines or all the network to get the number of the critical and not critical lines.

When it is about measure implementation, the analysis of the actual results obtained is very important to know its project's efficiency. The Sines-Tunes line was reviewed because in

this line were already running some of the referred measures. The line course was analyzed before and after the installation of some surge arrester and the addition of one earth wire.

This review made it possible to understand the dimension of a partial intervention of the line or what improvements could obtain by adopting some measures on some supports or line segments.

This side point that tells us how important it is to understand which lines causes more number of issues to the network, so we can solve this main problem. If we select the line segments more attacked or vulnerable to cause incidents by lightning discharge among the critical lines, and if there are studied measures that maximize the results with less resources, so it may lead to a significant improvement of the overall network's *performance*.

Keywords

Lightning, Overhead Power Lines, Transmission Lines, Very High Voltage, Incident

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS	5
1.3. ESTRUTURA.....	5
2. ELEMENTOS E FENÓMENOS DA REDE NACIONAL DE TRANSPORTE	7
2.1. REDE ELÉTRICA NACIONAL (REN)	7
2.1.1. <i>Caracterização da RNT</i>	<i>9</i>
2.1.2. <i>Idade e Características das Linhas</i>	<i>10</i>
2.2. QUALIDADE DE SERVIÇO.....	11
2.3. ELEMENTOS DAS LINHAS AÉREAS	14
2.3.1. <i>Cabos condutores aéreos, cabos de guarda e acessórios</i>	<i>14</i>
2.3.2. <i>Apoios reticulados</i>	<i>16</i>
2.3.3. <i>Isoladores e cadeia de isoladores e acessórios</i>	<i>18</i>
2.3.4. <i>Circuito de terra dos apoios</i>	<i>19</i>
2.3.4.1. <i>Zonas pouco frequentadas e/ou não frequentadas</i>	<i>21</i>
2.3.4.2. <i>Zonas Públicas e Frequentadas</i>	<i>21</i>
2.3.5. <i>Distâncias mínimas aos condutores.....</i>	<i>22</i>
2.4. EVENTOS QUE AFETAM A REDE	24
2.4.1. <i>Incêndios.....</i>	<i>25</i>
2.4.2. <i>Poluição dos isoladores.....</i>	<i>26</i>
2.4.3. <i>Cegonhas</i>	<i>28</i>
2.4.4. <i>Descargas atmosféricas.....</i>	<i>30</i>
2.4.4.1. <i>Nuvens de descargas.....</i>	<i>30</i>
2.4.4.2. <i>Desenvolvimento de uma descarga atmosférica</i>	<i>32</i>
2.4.4.3. <i>Sentido e polaridade da descarga</i>	<i>32</i>
2.4.4.4. <i>Tipos de descargas atmosféricas.....</i>	<i>33</i>
2.4.5. <i>Tipos de Falhas de Isolamento.....</i>	<i>34</i>
2.4.5.1. <i>Contornamento Inverso</i>	<i>35</i>
2.4.5.2. <i>Contornamento Direto.....</i>	<i>36</i>
2.4.6. <i>Seleção de Corredores</i>	<i>36</i>
2.5. PERFORMANCE DAS LINHAS	37
2.5.1. <i>Espias e Contrapesos</i>	<i>37</i>
2.5.2. <i>Cabos de Guarda e Cadeias em “V”.....</i>	<i>38</i>
2.5.3. <i>Aumento do Nível de isolamento.....</i>	<i>38</i>

2.5.4.	<i>Melhoria da Resistências de Terra</i>	39
2.5.5.	<i>Descarregadores de Sobretensão</i>	40
2.6.	SÍNTESE	43
3.1.	MEDIDAS IMPLEMENTADAS	45
3.2.	ANÁLISE DE RESULTADOS APÓS IMPLEMENTAÇÃO	46
3.3.	ANÁLISE DE INCIDENTES	49
3.3.1.	<i>Em linhas de dois ternos e linhas duplas</i>	49
3.3.2.	<i>Por fase</i>	51
3.4.	ANÁLISE CONCLUSIVA	53
4.1.	LEVANTAMENTO DE DADOS	55
4.2.	GEORREFERENCIAÇÃO DE DEFEITOS	57
4.3.	MELHORIA DE FERRAMENTA PARA IDENTIFICAÇÃO DE APOIOS	60
4.4.	ANÁLISE DE RESULTADOS	62
4.4.1.	<i>Identificação e georreferenciação</i>	62
4.4.2.	<i>Caracterização das linhas e treços críticas</i>	63
4.4.3.	<i>Taxa de incidentes por linha</i>	67
4.4.4.	<i>Descargas e Altimetria</i>	68
4.4.5.	<i>Densidade e intensidade de descargas</i>	69
4.4.6.	<i>Mapa de resistividade</i>	71
4.5.	ANÁLISE CONCLUSIVA	74
5.	DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE CRITICIDADE	77
5.1.	ÍNDICE DE CRITICIDADE: PARÂMETROS E METODOLOGIA	77
5.1.1.	<i>Nível de tensão</i>	78
5.1.2.	<i>Cota</i>	79
5.1.3.	<i>Resistência de Terra</i>	80
5.1.4.	<i>Proximidade ao mar</i>	80
5.2.	CÁLCULO DO PESO DE CADA PARÂMETRO	82
5.3.	INTERFACE PARA O CÁLCULO DA CRITICIDADE DE UM APOIO	85
5.4.	EXTENSÃO DA INTERFACE AO CÁLCULO À RNT	88
5.5.	ANÁLISE CONCLUSIVA	90
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	93
6.1.	ASPETOS CONCLUSIVOS	93
6.2.	LIMITAÇÕES ENCONTRADAS E TRABALHOS FUTUROS	95

Índice de Figuras

Figura 1 - Lightning Flash Rate do mundo	2
Figura 2 - Mapa do índice ceráunico	3
Figura 3 - Perfil de idade das linhas aéreas	11
Figura 4 – Evolução dos indicadores de continuidade de serviço	12
Figura 5 - Tempo de Interrupção Equivalente (TIE) nos últimos anos	13
Figura 6 - Distribuição das causas dos incidentes em linhas	14
Figura 7 - Cabo OPGW	15
Figura 8 - Constituição de uma cadeia dupla de isoladores	19
Figura 9 - Evolução do número de defeitos com origem em linhas da RNT	24
Figura 10 - Faixa de proteção	25
Figura 11 - Fenómeno de contornamento de isolador poluído	27
Figura 12 - Isolador compósito	28
Figura 13 - Nuvem de descarga	31
Figura 14 - Descarga positivas descendente e ascendente	33
Figura 15 - Descarga negativa descendente e ascendente	33
Figura 16 - Espias e contrapesos	37
Figura 17 - Cadeias de isoladores em "V"	38
Figura 18 - Descarregador de sobretensão	42
Figura 19 - Ordem de mérito de intervenções para falha de blindagem	44
Figura 20 - Ordem de mérito de intervenções para contornamentos inversos.	44
Figura 21 - Evolução da linha Sines Tunes	47
Figura 22 - Comportamento da linha Sines Tunes após adoção de medidas	48

Figura 23 - Distribuição total dos incidentes por fase	53
Figura 24 - Sensores IMPAC e georreferenciação	56
Figura 25 - Distância ao defeito	58
Figura 26 - Evolução do número incidentes com distância ao defeito	59
Figura 27 - Percentagem de incidentes com e sem distância ao defeito	59
Figura 28 - Interface da ferramenta de identificação do apoio mais próximo	61
Figura 29 - Folha de cálculo de identificação do apoio mais próximo	62
Figura 30 - Mapa com linhas da RNT e georreferenciação dos defeitos	63
Figura 31 - Número total de defeitos das linhas da RNT	64
Figura 32 – Análise do histórico de linhas e incidentes	64
Figura 33 - Georreferenciação dos troços mais sensíveis	66
Figura 34 - Mapa altimétrico e incidentes	68
Figura 35 - Mapa altimétrico com representação dos troços mais sensíveis	69
Figura 36 - Intensidade das Descargas Atmosféricas	70
Figura 37 - Densidade Média das Descargas Atmosféricas	70
Figura 38 - Mapa da resistividade	71
Figura 39 - Método de Wenner	72
Figura 40 - Método de Schlumberger	73
Figura 41 - Distribuição dos incidentes por nível de tensão	79
Figura 42 - Intensidade das descargas atmosféricas por concelho	81
Figura 43 - Determinação do peso de cada parâmetro - Solver	82
Figura 44 - Determinação do peso de cada parâmetro - Solver	83
Figura 45 - Determinação do peso de cada parâmetro - Solver	83

Figura 46 - Valor máximo obtido através da metodologia	84
Figura 47 - Interface para cálculo da criticidade de um apoio	86
Figura 48 - Interface para cálculo da criticidade de uma linha	88
Figura 49 - Distribuição da resistência de terra (mais intervalos)	91

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Caracterização da Rede Nacional de Transporte	10
Tabela 2 - Comparação entre tipos de isoladores	18
Tabela 3 - Distância mínimas aos condutores	22
Tabela 4 - Distâncias de segurança dos condutores	23
Tabela 5 - Número de descargas por ano, na linha Sines Tunes	48
Tabela 6 - Incidentes em linhas de dois ternos e linhas duplas	50
Tabela 7 - Distribuição dos incidentes por fase – LMDR.PDV1	51
Tabela 8 - Distribuição dos incidentes por fase – LCL.EJ2	52
Tabela 9 - Distribuição dos incidentes por fase – LAL.RA2	52
Tabela 10 - Estatísticas de incidentes a georreferenciar	60
Tabela 11 – Análise de dados com estudo dos corredores	65
Tabela 12 - Linhas mais críticas da RNT	65
Tabela 13 - Troços mais sensíveis da RNT	66
Tabela 14 - Estatísticas da Linha Mendouiro – Predalva 1 (LMDR.PDV1)	75
Tabela 15 - Estatísticas da Linha Carrapatelo – Estarreja 2 (LCL.EJ2)	75
Tabela 16 - Estatísticas da Linha Alto Lindoso-Riba d’Ave 2 (LAL.RA2)	76
Tabela 17 - Distribuição dos incidentes por nível de tensão	79
Tabela 18 - Distribuição dos valores de resistências de terra	80
Tabela 19 - Distribuição dos níveis de probabilidades	82
Tabela 20 - Estatísticas linhas da RNT	89
Tabela 21 - Distribuição da resistência de terra (mais intervalos)	91

Acrónimos

RNT	–	Rede Nacional de Transporte
REN	–	Rede Energética Nacional
FOR	–	<i>Total Flashover Rate</i>
BFR	–	<i>Back Flashover Rate</i>
SFFOR	–	<i>Shielding Failure Flashover Rate</i>
MT	–	Média Tensão
MAT	–	Muito Alta Tensão
IPMA	–	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
DEA	–	Descarga Elétrica Atmosférica
IMPACT	–	<i>IMProved Accuracy from Combined Technology</i>
Gestinc	–	Gestão de Incidentes
GPS	–	<i>Global Positioning System</i>
DST	–	Descarregador de sobretensão
VBA	–	<i>Visual Basic for Applications</i>
TIE	–	Tempo de Interrupção Equivalente

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A energia elétrica foi uma das maiores invenções do Homem, sendo que a mesma está na base do avanço tecnológico com enorme expansão nas últimas décadas.

Dado que se assiste gradualmente a um maior consumo energético, assiste-se consequentemente a um aumento significativo da produção de eletricidade. Devido ao avanço tecnológico, há que garantir uma melhor continuidade de serviço, de forma a assegurar e satisfazer todos os consumidores, com especial atenção os grandes consumidores, nomeadamente as indústrias e os serviços críticos.

De facto, cada vez mais, os processos produtivos são automatizados e autónomos, e consequentemente dependentes da eletricidade que lhes chega através da Rede Nacional de Transporte e da Rede Nacional de Distribuição. Deverá, por isso, assumir-se um serviço onde o tempo de indisponibilidade seja inexistente ou o menor possível. Na eventualidade de se verificar a interrupção do fornecimento de energia poderá haver uma quebra do sistema produtivo, levando a perdas de matéria-prima e/ou a perdas monetárias com consequências gravosas. Por estes motivos, as indisponibilidades devem ser evitadas por poderem acarretar ainda coimas e indemnizações as quais, por vezes, são elevadas. Há ainda que ter em conta

que as empresas de transmissão de energia estão ligadas a empresas de distribuição de energia repercutindo assim as consequências destas falhas aos diversos pontos de entrega de eletricidade.

De facto, estas interrupções estão normalmente associadas a diferentes incidentes que podem ocorrer nos diversos elementos ativos da RNT. Grande parte dos incidentes registados tem origem nos cerca de 8 mil quilómetros de linhas aéreas. Na Rede Nacional de Transporte são conhecidas quatro grandes causas responsáveis por interrupções de serviço sendo estas os incêndios, as cegonhas, a poluição dos isoladores e as descargas elétricas atmosféricas (DEA).

Uma trovoada é um fenómeno meteorológico imprevisível sendo que a cada segundo ocorrem no mundo cerca de 50 a 100 descargas atmosféricas o que equivale a aproximadamente 10 milhões de descargas por dia ou três biliões por ano. Ainda que a maior parte do planeta esteja coberta de água, menos de 10% do total de relâmpagos ocorrem nos oceanos. Tal deve-se às variações de temperatura ao longo do dia, do relevo menos acidentado e da menor concentração de aerossóis sobre os oceanos em comparação com a superfície dos continentes.

Recentemente, a visualização da distribuição global das descargas tem sido conseguida através das observações feitas com sensores óticos a bordo de satélites.

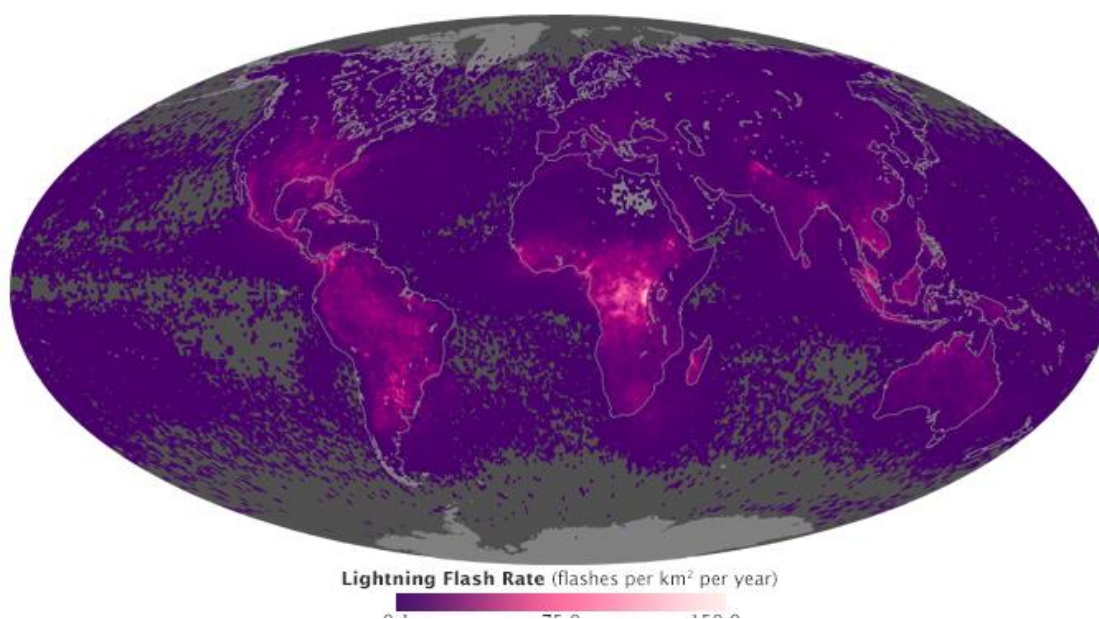


Figura 1 - *Lightning Flash Rate* do mundo

O mapa da Figura 1 mostra as contagens médias anuais de relâmpagos por quilómetro quadrado, entre 1995 e 2013. As áreas com o menor número de descargas estão representadas a cinzento e roxo e as áreas com o maior, cerca de 150 por ano por quilómetro quadrado, estão representadas a rosa (NASA, 2015).

As observações de satélite confirmam que a maioria das DEAs ocorre sobre as zonas terrestres continentais e nas regiões tropicais. Verifica-se que no hemisfério norte as regiões que registam maior ocorrência de descargas são o centro da África, o sul da Ásia e o sul dos Estados Unidos da América e, no hemisfério sul, o Brasil (exceto a região nordeste), o norte da Argentina, o sul da África, a ilha de Madagáscar, a Indonésia e o norte da Austrália (NASA, 2001). É ainda de notar quase nunca se verificam descargas atmosféricas no polo norte e no polo sul.

Estudos recentes têm mostrado que a ocorrência de relâmpagos tem aumentado significativamente sobre as grandes áreas urbanas em relação às áreas circundantes. Acredita-se que este efeito esteja relacionado com um maior grau de poluição e ao fenómeno conhecido como "ilha de calor", aquecimento provocado pela alteração do tipo de solo e a presença de prédios e elementos que alteram a temperatura local .

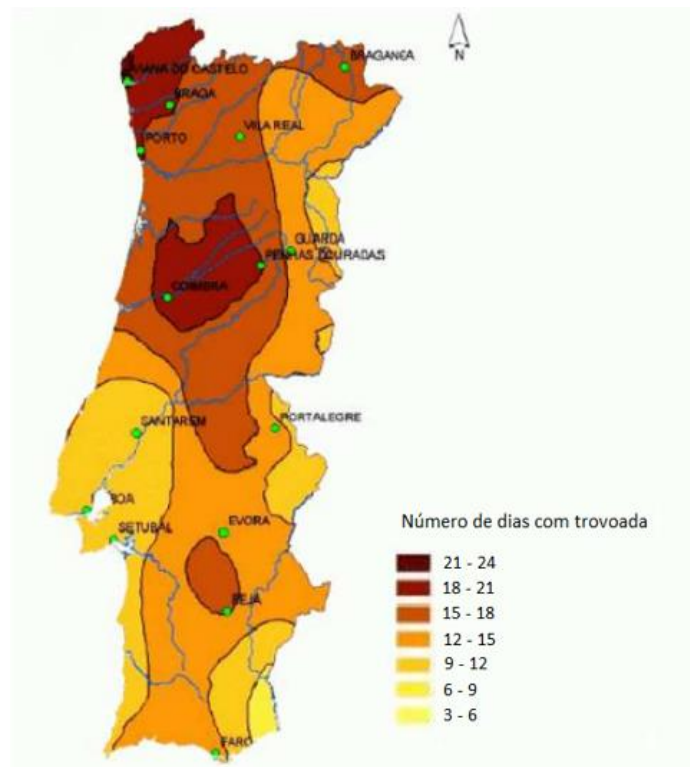


Figura 2 - Mapa do índice cerâmico

Embora Portugal não seja um país de muito elevada atividade cerâmica, e segundo mapa da Figura 2, existem algumas regiões do país que sofrem o efeito deste mesmo fenómeno. Segundo os dados do Instituto de Meteorologia, o valor máximo do índice cerâmico para Portugal continental é de 20 dias/ano, que coincide ainda com o valor médio registado para a Península Ibérica na sua generalidade (Teixeira, 2005). Na verdade, existe escassez de informação disponível e oficial quanto ao número de trovoadas que atingem Portugal continental.

A empresa Redes Energéticas Nacionais (REN), responsável pela exploração da Rede Nacional de Transporte (RNT), tem tomado diversas medidas com o objetivo minimizar o impacto das causas apresentadas na qualidade de serviço.

Relativamente às consequências advindas dos incêndios, das cegonhas e da poluição dos isoladores, têm sido tomadas medidas sistemáticas, o que permitiu melhorar a *performance* da rede. Contudo, no que diz respeito aos incidentes com origem em descargas atmosféricas, ainda não se conseguiu alcançar o sucesso pretendido. Isto, porque, uma descarga atmosférica tem associada uma descarga elétrica de grande intensidade a qual é causada pela diferença de potencial entre as nuvens ou pela diferença de potencial entre as nuvens e o solo. A corrente associada a uma descarga atmosférica é em 80% dos casos superior a 20 kA, podendo mesmo atingir os 220 kA sendo, por isso, muito difícil contornar o seu impacto, aliado ao facto da sua imprevisibilidade.

Assim, no seguimento desta necessidade mostrou-se pertinente proceder a um estudo que possibilitasse a tomada de medidas, de forma a melhorar a *performance* das linhas aéreas e consequentemente melhorar a qualidade de serviço, mesmo que os atuais resultados sejam bastante satisfatórios e estejam dentro dos valores estabelecidos.

Devido à extensa dimensão da rede, não se mostrava viável a adoção desmesurada de medidas em toda a sua extensão. Como tal, considera-se fundamental perceber quais os pontos mais críticos nos quais se deve atuar.

Se de entre as linhas mais críticas se selecionarem os troços mais fustigados ou que apresentam características favoráveis a desencadear incidentes por descargas atmosféricas, e se forem estudadas medidas que maximizem resultados com menos recursos, então tal pode significar uma melhoria significativa da *performance* total da rede.

1.2. MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS

De forma a conhecer com maior precisão quais são os pontos da rede que apresentam maior necessidade de implementação de medidas foi necessário conhecer o seu comportamento. As linhas aéreas, pela sua dispersão geográfica e pelas características tão díspares dos terrenos onde estão implantadas, estão mais sujeitas, como é natural, à ação dos agentes externos meio-ambientais (incêndios, aves, descargas atmosféricas, poluição, etc.), principais causadores de incidentes na rede.

O objetivo deste trabalho era identificar quais os dados reais de relevância para o trabalho com de forma a proceder a uma análise para além dos estudos empíricos existentes. Era imperativo um estudo com base em dados reais de forma a poder dar uma perceção autêntica sobre o estado da RNT, podendo tirar conclusões através do seu comportamento passado.

Com os dados recolhidos e, devidamente tratados, proceder à georreferenciação de todos os defeitos. Com a representação gráfica dos incidentes presentes no histórico pretendia-se ter uma melhor perceção dos locais de ocorrência e da sua distribuição ao longo do território nacional. Através desta georreferenciação pretendia-se fazer o cruzamento de informação de forma a compreender quais são os fatores ambientais, geográficos ou estruturais que originam o mau desempenho de uma linha, ou de um troço da mesma.

Um dos principais objetivos deste trabalho era o desenvolvimento de uma metodologia que permitisse identificar e listar os apoios ou troços de linhas da RNT com maior risco de falha por descargas atmosféricas. Com esta metodologia seriam listados, por classe de prioridade, os apoios ou troços de linhas a proceder modificações.

O desenvolvimento de uma interface mostrou-se pertinente por facilitar a utilização da ferramenta. Finalmente, como conclusão pretendia-se proceder à aplicação da metodologia e obter um enquadramento geral do número de linhas críticas e não críticas da RNT.

1.3. ESTRUTURA

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

No primeiro capítulo é feito um enquadramento geral do tema do trabalho, bem como a descrição dos objetivos do mesmo.

No segundo capítulo, *Elementos e fenómenos da rede de transporte*, é feita uma pequena abordagem sobre os elementos das linhas aéreas que estão diretamente relacionados com as descargas atmosféricas. É ainda feita uma descrição dos principais fenómenos que originam incidentes, provocando perturbações na rede. É feito também um *benchmarking* de algumas medidas que podem ser adotadas para melhorar o desempenho das linhas relativamente às DEA.

No terceiro capítulo é feita uma análise da linha Sines Tunes tendo em conta que foi alvo da implementação de medidas de melhoria de *performance* da linha. Neste capítulo é feito um estudo com o objetivo de avaliar o comportamento da linha anteriormente e posteriormente à tomada das medidas. É ainda realizada uma análise das linhas com dois ternos e das linhas duplas bem como uma análise das fases mais afetadas aquando dos incidentes. Este é um capítulo que se foca maioritariamente na análise de resultados.

O quarto capítulo descreve todo o processo de obtenção e gestão de dados. É descrito todo o procedimento de localização de defeitos assim como da criação de mapas com propósito de facilitar as conclusões. É descrita a melhoria feita à folha de cálculo que permite agilizar todo o processo de localização do apoio mais próximo do defeito. Por fim, faz-se uma descrição do modo como se classificaram as linhas e troços mais críticos da rede, segundo os dados reais obtidos da base de dados.

No quinto capítulo é apresentada e descrita a metodologia elaborada, baseada nos dados reais de incidentes da rede, para calcular a criticidade de um apoio ou de uma linha. Neste capítulo, além de explicada toda a metodologia, é calculado o índice de criticidade de toda a rede obtendo-se então o número de linhas críticas e não críticas da rede.

No último capítulo são apresentadas as conclusões finais e propostas para trabalhos futuros.

2. ELEMENTOS E FENÓMENOS DA REDE NACIONAL DE TRANSPORTE

2.1. REDE ELÉTRICA NACIONAL (REN)

A REN - Redes Energéticas Nacionais é uma empresa vocacionada para o transporte de eletricidade em muito alta tensão (MAT) e para a gestão técnica global do Sistema Elétrico Nacional. Por outro lado, atua ainda ao nível do transporte de gás natural em alta pressão e na gestão técnica global do Sistema Nacional de Gás Natural.

Esta empresa opera a Rede Nacional de Transporte (RNT) que liga os produtores aos centros de consumo, assegurando o equilíbrio entre a procura e a oferta de energia, sendo a única entidade responsável pelo transporte de eletricidade em Portugal, no âmbito de um contrato de concessão estabelecido com o Estado Português.

Os pontos de entrega da RNT permitem alimentar a designada Rede Nacional de Distribuição a partir da qual são abastecidos a maioria dos consumidores finais. As empresas

de comercialização de eletricidade são responsáveis pela gestão das relações com os consumidores finais, incluindo a faturação e o serviço ao cliente.

A produção de eletricidade está aberta à concorrência e tem dois regimes legais que são a produção em regime ordinário (PRO) e a produção em regime especial (PRE). A primeira diz respeito à produção de eletricidade com base em fontes tradicionais não renováveis e em grandes centros electroprodutores hídricos e a segunda é relativa à cogeração e à produção elétrica a partir da utilização de fontes de energia renováveis.

O transporte de energia elétrica, em muito alta tensão (150 kV, 220 kV e 400 kV), é efetuada através da RNT, mediante uma concessão em regime de serviço público e de exclusividade à REN. Esta concessão inclui o planeamento, a construção, a operação e a manutenção da RNT, abrangendo ainda o planeamento e a gestão técnica global do Sistema Elétrico Nacional, de forma a assegurar o funcionamento pleno das infraestruturas que o integram, assim como a continuidade de serviço e a segurança do abastecimento de eletricidade.

Os mercados organizados de eletricidade operam em regime livre estando, contudo, dependentes da autorização do Estado Português. Os produtores em regime ordinário, os comercializadores e os produtores em regime especial que o desejem, podem tornar-se agentes do mercado. Os comercializadores podem comprar e vender eletricidade livremente e têm o direito de aceder às redes de transporte e de distribuição, mediante o pagamento de tarifas de acesso estabelecidas pela Entidade Reguladora – ERSE (ERSE, 2009). Estão sujeitos a obrigações de serviço público no que respeita à qualidade, ao abastecimento contínuo de eletricidade e devem disponibilizar aos seus clientes informação simples e compreensível.

A distribuição de eletricidade processa-se através da exploração da Rede Nacional de Distribuição (RND) constituída por infraestruturas de alta, média e baixa tensão. As redes de distribuição de baixa tensão são operadas no âmbito de contratos de concessão estabelecidos entre os municípios e os distribuidores.

Os clientes são a razão de ser de todo este complexo sistema. Em Portugal Continental existem quase 6,1 milhões de consumidores, sendo a sua esmagadora maioria em Baixa Tensão, 23 500 em Média Tensão e cerca de 350 em Alta e Muito Alta Tensão, os quais em 2015 consumiram mais de 49,0 TWh de energia elétrica (REN, 2015c). Com a liberalização

do mercado de eletricidade em Portugal, os consumidores podem escolher o seu comercializador de energia elétrica (REN, 2015a).

2.1.1. CARACTERIZAÇÃO DA RNT

A Rede Nacional de Transporte (RNT) assegura o escoamento da energia elétrica produzida nas centrais electroprodutoras até às redes de distribuição. São estas redes de distribuição que conduzem a energia até às instalações dos consumidores finais. No entanto, deve ter-se em conta que existem alguns casos em que os consumidores designados por “grandes consumidores”, se encontram diretamente ligados à rede de transporte, por questões técnicas e económicas.

A rede de transporte é constituída maioritariamente por linhas aéreas, nos níveis de tensão de 400 kV, 220 kV e 150 kV, existindo no norte de Portugal uma linha explorada a 132 kV. A rede de transporte engloba ainda troços em cabo subterrâneo, explorados a 220 kV e 150 kV.

A evolução da rede de transporte, tanto em extensão como em capacidade de transporte, é ditada, por um lado, pela necessidade de satisfação dos consumos crescentes que motivam a ligação de novos centros electroprodutores e novas subestações de entrega à distribuição, e, por outro lado, pela necessidade crescente de ligação de novos produtores em regime especial.

A RNT encontra-se interligada à rede espanhola em vários pontos do território nacional, permitindo, assim, a realização de troca/comercialização de eletricidade com Espanha, as quais são importantes quer do ponto de vista da segurança dos sistemas elétricos, quer do ponto de vista do fornecimento aos consumidores de ambos os países, dando origem ao mercado ibérico. Estas ligações transfronteiriças permitem ainda otimizar o fornecimento de energia elétrica em termos económicos, promovendo a concorrência entre os agentes produtores de ambos os países. A Rede Nacional de Transporte é constituída por diversos ativos que são geridos e explorados pela REN, sendo que no final do ano 2015, se apresentava como descrito na Tabela 1 (REN, 2015b).

Tabela 1 - Caracterização da Rede Nacional de Transporte

		400 kV	220 kV	150 kV	Total
Circuito de linha aérea	Número	65	102	83	250
	Km	2632.3	3515.2	2562.1	8709.6
Linhas aéreas	Número	62	105	70	237
	Km	2475.5	2726.3	1835.9	7037.7
Linhas (circuitos) subterrâneas	Número	-	14	-	14
	Km	-	95.78	-	95.78
Apoios de linhas	Número	6748	6983	4921	18382
Subestações	Número	20	33	13	66

2.1.2. IDADE E CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS

Pelo facto da RNT se encontrar constantemente em modificação e expansão, muitas das linhas são compostas por diversos troços, resultantes da abertura de linhas para alimentar novos pontos injetores de energia.

O facto de existir um reduzido número de corredores disponíveis faz com que as várias linhas aéreas existentes partilhem segmentos duplos que poderão apresentar diferentes idades. A idade das linhas pode ser um fator determinante no desempenho da rede, sendo que é necessário tentar manter as existentes nas melhores condições possíveis para uma exploração mais segura e fiável (REN, 2012).

As linhas que são sujeitas a modificações são consideradas linhas novas. Na maioria das linhas alvo de *upgrade*, substitui-se os antigos isoladores de cerâmica por isoladores de vidro ou de compósito, assim como os sistemas de fixação e os cabos de guarda. Por vezes são ainda feitas alterações pontuais nos apoios e também nas fundações. Nestas linhas a idade é atualizada, dando um peso de 30% ao ano da modernização e 70% ao ano de construção da linha original e, da soma destas duas componentes, resulta a idade final.

Na Figura 3 encontra-se a representação gráfica do perfil da idade média das linhas aéreas da RNT.

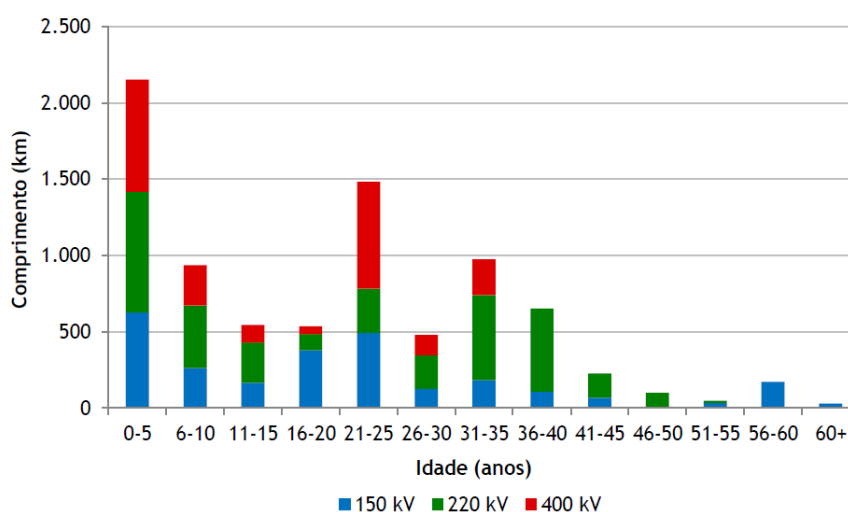


Figura 3 - Perfil de idade das linhas aéreas

Pode, assim, concluir-se que a RNT é bastante jovem, uma vez que as linhas com uma idade média inferior ou igual a 25 anos representam 85% da extensão total de circuito aéreo da RNT. Contudo, em contrapartida, verifica-se que existem linhas de 150 kV com uma idade média superior a 50 anos, embora representem apenas 2% das linhas aéreas. Verifica-se também que os troços subterrâneos são bastante recentes, uma vez que 64% da extensão, possui uma idade inferior ou igual a 5 anos.

As linhas de 150 kV tendem a ser mais escassas e em contrapartida a REN tem instalado redes de 400kV, de forma a responder eficazmente às solicitações, daí estas aparecem no gráfico da Figura 3 apenas a partir do intervalo correspondente aos 31-35 anos.

2.2. QUALIDADE DE SERVIÇO

A REN – Rede Elétrica Nacional, enquanto concessionário da Rede Nacional de Transporte (RNT) de eletricidade e prestadora de um serviço público, encontra-se obrigada ao cumprimento dos critérios de qualidade de serviço mínimos na operação da rede, definidos no Regulamento de Qualidade de Serviço do setor elétrico, parte integrante do Regulamento nº 455/2013,/ publicado no Diário da República, 2ª série, de 29 de novembro (ERSE, 2013).

Assim, na sequência destas linhas orientadoras, no ano de 2015 o comportamento da RNT foi adequado, tendo em conta o número de incidentes, verificando-se assim um decréscimo de 37% face ao ano anterior. Em 2015, do número total de incidentes, 75% tiveram origem na Rede de Muito Alta Tensão (MAT), 15.4% na Rede de Alta Tensão (AT) e aproximadamente 9.5% teve origem em outras redes, mas com impacto nas redes de AT e MAT da REN. A maior parte dos incidentes registados não teve nenhum impacto na continuidade de serviço observada pelos consumidores (REN, 2015b).

A continuidade de serviço no fornecimento de energia elétrica é avaliada segundo dois tipos de indicadores de qualidade de serviço, sendo estes de natureza geral ou individual (Cruz, 2014). Os indicadores são:

- Energia não fornecida (ENF);
- Tempo de interrupção equivalente (TIE);
- Duração média das interrupções do sistema (SAIDI);
- Frequência média de interrupções longas (SAIFI);
- Tempo médio de reposição de serviço do sistema (SARI);
- Frequência Média das Interrupções de Curta Duração (MAIFI).

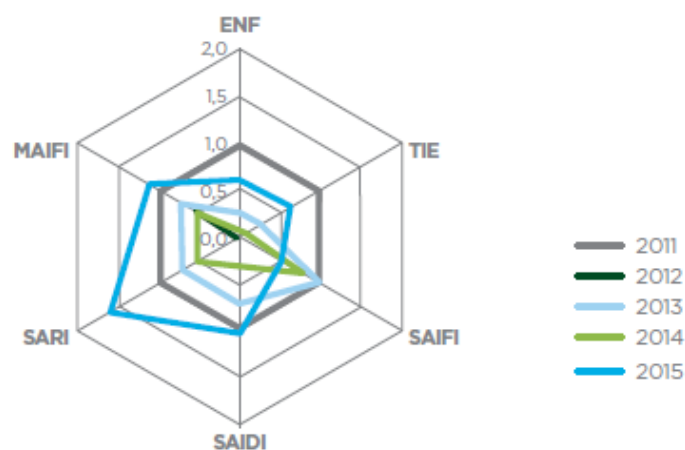


Figura 4 – Evolução dos indicadores de continuidade de serviço

Como mostra o gráfico da Figura 4 (REN, 2015b), o ano de 2015 revela um ligeiro agravamento dos indicadores gerais (à exceção do SAIFI), quando em comparação com os últimos 5 anos, onde foram registados valores muito satisfatórios de *performance* da RNT (REN, 2015b).

A REN tem registado nos últimos anos uma melhoria muito significativa dos principais indicadores estipulados, em particular na vertente da continuidade de serviço, fruto de políticas de intervenção ativa ao nível do investimento e da manutenção. Um resultado claro desta melhoria é o indicador recorde de 0 segundos de Tempo de Interrupção Equivalente (TIE) registado em 2012 (REN, 2015b).

O Tempo de Interrupção Equivalente, registado no gráfico anterior, foi, em 2015, de 0,21 minutos (12, segundos), evidenciado a azul na Figura 5 (REN, 2015b), o que equivale a uma disponibilidade de serviço de 99,99996%. Este valor pode ainda ser interpretado como uma interrupção de 1 segundo por cada 1000 horas de serviço.

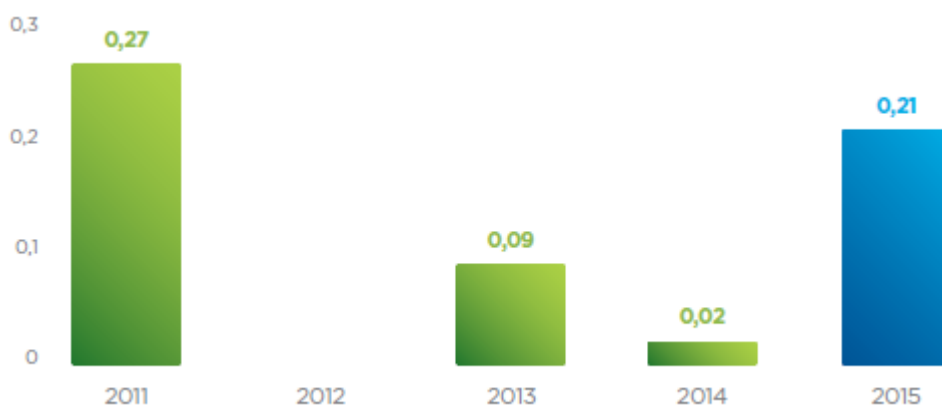


Figura 5 - Tempo de Interrupção Equivalente (TIE) nos últimos anos

No âmbito da qualidade de serviço o problema mais grave é o da interrupção do fornecimento de energia. Contudo, existem outros fatores que podem influenciar a qualidade da onda de tensão, tais como a distorção harmónica, o ruído eletromagnético, as cavas de tensão, as sobretensões momentâneas, as flutuações de tensão, e o desequilíbrio no sistema trifásico de tensões. A existência de cavas de tensão é particularmente prejudicial na indústria, uma vez que, apesar de não causarem uma interrupção de fornecimento de energia, podem prejudicar o processo produtivo. As cavas de tensão têm normalmente origem em curto-circuitos que provocam a atuação dos sistemas de proteção da rede.

O número de incidentes por elemento de rede tem assim bastante relevância, visto que este fator influencia diretamente na generalidade dos indicadores.

Destes merecem especial destaque os incidentes com origem em linhas aéreas, quer pela sua relevância em termos globais para o indicador – número de defeitos com origem em linhas da RNT por 100 km de circuito - quer também pela sua evolução. O número de incidentes em linhas aéreas tem apresentado um decréscimo significativo na generalidade das causas prováveis.

No sentido de melhorar a sua Qualidade de Serviço, a REN tem vindo recentemente a tomar medidas no sentido de reduzir o impacto de diversos agentes externos, nomeadamente, as aves, a poluição/humidade e a vegetação na proximidade das linhas. Estes agentes distribuíram-se no ano 2015 consoante apresentado no gráfico da Figura 6 (REN, 2015b).

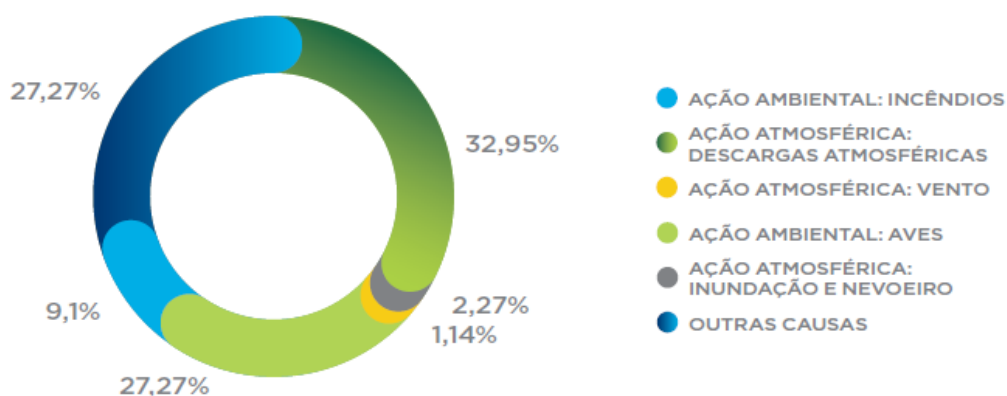


Figura 6 - Distribuição das causas dos incidentes em linhas

A tomada destas medidas e o número reduzido de incêndios nos últimos anos com consequências na rede, fez com que o peso relativo do impacto de descargas atmosféricas se tenha evidenciado, justificando o estudo de ações que o mitiguem.

2.3. ELEMENTOS DAS LINHAS AÉREAS

2.3.1. CABOS CONDUTORES AÉREOS, CABOS DE GUARDA E ACESSÓRIOS

Os cabos condutores e os cabos de guarda convencionais são cabos sem isolamento, multifilares e de diferentes tipos de materiais. Os cabos condutores podem ser constituídos em liga de alumínio-aço (*Alluminium Alloy Conductor Steel Reinforced – AACSR*), em

alumínio-aço (*Alluminium Conductor Steel Reiforced – ACSR*) ou em liga de alumínio (*All Aluminium Alloy Conductor – AAAC*).

A escolha do cabo é feita de forma a assegurar as características mecânicas e elétricas adequadas e garantir que estes suportem quer as correntes de defeito, quer a corrente especificada (REN, 2008). Tanto aos cabos condutores como aos cabos de guarda convencionais, aplicam-se as Especificações Técnicas com a referência ESLN/ET/CCO01 - Cabos de alumínio - aço para linhas aéreas de MAT (REN, 2007h).

No que diz respeito aos cabos de guarda que incorporam fibras óticas (*Optical Ground Wire - OPGW*), mostrados na Figura 7 (ZTT, 2016), estes têm características mecânicas e elétricas adequadas às da linha e são compatíveis com as do cabo de guarda convencional. As características do cabo OPGW e dos respetivos acessórios, nomeadamente as das fibras óticas, constam das Especificações Técnicas:

- EQ/ET/OPGW - *Generic specifications for optical ground wires to be applied in high voltage overhead lines* (REN, 2007a)
- EQPJ/ET/ACJ01 - *Joint boxes for optical ground wires and optical duct cables to be applied in high voltage overhead lines* (REN, 2007a)
- EQPJ/ET/ACJ02 - *Joint boxes for optical ground wires and optical duct cables to be applied in high voltage overhead lines* (REN, 2007b)
- EQPJ/ET/AGW05 - *Generic specifications for clamps & fittings for OPGW* (REN, 2007)



Figura 7 - Cabo OPGW

Assim, conclui-se que os cabos OPGW assumem duas funções distintas: desempenham a função de cabo de guarda convencional, protegendo a linha contra descargas atmosféricas, e servem ainda como via de transporte de informação.

Há que ter em conta que esta tecnologia tem inerente a utilização de acessórios como é o caso da caixa de junção do cabo de fibra ótica e dos acessórios de fixação do cabo OPGW. As Especificações técnicas que definem os requisitos técnicos a serem cumpridos são EQPJ/ET/ACJ02 (REN, 2007) e EQPJ/ET/AGW05 (REN, 2007) , respetivamente.

2.3.2. APOIOS RETICULADOS

Os apoios, também designados por postes, são elementos que desempenham a função de suporte dos condutores. Estes fazem ainda a ligação dos cabos de guarda à terra.

No que diz respeito à constituição dos apoios, estes são formados por um conjunto de estruturas reticuladas em aço construídas por cantoneiras e chapas. A ligação entre as estruturas é feita por parafusos de rosca métrica da classe 5.6 (EGPS, 2016). Todas as peças são galvanizadas a quente por imersão (REN, 2008).

Os apoios podem ser:

- Suspensão
- Amarração

Independentemente do tipo de apoio todos estão sujeitos a esforços para os quais devem estar preparados e que podem ser:

- Transversais
- Longitudinais
- Torcionais
- Verticais

O tipo de apoio e os esforços estão relacionados sendo que, por exemplo, um apoio que tenha as linhas em suspensão está normalmente associado a esforços verticais. Por outro lado,

quando as linhas se encontram suportadas em amarração os esforços são longitudinais (FEUP, 2016).

Aquando do cálculo dos esforços há que ter em conta a tração exercida pelos cabos, o peso da estrutura bem como a ação do vento sobre a mesma.

Devido à localização dos postes, ao traçado da linha e aos desvios que sofre é, muitas vezes, necessário ter-se apoios com funções específicas. Um apoio de ângulo, tal como o nome indica fica situado junto a um desvio da linha. Quando é necessário estabelecer uma ou mais derivações de linha recorre-se a um apoio de derivação.

Por outro lado, um apoio de fim de linha tem como principal função suportar o esforço total dos condutores e dos cabos de guarda de um só lado da linha. Pelo facto de por vezes ser necessário reduzir as consequências negativas em caso de rutura de um condutor, instalam-se apoios de reforço capazes de suportar o esforço exercido.

Por último existem ainda os apoios de travessia ou de cruzamento que limitam um vão ou cruzamento, normalmente utilizados para cruzamentos de linhas (EDP, 2009).

As estruturas localizadas na proximidade dos apoios percorridos por correntes de descarga atmosférica, estão sujeitas a elevações de potencial nas suas partes metálicas causadas por condução através do solo ou por indução. Desta forma, devem ser tomadas medidas de segurança na tentativa de o evitar.

A especificação das características técnicas de todos os elementos estruturais, caracterizando a matéria-prima incorporada, os métodos de fabrico e de embalagem assim como as normas a que deve obedecer o fabrico de estruturas metálicas destinadas a Linhas e Subestações da RNT, constam na Especificação Técnica com referência EQPJ/ET/EME01 (REN, 2007f).

Por outro lado, a Especificação Técnica com referência EQPJ/ET/DTP06 (REN, 2007e) destina-se a especificar as características técnicas de todos os desenhos de fabrico de estruturas destinadas a aplicação como apoios (postes e pórticos) de linhas da RNT. Todas estas estruturas, incluindo as fundações, estão devidamente homologadas pela Direção Geral de Geologia e Energia.

2.3.3. ISOLADORES E CADEIA DE ISOLADORES E ACESSÓRIOS

Um isolador é uma peça constituída por um material com propriedades dielétricas, ou seja, que não conduz corrente elétrica. No contexto do trabalho, um isolador é um elemento que evita a passagem da corrente elétrica do condutor para o apoio desempenhando a função de suspensão dos condutores. O desempenho das linhas de transmissão está relacionado com o comportamento dos isoladores. Nestas linhas o isolamento é feito por uma cadeia de isoladores que é uma ligação de múltiplos isoladores.

O isolador, como anteriormente referido, permite a passagem de corrente elétrica existindo, portanto, diferentes materiais capazes de desempenhar esta função sendo que os isoladores utilizados na RNT podem ser de vidro, de porcelana ou ainda compósitos.

A Tabela 2 (Emanuel & Sousa, 2006) apresenta um resumo de todos os tipos de equipamentos evidenciando as vantagens e desvantagens que os caracterizam.

Tabela 2 - Comparação entre tipos de isoladores

	Vantagens	Desvantagens
Vidro	<ul style="list-style-type: none">• Fiabilidade a longo prazo• Indicação visual de defeitos internos• Boa resistência à perfuração• Bom desempenho	<ul style="list-style-type: none">• Alvo para vandalismo• Disrupção por bandas secas durante longos períodos de tempo pode danificar o vidro• Material pesado• Não disponível em algumas regiões
Porcelana	<ul style="list-style-type: none">• Fiabilidade a longo prazo• Superfície resistente à disrupção• Não estilhaçam sujeitos a vandalismo• Bom desempenho	<ul style="list-style-type: none">• Defeitos internos difíceis de visualizar• Em zonas de forte poluição pode ser necessário recorrer-se a um maior número de isoladores por cadeia• Material pesado• Não disponível em algumas regiões
Compósito	<ul style="list-style-type: none">• Baixo peso• Baixo custo• Menos sensível ao vandalismo• Melhor desempenho face à poluição	<ul style="list-style-type: none">• Tempo de vida útil variável• Histórico reduzido• Sensível ao manuseamento• Defeitos internos nem sempre visíveis

Na Rede Nacional de Transporte os isoladores mais utilizados são os de calote e haste, como mostrado na Figura 8 em cerâmica ou em vidro, do tipo U160BS (espigão de 20mm de espessura) e U70BS (espigão de 16mm de espessura).

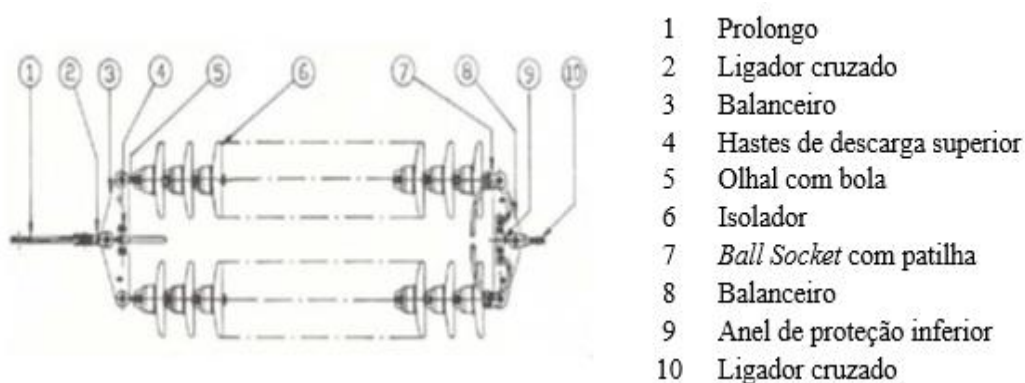


Figura 8 - Constituição de uma cadeia dupla de isoladores

Atualmente a REN instala também isoladores de compósito nas zonas de maior poluição. Os isoladores compósitos apresentam uma capacidade hidrofóbica que se reflete na reduzida capacidade de adesão das gotículas de água. Estes, se devidamente dimensionados, apresentam um melhor desempenho face a contornamentos. Tal como para os isoladores de calote e haste existe a Especificação Técnica REN aplicável aos isoladores compósitos é a *EQPJ/ET/ICA02* - Isoladores compósitos (REN, 2007g) onde constam todas as especificações e requisitos que se devem ser cumpridos.

A escolha da secção dos isoladores é feita de acordo com o valor e a variação da corrente de defeito (REN, 2008). No que diz respeito a requisitos de montagem e utilização, garantias, requisitos técnicos, ensaios, marcações, entre outros, existem normas e documentações presentes nas Especificações Técnicas REN referência *EQPJ/ET/ICA01*- Isoladores de cadeia para linhas Aéreas de MAT (REN, 2007f).

2.3.4. CIRCUITO DE TERRA DOS APOIOS

A função de um circuito de terra é evitar o aparecimento tanto de tensão de contacto, como de tensão de passo, por se poderem mostrar perigosas para pessoas e bens. Assim, tenta-se reduzir os incidentes em linhas aéreas e respetivas estruturas, aumentando a fiabilidade do sistema.

Designa-se por circuito de terra o conjunto de elétrodos, condutores de terra e respetivas ligações.

Ao circuito de terra a que são ligados todos os elementos condutores da instalação normalmente sem tensão ou com tensões não perigosas, mas sujeitos a uma passagem fortuita de corrente que provoque diferenças de potencial perigosas e não previstas, dá-se o nome de terra de proteção (Pinto, El, & Terra, n.d.).

Ao circuito de terra a que são ligados unicamente pontos dos circuitos elétricos para influenciar as suas condições de exploração, dá-se o nome de terra de serviço (REN, 2008).

Aquando da configuração do circuito de terra há que ter em conta a zona onde estes será instalado de acordo com as classificações abaixo apresentadas.

- Zonas públicas: zonas onde se verifique uma densidade populacional grande ainda que só em determinadas ocasiões (parques urbanos), áreas destinadas a convívio cultural, recreativo ou desportivo; recintos destinados a feiras, mercados, atos públicos e religiosos; lugares de romaria; zonas de equipamento social coletivo como hipermercados, hospitais e lugares de ensino);
- Zonas frequentadas: zonas que não sendo da categoria anterior se podem caracterizar como estando nas suas fronteiras ou onde a presença humana se registre amiúde (caminhos de serviço; áreas junto a fontes ou poços de utilização habitual; zonas agrícolas de atividade frequente, tipo hortas, instalações agropecuárias e de apoio agrícola; etc.);
- Zonas pouco frequentadas: zonas não contempladas nos anteriores onde a presença humana seja menos frequente (zonas submetidas a exploração agrícola cuja intervenção humana seja reduzida; zonas de exploração ganadeira; etc.);
- Zonas não frequentadas: zonas cujas características se não enquadraram em nenhuma das anteriores categorias, onde a presença humana é esporádica e normalmente caracterizada pela sua inaptidão agrícola (zonas de floresta; zonas de acentuado declive; zonas escaladas; etc.).

O dimensionamento deverá ter em consideração as seguintes observações:

- A resistência de terra dos elérodos de terra dos apoios deverá ser inferior a 15Ω na extensão de 1 km junto às subestações terminais;

- A tensão de contacto máxima não deverá exceder 189 V nas zonas públicas e 225 V nas zonas frequentadas;
- A tensão de passo máxima não deverá ser superior a 262 V em zonas públicas e a 355 V nas zonas frequentadas;
- Os eléctrodos de terra deverão ser constituídos no mínimo por 4 estacas;
- A resistividade do solo a considerar nos cálculos deverá ser igual a 100 Ωm .

2.3.4.1. ZONAS POUCO FREQUENTADAS E/OU NÃO FREQUENTADAS

Neste caso a configuração tipo que se recomenda corresponde a quatro eléctrodos tipo *Copperweld* enterrados na vertical, um em cada um dos quatro cantos exteriores do conjunto de caboucos, devendo os seus topos estar a uma profundidade mínima de 0,8 metros e ligados aos montantes do poste por intermédio de uma ponta de cabo de cobre nú ($\varnothing = 9$ mm) com cerca de 5 metros de comprimento.

Nas zonas frequentadas mantém-se a configuração tipo indicada para as zonas pouco frequentadas e/ou não frequentadas que é complementada no mínimo com um anel de cabo de cobre nu ($\varnothing = 9$ mm) enterrado horizontalmente a cerca de 80 centímetros de profundidade, ligando as quatro estacas e rodeando o poste.

2.3.4.2. ZONAS PÚBLICAS E FREQUENTADAS

Nestas zonas assume particular interesse o valor da resistência de terra (depende da resistividade do solo e da geometria da configuração do circuito de terra) bem como o previsto uso de dois cabos de guarda, com incidência na distribuição da corrente de defeito, transportando a maior parte daquela e reduzindo-se, portanto, a corrente que é escoada para o solo via apoio.

Os cabos de guarda desempenham, pois, um papel importante de proteção, sob o ponto de vista de segurança de pessoas e de blindagem de condutores às descargas atmosféricas.

Nas zonas frequentadas mantém-se a configuração tipo indicada para as zonas pouco frequentadas e/ou não frequentadas que é complementada no mínimo com um anel de cabo de cobre nú ($\varnothing = 9$ mm) enterrado horizontalmente a cerca de 80 cm de profundidade, ligando as quatro estacas e rodeando o poste.

Nas zonas públicas a sua configuração deverá ser definida caso a caso podendo normalmente ter características idênticas às das zonas frequentadas, mas com 2 ou mesmo 3 anéis em vez de um. O cabo é ligado à cantoneira e à estaca através de ligadores assegurando o bom contacto assim como uma resistência reduzida.

Todos os acessórios pertencentes ao circuito de terra devem cumprir os requisitos impostos na Especificação Técnica da REN EQPJ/ET/ATE03 – Acessórios da malha de terra dos apoios(REN, 2007c). O documento anteriormente referido estabelece as características técnicas assim como ensaios relativos aos acessórios.

No que diz respeito ao cabo de cobre utilizado, este deve cumprir a especificação EQPJ/ET/CCO02 – Cabos de cobre nus para malhas de terra dos apoios (REN, 2007d).

O tempo de vida útil das partes integrantes de um circuito de terra deve rondar os 50 anos.

2.3.5. DISTÂNCIAS MÍNIMAS AOS CONDUTORES

De forma a garantir a segurança de bens e pessoas, existem distâncias aos cabos condutores que devem ser respeitadas. De acordo com as disposições regulamentares do RSLEAT (RSLEAT, 1993) as distâncias mínimas de segurança dos condutores a considerar estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3 - Distância mínimas aos condutores

	150 kV	220 kV	400 kV
Solo	6,8	7,1	8
Árvores	3,1	3,7	5
Edifícios	4,1	4,7	6
Estradas	7,8	8,5	10,3
Vias férreas não eletrificadas	7,8	8,5	10,3

Sem prejuízo de valores diferentes impostos por disposições regulamentares ou por situações locais, as distâncias de segurança dos condutores (em metros) normalmente consideradas pela REN são as seguintes as evidenciadas na Tabela 4, que se segue.

Tabela 4 - Distâncias de segurança dos condutores

	150 kV	220 kV	400 kV
Solo	10	12	14
Árvores	4	5	8
Edifícios	5	6	8
Estradas	11	12	16
Vias férreas eletrificadas	14	15	16
Vias férreas não eletrificadas	11	12	16
Outras linhas aéreas	4	5	7
Obstáculos diversos	4	5	7

Deve-se ter em conta a distância mínima a que o cabo condutor se distancia das árvores pois é fundamental na redução de incidentes devido a incêndios. Devido às oscilações provocadas pela ação do vento, a distância entre os condutores.

O meio envolvente pode reduzir-se perigosamente e provocar um curto-circuito. Assim o valor de D não deve ser inferior ao valor mínimo indicado pela expressão:

$$D = K\sqrt{f + \lambda} + \frac{U}{150} \quad (1)$$

O resultado obtido encontra-se na expressão 1 metros e onde:

f - Flecha máxima em metros;

λ - Comprimento da cadeia de suspensão em metros

U – Tensão

K - Coeficiente que depende da natureza dos condutores (0,6 para condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço e 0,7 para condutores de alumínio e liga alumínio)

2.4. EVENTOS QUE AFETAM A REDE

As linhas aéreas, devido à sua dispersão geográfica e aos diversos tipos de terrenos em que se encontram implementadas, estão sujeitas a diferentes ações da natureza.

São assim identificados quatro problemas de maior destaque comumente designados de “quatro cavaleiros” e que são: os incêndios, a poluição dos isoladores, as cegonhas e por fim as descargas atmosféricas.

Há que ter em conta que o número de incidentes em linhas aéreas tem sofrido um decréscimo. No entanto, tal como se pode observar na Figura 9 este decréscimo não é igual nas principais causas identificadas.

Têm vindo a ser tomadas medidas de forma a minimizar o seu impacto na rede. Há que ter em conta que algumas destas causas estão diretamente relacionadas com as condições atmosféricas pelo que, têm um carácter imprevisível.

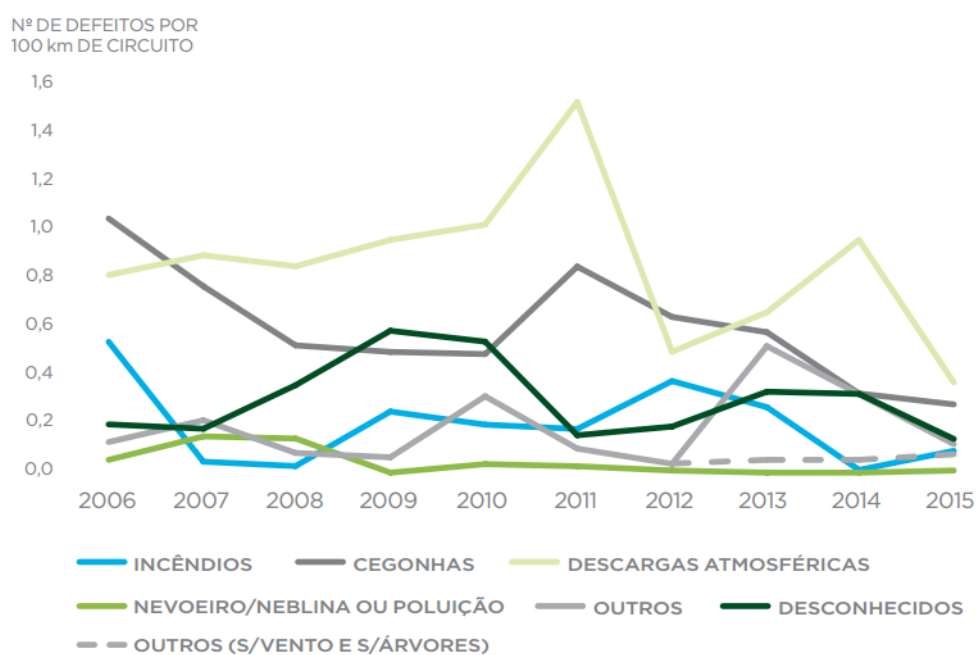


Figura 9 - Evolução do número de defeitos com origem em linhas da RNT

Quanto à poluição dos isoladores tem-se procedido à lavagem das cadeias com o objetivo de reduzir o número de defeitos. No entanto, tendo em conta que a poluição tem uma tendência crescente, tem-se verificado que os resultados não correspondem aos esperados, pelo que se mostra necessário proceder a lavagens com maior frequência.

Quanto às cegonhas, têm sido implementados alguns dispositivos de forma a evitar que estas permaneçam em locais onde há maior probabilidade de gerarem incidentes.

2.4.1. INCÊNDIOS

Os incêndios representaram outrora uma grande percentagem da totalidade dos incidentes registados, predominantemente em épocas de seca. Foi, por isso, necessário tomar medidas para reduzirem a sua ocorrência e o seu impacto.

Para que os incêndios não tivessem influência sobre as linhas foi estabelecida uma faixa de proteção de 45 metros de largura, como mostra a Figura 10 (REN, 2016b) sendo que a linha se deve estar montada no seu centro, como referido no decreto regulamentar DR n.º 1/92 – RSLEAT, art.º 28º, n.º 3 (REN, 2016b).

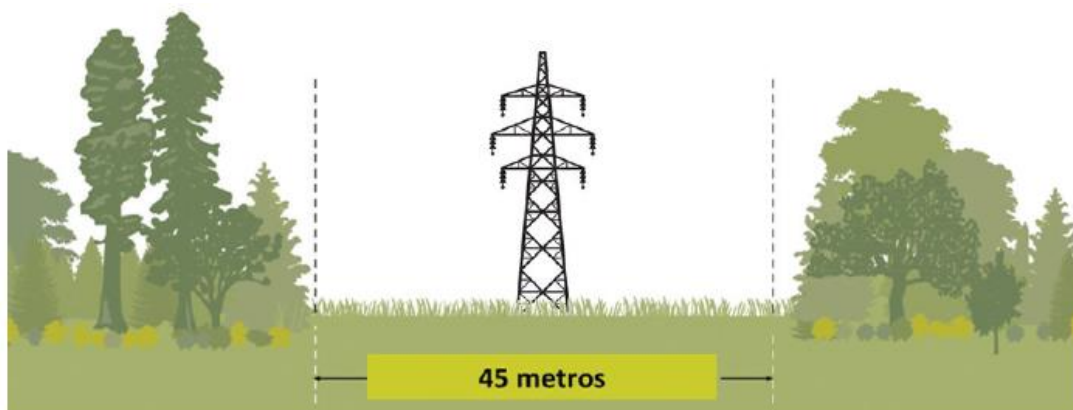


Figura 10 - Faixa de proteção

Assim, seguindo o exposto no decreto regulamentar acima referido, na faixa de proteção estabelecida e nas zonas imediatamente adjacentes, a REN procede à operação de corte ou decote de arvoredo e vegetação. Este é um processo periódico, que dependendo da linha, pode variar de 8 a 12 meses. O tratamento da vegetação é feito para que seja assegurada a distância de segurança aos condutores das linhas.

Deve ainda ser tida em conta a presença de eucaliptos sobretudo no Norte de Portugal, uma vez que estes são muito abundantes e o seu crescimento é rápido e por poderem alcançar com facilidade a zona de segurança.

Já no Sul a mesma preocupação direciona-se para os sobreiros que, embora apresentem crescimento lento, são uma espécie protegida pelo que apenas podem ser decotados perante autorização pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF).

Embora estas medidas possam ter reduzido substancialmente os incidentes por incêndios, há que ter em conta que eles não se tornaram inexistentes. O mato e a folhagem podem ser suficientes para alimentar eventuais incêndios presentes nas redondezas das linhas.

Por outro lado, o fumo resultante dos incêndios está carregado de partículas de carbono que sendo um elemento condutor altera as propriedades dielétricas do ar. O facto de haver uma modificação das propriedades dielétricas do ar, pode originar diversas situações tais como:

- Contornamento entre fases pelo facto de deixar de existir isolamento
- Contornamento entre uma fase e a vegetação pelo facto de as cinzas, o fumo e o calor libertado pela combustão originarem um canal condutor entre a linha e a vegetação
- Contornamento entre uma fase e o apoio devido as cinzas depositadas dos isoladores eliminarem o isolamento entre ambos

No caso de a chama ser muito alta, o incêndio pode mesmo danificar o cabo condutor ou as balizagens, caso existiram.

Caso não haja destruição de equipamento, este tipo de incidente apenas provoca um corte momentâneo no fluxo energético da linha. No caso de o incêndio se propagar na direcção em que a linha está montada, provoca cortes sucessivos da mesma.

2.4.2. POLUIÇÃO DOS ISOLADORES

Como já foi referido, a função de uma cadeia de isoladores é criar isolamento entre um corpo condutor e um outro corpo. Há que ter em conta que os isoladores de linhas aéreas estão sujeitos a diversas e distintas solicitações, tais como solicitações mecânicas, eléctricas e ambientais, sendo que estas podem comprometer a rigidez dielétrica.

Um dos factores que mais acentua o comprometimento da rigidez ocorre quando os isoladores estão expostos a uma atmosfera considerada poluída. Normalmente, esta é caracterizada como uma atmosfera que propicia a formação de uma camada de sujidade na superfície do isolador

que, quando dissolvida em água, produz uma solução condutora. Um isolador que tenha na sua superfície uma camada deste tipo, quando se encontra em ambiente seco não apresenta nenhuma diferença comportamental que o distinga do isolador limpo.

No entanto, quando um isolador sujo é sujeito a humidade, mas não é removida a camada de sais da superfície do isolador, pode ocorrer a formação de arcos elétricos sobre a superfície, podendo culminar numa disrupção. A sequência de acontecimentos é descrita na Figura 11.

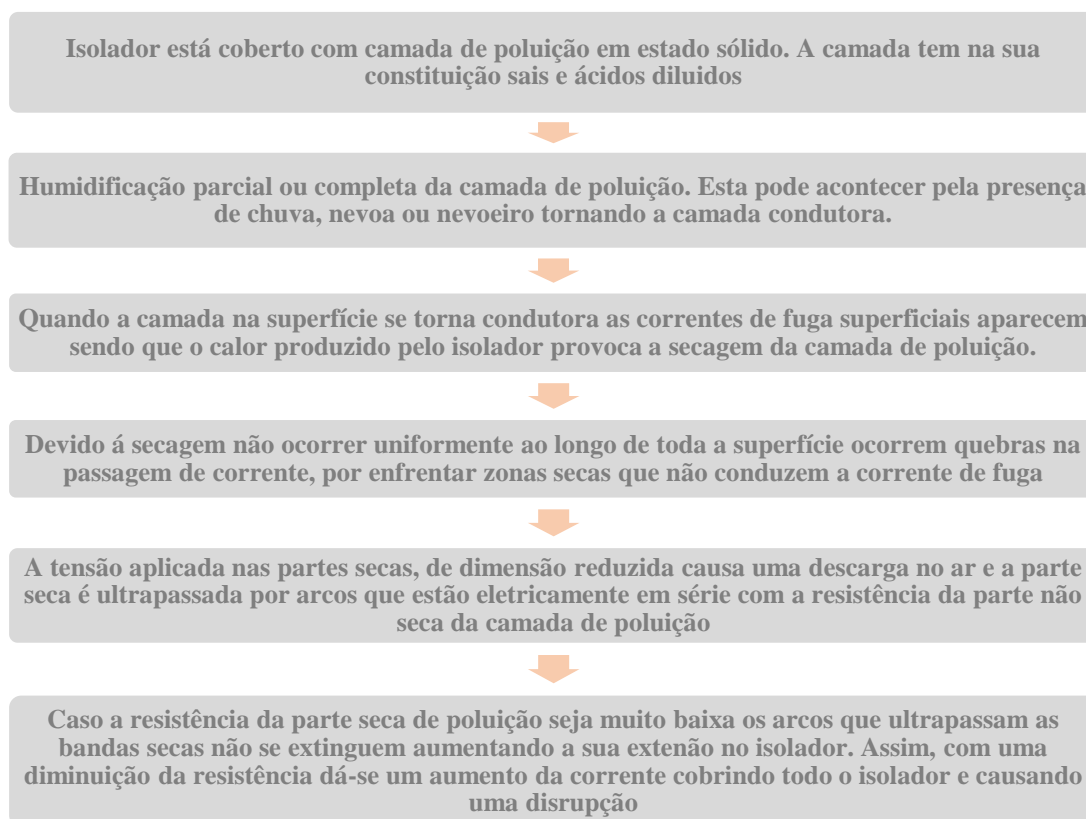


Figura 11 - Fenómeno de contornamento de isolador poluído

Há que ter em conta que os arcos que se formam geram ozonos que sendo um agente oxidante é responsável pela corrosão elétrica nos isoladores. O ozono é um gás ligeiramente azulado, de cheiro aliáceo, constituído por três átomos de oxigênio, e que se desenvolve sob a influência das descargas elétricas.

Com o objetivo de evitar os contornamentos das cadeias, instalaram-se em zonas consideradas críticas isoladoras antipoluição os quais são constituídos por uma campânula de cerâmica ou vidro que apresentam uma linha de fuga superior, dificultando o aparecimento das correntes de fuga.

Para criar uma linha de fuga superior é necessário criar ranhuras maiores nos isoladores. No entanto, esta constituição dificulta a lavagem, sendo esta a medida adotada para combater o problema da poluição nos isoladores e evitar incidentes na rede, mesmo representando custos elevados.

De forma a diminuir a manutenção e conseqüentemente os custos associados, passaram a ser instalados isoladores compósitos. Os isoladores compósitos, referidos no tópico relativo a elementos da rede, consistem, tal como mostra a Figura 12, numa vara de fibra de vidro, revestimento com camada de silicone e acoplamentos que ligam à vara nos dois extremos. Uma das características que distingue este tipo de isoladores dos restantes é o facto de estes terem propriedades hidrofóbicas, ou sejam, são capazes de repelir a água evitando a geração de zonas que possa conduzir correntes de fuga.

Há que ter em conta que os isoladores são elementos fundamentais para o bom funcionamento da RNT. Relativamente aos isoladores compósitos não existe histórico que assegure a confiança dos mesmos, pelo que é necessário implementar alternativas de monitorização de *performance*.

No caso dos isoladores de suspensão e de amarração, estes estão sujeitos a uma carga que depende do peso e da tensão do condutor podendo o vento e gelo imporem cargas adicionais. Podem ainda aparecer cargas transitórias como a torção, as vibrações, os movimentos, os impactos ou mesmo o vandalismo.



Figura 12 - Isolador compósito

2.4.3. CEGONHAS

Embora a cegonha branca seja uma espécie que já esteve em vias de extinção, atualmente é cada vez mais abundante em Portugal. Antigamente, estas aves migratórias utilizavam as torres das igrejas e as chaminés mais altas para construir os seus ninhos. Desde há alguns anos, as cegonhas optam por construir o seu ninho nos apoios uma vez que, grande parte destes apoios, estão implementados em locais perto de zonas onde podem facilmente encontrar alimento. Os postes são também locais silenciosos por não haver perturbação como acontecia com os sinos das igrejas.

Com o crescimento exponencial do número de cegonhas foi notório o aumento da quantidade de ninhos nos apoios ao longo da RNT. No entanto, rapidamente foi possível perceber que a presença da espécie na proximidade dos apoios estava relacionada com falhas das linhas. Foi então que passou a fazer sentido integrar os incidentes causados por cegonhas naquelas que são as principais causas de distúrbios na rede.

Seis anos depois de ter sido avaliada como "Espécie quase ameaçada", a cegonha-branca foi catalogada em 1994 como "Pouco preocupante" pela União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN) (ICNF, 2016).

A causa principal das falhas de linha devido às cegonhas nos apoios da RNT é o excremento do pássaro, também conhecido por "jet stream", que polui o isolador de tal forma que ele perde as suas características isolantes. No entanto, mesmo sem tocar nos isoladores, o jato de excremento pode também ser responsável por provocar um arco elétrico ao longo da cadeia.

Além disto, as falhas podem ocorrer devido a gravetos, material de que os ninhos são construídos, que podem cair perto dos isoladores, provocando a falha da linha. Assim, a posição do ninho no apoio é o aspeto chave para minimização deste problema.

No entanto, a solução não poderá passar pela remoção ou destruição de ninhos devido à situação de reprodução das espécies.

Como alternativa são montadas plataformas, também designadas de cestos, destinadas ao suporte destes mesmos ninhos. Estes são colocados em locais do apoio em que não seja crítica a presença dos mesmos. Por vezes, transferir os ninhos para outro local com condições idênticas. No entanto, esta alternativa não é fácil dado que os ninhos de cegonha podem atingir um metro de diâmetro e quase 200 quilos de peso.

São ainda instalados molinetes destinados a impedir que a cegonha permaneça e nidifique junto do ponto mais crítico, os isoladores.

Estas molinetes são formadas por três pás que rodam com a ação do vento. Embora esta estratégia tenha resultados muito satisfatórios, verifica-se que por vezes, as cegonhas conseguem contornar este acessório. Enquanto uma cegonha segura as pás e evita que rodem outra encarrega-se de construir o ninho. De forma a combater esta estratégia existem

atualmente equipamentos deste tipo, mas que possuem um pequeno motor, de forma a dificultar esta travagem por parte das aves.

Os dados confirmam que a aceitação destes dispositivos por parte das cegonhas foi cerca de 75%.

Também na tentativa de dispersar as cegonhas, instalaram-se dispositivos que emitem um sinal sonoro com uma frequência capaz de afastar estas aves. No entanto, devido aos elevados custos e reduzidos resultados esta metodologia não foi adotada. Tem sido adotada também outras medidas como é caso de placas vibratório e pequenas descargas elétricas não prejudiciais às aves.

O número de ninhos de cegonhas brancas, em Portugal, aumentou cerca de 50% na última década, estando-se mesmo a tornar preocupante.

2.4.4. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas elétricas, associadas a trovoada, são manifestações extremas da instabilidade atmosférica e um dos fenómenos meteorológicos mais devastadores.

A trovoada é caracterizada pela ocorrência de relâmpagos, que são a luz que resulta da incandescência do ar, e de trovões que resultam da expansão brusca do ar.

As descargas elétricas atmosféricas têm muitas vezes correntes elétricas com intensidades da ordem de 100 kA e temperaturas da ordem de 30000°C, provocando anualmente várias dezenas de mortes em todo o mundo. Estas não são habitualmente divulgadas porque ocorrem de uma forma isolada e em diferentes partes do globo (IPMA, 2016).

As descargas atmosféricas representam a maior causa de interrupções na Rede Nacional de Transporte, afetando maioritariamente as linhas que se encontram instaladas em zonas com índice ceráunico considerável, podendo ter impactos significativos.

2.4.4.1. NUVENS DE DESCARGAS

Sabe-se, atualmente, que as nuvens de trovoada, geralmente *Cumulus Nimbus*, são formadas na parte inferior por gotas de água e na parte superior por partículas de gelo. A base desta nuvem poderá ter dezenas de quilómetros quadrados situando-se a uma altura média de dois quilómetros relativamente à superfície terrestre. Quanto ao seu desenvolvimento vertical esta

varia normalmente entre os 10 e 15 quilómetros, sendo que pode conter uma massa com algumas centenas de milhares de toneladas.

Na formação da nuvem estão envolvidas fortes correntes de ar, ascendentes e descendentes, devido à elevada diferença de temperatura existente entre a base e o topo da nuvem. Estas correntes de ar podem alcançar 20 m/s provocando a separação de parte das gotículas de água existentes. À medida que estas vão subindo transformam-se em cristais de gelo que, ao colidirem, originam cargas elétricas.

Devido ao peso das gotículas de água, negativamente carregadas, estas tendem a situar-se na base da nuvem, enquanto as cargas positivas se localizam na parte superior da nuvem. No entanto há que ter em conta que as cargas não se encontram perfeitamente distribuídas pelo que se nota a existência de cargas positivas na base da nuvem, como se pode verificar na Figura 13, fenómeno para o qual ainda não se encontrou justificação (Society & Committee, 2013).

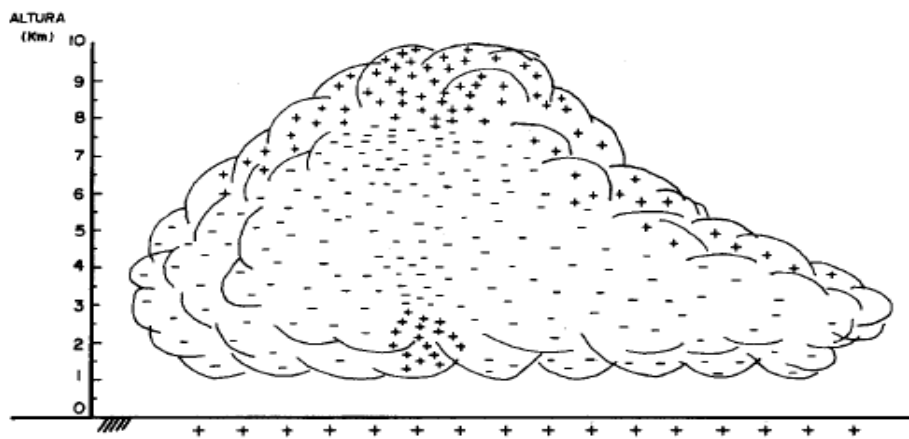


Figura 13 - Nuvem de descarga

Tanto a superfície terrestre como a parte superior da estratosfera (entre os 12 e os 50 km de altura a partir do solo) são consideradas bons condutores pelo que se comportam como condensadores de grandes dimensões. O ar desempenha assim, o papel de dielétrico.

Pelo facto de o dielétrico conter iões, poeira e gotículas de vapor de água, não se comporta como um dielétrico perfeito fazendo com que os iões positivos tendam a deslocar-se em direção à superfície terrestre. Tal acontece devido ao campo elétrico gerado enquanto os iões negativos seguem um trajeto oposto.

Com o elevado valor de corrente que se gera seriam necessários apenas 10 minutos para que todas as cargas à superfície da terra fossem neutralizadas. Assim, é necessário que o nível de cargas seja repostado para manter constante o seu potencial. Esta é a função das descargas atmosféricas.

2.4.4.2. DESENVOLVIMENTO DE UMA DESCARGA ATMOSFÉRICA

Quando se verifica a aproximação de uma nuvem de trovoadas, o campo elétrico do solo começa a inverter-se e a aumentar devido às cargas negativas existentes na parte inferior da nuvem. Quando o valor do campo elétrico é suficientemente elevado, reúnem-se as condições para uma descarga atmosférica. Existem, no entanto, algumas condições que podem facilitar o desencadeamento de descargas atmosféricas, como acontece quando se verifica irregularidade do terreno. Estas podem ser naturais (montanhas) ou artificiais (torres) criando então o efeito de ponta que provoca um aumento considerável da intensidade do campo elétrico, favorecendo a incidência da descarga nesse mesmo local.

Quando existe um valor suficientemente elevado de campo elétrico dá-se a transferência de potencial através do ar, chamado de traçador. Este pode ser descrito como uma pré-descarga podendo ter origem tanto na parte inferior da nuvem como na superfície do solo, em direção ao sol ou à nuvem, respetivamente. Este traçador é identificado por ser pouco luminoso.

2.4.4.3. SENTIDO E POLARIDADE DA DESCARGA

Dependendo da direção em que a carga se desenvolve e se a carga é negativa ou positiva existem quatro tipos diferentes de descargas atmosféricas.

A sua classificação pode ser conseguida tendo em conta o sentido do desenvolvimento do traçador acima descrito. Assim, podem ser classificadas como:

- Descargas ascendentes – Desenvolvimento do traçador desde o solo até à nuvem
- Descarga descendente – Desenvolvimento do traçador desde a nuvem até ao solo

As descargas que habitualmente ocorrem são maioritariamente descendentes. Para que se desencadeie uma descarga ascendente é necessário que exista um elemento saliente, pelo que normalmente ocorrem em zonas montanhosas.

No que diz respeito à polaridade, as descargas são classificadas como:

- Descargas positivas – Cargas positivas existentes na nuvem são descarregadas para o solo
- Descargas negativas – Cargas negativas existentes na nuvem são descarregadas para o solo

De acordo com as estatísticas, cerca de 80% a 90% das descargas são negativas em regiões de clima temperado. Assim sendo, e pelo facto de Portugal se localizar geograficamente num clima considerado temperado, a maior parte das descargas atmosféricas são do tipo negativo descendente.

2.4.4.4. TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas com maior impacto para o ser humano são as descargas que com origem na nuvem e que atingem o solo, ou seja, uma descarga do tipo nuvem – solo, e vice-versa. Geralmente, este tipo de descarga tem origem no centro de cargas negativas mais baixas da nuvem, transportando a carga negativa para a terra. Normalmente, as descargas desencadeadas junto do centro de cargas positivas acontecem quando a tempestade já se encontra na fase de dissipação.

Tal acontece pelo facto das cargas mais baixas se anularem aquando da ocorrência de descargas anteriores entre o topo da nuvem (cargas positivas) e a parte inferior da nuvem (cargas negativas). Quando se dá uma descarga entre a zona de cargas mais baixa da nuvem (cargas positivas) e a terra, estas serão transportadas à terra.

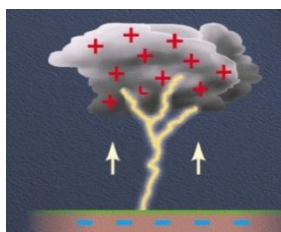


Figura 14 - Descarga positivas descendente e ascendente

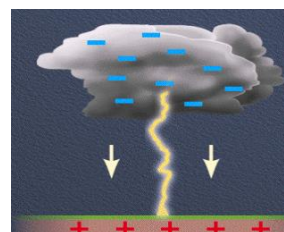
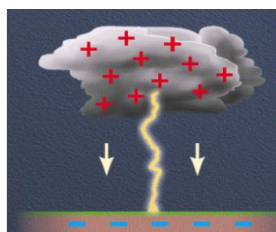


Figura 15 - Descarga negativa descendente e ascendente

As descargas ascendentes não conseguem, na maioria dos casos, neutralizar toda a carga da nuvem e podem ocorrer no mesmo local, ou locais derivados dele, outras descargas múltiplas. Embora exista em média 3 ou 4 descargas deste tipo, estas podem atingir as 30 ou 40 descargas. Uma descarga à terra é denominada “stroke” enquanto um conjunto de strokes de uma única descarga é denominado “flash”. Entre strokes e após o último tem-se uma corrente de baixa intensidade e de longa duração.

As descargas negativas descendentes, apresentadas na Figura 14 (Electric, 2016), representam a maioria das descargas ao solo, aproximadamente 80 a 90% (INEO, 2016). As descargas positivas descendentes, mostrados na Figura 15 (Electric, 2016) ocorrem em menos de 10% dos casos. Já as descargas positivas e negativas ascendentes têm ocorrência característica somente com a presença de estruturas ou de objetos com mais de 100 metros, ou situados no alto de montanhas.

Existem, no entanto, outro tipo de descargas que não atingem o solo como acontece com as do tipo intra-nuvem. As descargas deste tipo ocorrem dentro de uma única nuvem sendo que apresentam menor perigosidade para o Homem. Apenas os pilotos de aeronaves recebem treino especial para o caso de enfrentarem uma nuvem de tempestade durante o voo e de serem atingidos por este tipo de descarga elétrica, embora os aviões estejam protegidos com para-raios.

Os relâmpagos gerados por este tipo de raios são facilmente visíveis e correspondem a cerca de 70% do número total de descargas atmosféricas que ocorrem no planeta. O fato de estarem escondidos pelas nuvens impossibilita que se conheça mais detalhadamente o fenômeno da sua formação.

2.4.5. TIPOS DE FALHAS DE ISOLAMENTO

As descargas atmosféricas que atingem as linhas aéreas podem levar a incidentes essencialmente por dois fenômenos distintos:

- Falha de Blindagem (*Shielding Failure*)
- Contornamento inverso (*Back Flashover*)

Os dois tipos de contornamentos, direto e inverso relacionam-se de acordo com as equações 2 e 3, apresentadas abaixo.

$$\textit{Total Flashover Rate} = \textit{Back Flashover Rate} + \textit{Shielding Failure Flashover Rate} \quad (2)$$

$$FOR = BFR + SFFOR \quad (3)$$

A falha de blindagem dá-se quando uma descarga atmosférica atinge o cabo condutor levando ao contornamento das cadeias de isoladores, também designado com o contornamento direto.

Por outro lado, o contornamento inverso acontece quando uma descarga atinge o cabo de guarda ou o poste. A elevação do potencial originada pela descarga, pode mostrar-se suficiente para aumentar a tensão podendo a cadeia de isoladores não ser capaz de suportar.

2.4.5.1. CONTORNAMENTO INVERSO

O contornamento inverso está relacionado com as descargas atmosféricas que atingem diretamente o cabo de guarda ou um apoio. Diversos fatores têm influência neste fenómeno, sendo a resistência do apoio e a resistividade do solo dois dos mais relevantes

Uma descarga que incida sobre um cabo de guarda irá originar ondas de corrente e conseqüentemente de tensão que se propagam ao longo desse condutor em sentidos opostos, em direção aos apoios, criando uma elevação de potencial, quer do cabo de terra, quer do apoio (Martinez & Castro-Aranda, 2005). No caso de a elevação do potencial ser capaz de ultrapassar a capacidade de isolamento, cria-se um caminho alternativo de passagem de corrente do apoio para o cabo condutor. Neste momento, ocorre o contornamento inverso sendo que começa a haver passagem de corrente no sentido do condutor para o apoio. Este fenómeno só termina quando os disjuntores nos extremos da linha se abrem. Normalmente os aparelhos de proteção abrem automaticamente e fecham imediatamente, para que o defeito seja extinto. No caso de o defeito não ser extinto, existe uma nova abertura definitiva das proteções, até um comando contrário ou intervenção das entidades responsáveis.

Por outro lado, caso a elevação do potencial não seja suficiente para romper o isolamento tudo regressa à normalidade sem que aconteça algum incidente na linha.

Quando uma descarga atinge um cabo de guarda o maior nível de tensão regista-se no ponto de incidência e diminui com o aumento da distância.

A taxa de contornamento inverso (BFR – *Back Flashovers Rate*) representa o número de descargas atmosféricas por 100 km de linha e por ano, que quando incidem num cabo de guarda ou num apoio causam um contornamento da cadeia de isoladores (Liu et al., 2016).

2.4.5.2. CONTORNAMENTO DIRETO

O contornamento direto acontece quando uma descarga atmosférica não intercepta o cabo de guarda e atinge diretamente o cabo condutor (Martinez & Castro-Aranda, 2005).

Neste caso, a corrente de descarga ao incidir no cabo condutor divide-se em duas ondas de corrente com amplitudes semelhantes assim como duas ondas de tensão que as acompanham. O que acontece é que normalmente a sobretensão é suficiente para provocar uma falha de isolamento favorecendo um curto-circuito entre fase e terra. Embora os cabos de guardas sejam utilizados de forma a combater este fenómeno ele continua a acontecer principalmente devido a descargas que embora de baixa amplitude são suficientes para romper o isolamento existente.

A taxa de *Shielding Failure Flashover Rate* – SFFOR corresponde ao número de descargas por 100 km e por ano em que a descarga atmosférica atinge diretamente o cabo condutor (Liu et al., 2016).

2.4.6. SELEÇÃO DE CORREDORES

O corredor corresponde a uma faixa de terreno com 400 metros de largura ao longo do qual é possível definir o traçado da linha. Os corredores são condicionados pela presença de obstáculos, quer sejam 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).

Nos troços em que o conjunto dos elementos restritivos não é significativo, é selecionado o corredor que se revele mais vantajoso em termos técnicos, económicos e ambientais.

Nos treços que apresentam maior grau de restrição, são selecionados dois ou mais corredores alternativos, sobre os quais e, em igualdade de circunstâncias, recairá o Estudo de Impacte Ambiental, tendo em vista uma ponderação sobre qual é o mais favorável (REN, 2008).

2.5. PERFORMANCE DAS LINHAS

No decorrer do trabalho mostrou-se necessário reunir algumas das práticas mais utilizadas a nível mundial capazes de melhorar o desempenho das linhas face a descargas atmosféricas. A utilização simultânea de várias medidas é possível e melhora consideravelmente a *performance* das mesmas.

2.5.1. ESPIAS E CONTRAPESOS

As medidas de utilização de espias e contrapesos, ilustrados na Figura 16, têm com objetivo a distribuição, pela maior área possível, da corrente de descarga atmosférica que incide num cabo de guarda ou num apoio. Estas têm como objetivo reduzir as correntes de sobretensões a que as cadeias de isoladores ficam sujeitas, na tentativa de evitar a ocorrência de defeitos.

No entanto, devido à dificuldade implícita à sua aplicação, no que diz respeito às linhas MAT existentes em território nacional, esta medida não é muito utilizada pelo que não é dado muito ênfase no presente estudo (REN, 2016a).

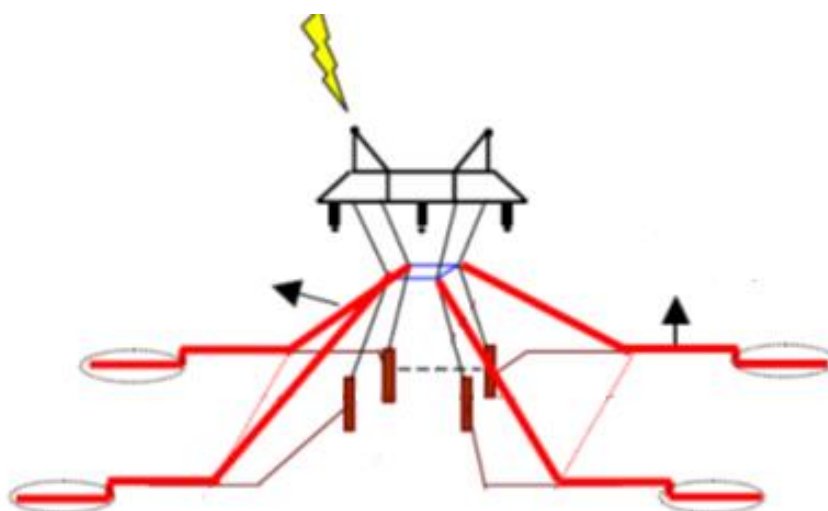


Figura 16 - Espias e contrapesos

2.5.2. CABOS DE GUARDA E CADEIAS EM "V"

O posicionamento do cabo de guarda assim como das cadeias de isoladores pode ter impactos consideráveis pelo facto de aumentarem o ângulo de proteção aos cabos condutores. Uma outra medida é a instalação de cabos de guarda. Embora atualmente grande parte das linhas já tenha dois cabos de guarda acontece, que principalmente nas linhas mais antigas existia apenas um cabo com esta função. Os cabos de guarda são um dos principais fatores relacionados com o desempenho das linhas de transmissão face a descargas atmosféricas.

Estas medidas são utilizadas mundialmente em apoios e troços de linha em que a taxa de incidentes por falha de blindagem é elevada. Estas, por aumentarem significativamente a cobertura das fases pelos cabos de guarda, melhoram significativamente a blindagem das linhas, como se pode ver na Figura 17.

Embora fosse expectável que esta medida em nada influenciasse o número de contornamentos inversos, a partir de alguns estudos, pode concluir-se que o acoplamento entre cabos de guarda e fase pode ser suficiente para se verificar uma redução dos mesmos.

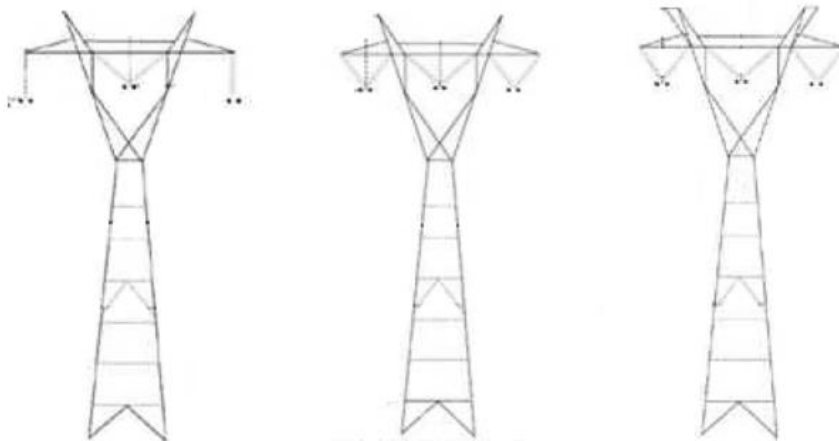


Figura 17 - Cadeias de isoladores em "V"

2.5.3. AUMENTO DO NÍVEL DE ISOLAMENTO

O aumento do nível de isolamento das cadeias de isoladores é uma das soluções mais utilizadas para melhorar o desempenho das linhas de MAT mediante descargas atmosféricas. Para que uma melhoria seja notável o aumento do nível de isolamento deve ser considerável.

No que diz respeito às linhas que se encontram em serviço, a REN considera que não é exequível um aumento do nível de isolamento em mais do que 2 isoladores de vidro por questões de isolamento e distâncias de separação.

No que diz respeito à questão de contornamentos é expectável que qualquer aumento do nível de isolamento se reflita numa maior redução dos contornamentos inversos do que dos contornamentos diretos.

Sabe-se que o número de incidentes em linhas de 400kV com origem em descargas atmosféricas é bastante menor que em linhas de 150kV. Tal deve-se precisamente à distância de isolamento. A distância de isolamento é tanto maior quanto maior o número de isoladores que constituem a cadeia. Normalmente, distâncias de isolamento maiores implicam um arco elétrico maior, pelo que o número de defeitos é mais reduzido. Desta forma, percebe-se que, no caso de se aumentarem as cadeias de isoladores e consequentemente a distância de isolamento, é possível melhorar a *performance* da rede.

2.5.4. MELHORIA DA RESISTÊNCIAS DE TERRA

A redução da resistência de terra dos apoios é uma das soluções mais comuns para melhorar o desempenho de linhas aéreas de transmissão face a descargas atmosféricas. Desta forma, é possível reduzir as sobretensões a que as cadeias de isoladores ficam sujeitas quando uma descarga atmosférica atinge os cabos de guarda ou os apoios. No entanto, há que ter em conta que esta medida nada influencia as descargas que incidem diretamente nas fases.(REN, 2016a)

O aumento do número de elérodos verticais pode ser consideravelmente diminuído com a utilização de mais do que um eléctrodo de terra. Deve, no entanto, garantir-se que estes mesmos elérodos se encontram devidamente afastados de forma a evitar os efeitos de resistência mútua. Sabe-se, no entanto, que a relação do número de elérodos e a resistência de terra varia de forma exponencial, sendo que após um determinado número de elérodos a resistência de terra diminui de forma pouco significativa.

Por outro lado, de forma a diminuir a resistência de terra, pode fazer-se variar o comprimento e o diâmetro dos elérodos em questão. Sabe-se que existe uma maior influência com o aumento do comprimento dos elérodos do que com o seu diâmetro. Esta situação ocorre, pois, a superfície de contacto entre terra e eléctrodo torna-se substancialmente maior. Uma

forma de contornar esta situação é utilizar mais do que um eletrodo, ou seja, colocar um eletrodo por cima do outro devidamente unido.

Existe ainda uma outra alternativa que passa por aumentar a profundidade de enterramento dos eletrodos. Esta solução mostra-se particularmente viável em situações cujas camadas inferiores do solo apresentam uma menor resistividade, refletindo-se num valor de resistência de terra menor.

Por outro lado, pode ainda atuar-se ao nível do próprio solo, ou seja, proceder-se ao seu tratamento químico. A utilização de algumas substâncias como o sulfato de cobre, o magnésio e o cloreto de sódio levam a uma diminuição da resistência de terra por aumentarem a condutividade do solo que envolve o eletrodo de terra. No entanto, deve-se ter em conta que este tipo de materiais apresentam um nível considerável de poluentes, inviabilizando muitas vezes a sua utilização.

Pode então proceder-se à adição de água salgada ou apenas sal provocando uma diminuição da resistividade do solo e por sua vez da resistência de terra. No entanto, esta solução exige alguns cuidados de supervisão. Primeiramente há que assegurar que não exista contacto destas substâncias com os eletrodos de forma a evitar um efeito corrosivo dos mesmos. Por outro lado, deve fazer-se um controlo dos valores da resistência de terra, pois devido à dispersão do sal no solo, este valor tende a aumentar.

Para evitar um tratamento químico pode utilizar-se um tratamento físico. Aqui, envolve-se o eletrodo de terra com um material condutor que apresente uma resistividade reduzida, como acontece com a bentonite. Esta é a designação dada a uma mistura de argilas geralmente impura, de grãos muito finos. Quando à bentonite é adicionada água esta incha e forma-se um material de baixa resistência de terra, mantendo constante o valor da resistência durante longos períodos de seca, devendo do entanto ser mantida húmida sempre que possível. A vantagem deste material é que além de não ser poluente não se decompõe nem requer manutenção com o passar do tempo.

2.5.5. DESCARREGADORES DE SOBRETENSÃO

Como se pode concluir pelas medidas anteriormente apresentadas, existem diversas formas de melhorar a *performance* das linhas tanto numa linha em fase de projeto como linhas em

serviço. Uma das formas mais eficazes de o fazer é utilizar descarregadores de sobretensão para proteção face a descargas atmosféricas de forma a garantir a fiabilidade da RNT.

A escolha ideal dos descarregadores de sobretensão de linhas, principalmente no que diz respeito à quantidade de equipamentos a instalar e respetiva localização, pode ter um impacto significativo no sucesso do sistema. A instalação de descarregadores de sobretensão em todos os apoios de uma a linha, bem como em cada fase, é capaz de garantir a proteção total contra descargas atmosféricas, pelo que é uma das medidas mais eficazes.

No entanto, por se mostrar uma medida com elevado custo, muitas vezes não é viável pelo que é necessário proceder a estudos de forma a obter a solução ideal tendo por base a relação o custo-benefício. Assim, opta-se por simular configurações de forma a instalar equipamentos em apenas alguns apoios ou fases. Normalmente, sugere-se que sejam instalados este tipo de aparelhos em postes que reúnam as principais características que normalmente estão associadas à suscetibilidade a descargas atmosféricas, como é o caso da cota e da resistência de terra.

Estes equipamentos normalmente são ligados em paralelo com o equipamento a ser protegido para desviar a corrente de descarga, neste caso as cadeias de isoladores, que limitam as sobretensões e constituem um caminho alternativo, apresentando uma baixa resistência, favorecendo a descarga da sobretensão para a terra.

Assim, o descarregador de sobretensões deve comportar-se como um circuito aberto durante o funcionamento normal da rede, limitar as sobretensões mantendo a segurança do sistema e voltar ao seu normal funcionamento assim que as sobretensões transitórias sejam extintas. Assim, este equipamento deve apresentar uma resistência reduzida durante a presença da sobretensão e por outro lado uma resistência elevada na ausência de sobretensões.

Os primeiros descarregadores de sobretensão eram constituídos por explosores que estavam ligados em série a discos constituídos por carboneto de silício (SiC). Os explosores eram responsáveis por manter uma impediência elevada durante o funcionamento normal do sistema enquanto os discos de SiC impediam o fluxo de corrente que se seguia à disrupção.

Atualmente os DST utilizam varistores de óxido de metal (MO). Na verdade, estes são constituídos por pó de óxido de zinco (ZnO) e óxidos de outros metais unidos num molde

cerâmico. Pelo facto de as suas características dispensarem a utilização de explosores, o comportamento elétrico é determinado pelos blocos de óxido de metal.

Um descarregador é capaz de extinguir uma sobretensão através dos blocos de óxido de metal que podem reduzir a sua própria resistência em nano segundos. Em condições normais de funcionamento da linha, quando não há nenhuma sobretensão, uma elevada resistência dos blocos de óxido de metal (blocos MO) faz com que se comportem como isoladores.

Existem dois tipos de descarregadores, um não utiliza explosores pois está ligado diretamente aos cabos condutor, tendo a vantagem de absorver mais rapidamente a energia resultante da sobretensão. O outro inclui explosores que são instalados entre o cabo condutor e o descarregador apresentando propriedades isolantes. Este tipo de descarregador atua apenas quando a descarga atmosférica atinge a linha, sendo que não atuam perante sobretensões de manobra. Devido à menor frequência de passagem de corrente, este descarregador tem á partida um tempo de vida útil superior assim como uma maior fiabilidade na operação.

Os descarregadores de sobretensão devem então ser instalados em mais de que uma fase dependendo do valor de resistência de terra.

Para que possa ser feita uma opção acertada dos descarregadores, ilustrados na Figura 18, é necessário ter em consideração alguns parâmetros da linha tais como: tensão de funcionamento, número de circuitos trifásicos, comprimento da linha ou comprimento do vão, tipo de condutor, entre outros.

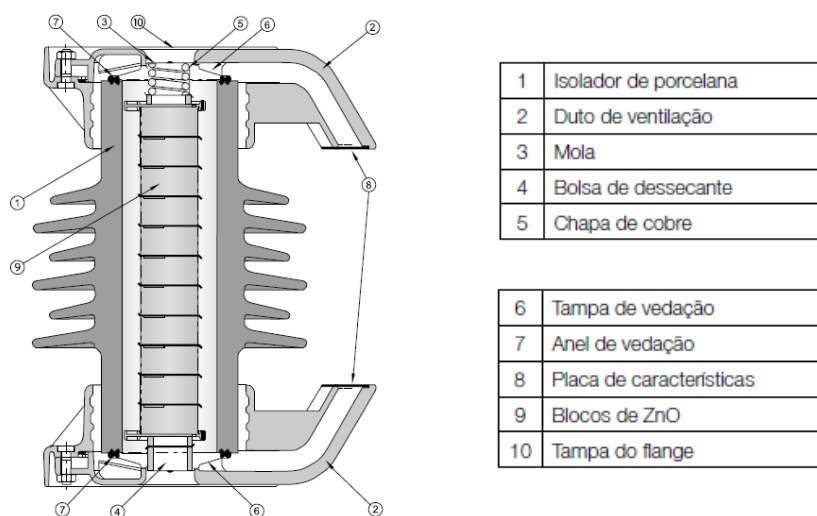


Figura 18 - Descarregador de sobretensão

A escolha de um DST é principalmente feita tendo em conta a tensão eficaz que o dispositivo mencionado consegue suportar continuamente, ou seja, *Maximum Continuous Operation Voltage* (MCOV), obtida através da equação 4.

$$MCOV = 1.1 \times \frac{Vm}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

Deve ainda conhecer-se a resistência de terra e a geometria de cada apoio, a densidade de descargas do local, o índice ceráunico. É conveniente perceber se objetivo da implementação dos equipamentos passa pela redução de interrupções curtas, prevenção de curto-circuitos ou eliminação de fios de terra.

2.6. SÍNTESE

A exploração e manutenção da rede têm sem dúvida impactos significativos no que diz respeito à qualidade de serviço pelo que é necessário, tomar medidas que contornem estes problemas reduzindo as perturbações no sistema. Dos diversos elementos que constituem os ativos de rede destacam-se aqueles que sofrem ou estão diretamente relacionados com os incidentes por descargas atmosféricas. Desta forma, os cabos, os apoios, as cadeias de isoladores e respetivos isoladores, e os circuitos de terra são os que mais sofre modificações quando se pretende melhorar o comportamento das linhas face a este fenómeno atmosférico.

A tomada de medidas leva a melhorias significativas. No entanto há que ter em conta que com diferentes desempenhos estas acarretam custos distintos. Sabe-se então que a intervenção menos dispendiosa é a melhoria de terras (anel) e as mais dispendiosas passam pela instalação de descarregadores de sobretensões. No entanto, intervenções com custos mais elevados não estão necessariamente associadas a maiores reduções das taxas de incidentes, pelo que deve ter-se em conta a relação custo/benefício de cada intervenção. Note-se ainda que devem ser tidos em conta não só os custos de instalação, mas também os de manutenção. Por exemplo, os descarregadores de sobretensões terão, naturalmente custos de manutenção muito superiores a uma melhoria nos elétrodos de terra.

É possível separar as intervenções a considerar, em dois grupos: troços com predominância de incidentes devidos a falha de blindagem e troços com predominância de incidentes

devidos a contornamentos inversos. No entanto, para ambos, verifica-se que, como seria de esperar, que quanto maior a eficácia da medida de intervenção, menos favorável é a relação custo/benefício. Resumidamente, para os troços com predominância de falha de blindagem, verifica-se a seguinte ordem de mérito nas intervenções – com eficácia crescente e com relação custo/benefício também crescente:

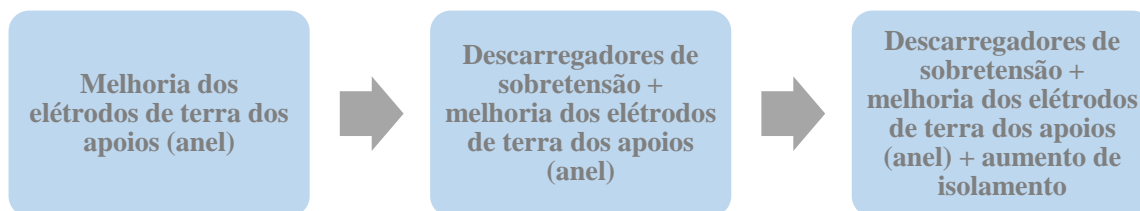


Figura 19 - Ordem de mérito de intervenções para falha de blindagem

Para os troços com predominância de incidentes causados por contornamentos inversos, verifica-se a seguinte ordem de mérito nas intervenções – com eficácia crescente e com relação custo/benefício também crescente:

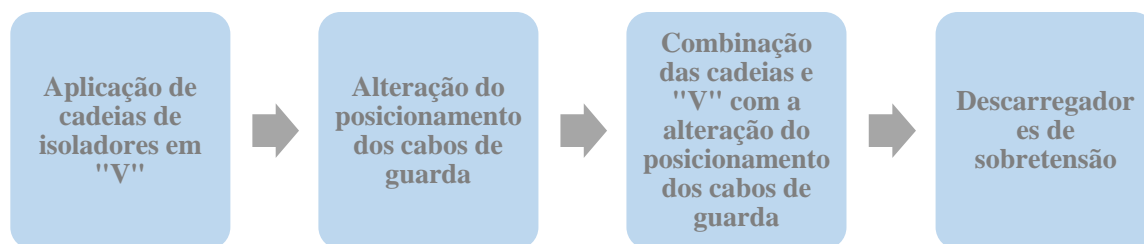


Figura 20 - Ordem de mérito de intervenções para contornamentos inversos.

No que diz respeito a linhas já em serviço as medidas apresentadas são as soluções consideradas mais viáveis. Por outro lado, para linhas em fase de projeto algumas destas medidas acarretam menos custos por serem incluídas na linha nesta altura, mas pode também ter-se em conta a localização da linha, tentando evitar assim os locais mais críticos do território nacional.

3. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA LINHA SINES TUNES

3.1. MEDIDAS IMPLEMENTADAS

A linha Sines Tunes (LSN.TN) era uma linha de 150 kV em circuito duplo com cerca de 116 km. Esta tinha um papel fundamental na rede de transporte por ser uma das que ligava o Algarve aos grandes centros produtores de energia. No entanto, esta linha apresentava um desempenho pouco satisfatório no que diz respeito a descargas atmosféricas, exibindo anualmente um elevado número de interrupções, em ambos os circuitos.

Foi então, desenvolvido pela Labeltec, um estudo que pretendia identificar as razões que desencadeavam a baixa *performance* da linha bem como implementar algumas medidas no sentido de melhorar as condições da mesma. Para além das medidas anteriormente referidas no subcapítulo 2.5, foram utilizadas diferentes metodologias de simulação e variação de parâmetros.

A proposta apresentada no estudo passava primeiramente pela instalação de um segundo cabo de guarda que diminuía assim o número de incidentes por contornamento inverso, ou seja, incidentes originados por descargas diretas ao cabo de guarda.

Seguidamente foi proposta a instalação de no mínimo três isoladores em todas as cadeias desta linha, de modo a aumentar o nível de isolamento. No caso de não haver possibilidade de se aumentar o número referido de isoladores, deveria proceder-se à instalação do maior número possível de equipamentos.

Pelo facto de não ser viável a tomada de medida ao longo de toda a linha, estabeleceu-se que deveria ser dada prioridade ao troço da linha que atravessava a Serra de Monchique, dado que é neste local que se verifica a maior taxa natural de incidentes devido a descargas atmosféricas.

Foi também proposto que se instalassem três descarregadores de sobretensão de modo a proteger totalmente um dos circuitos em todos os apoios que apresentassem resistências de terra superiores a 40Ω . No entanto, era imprescindível o aumento do nível de isolamento dos apoios situados imediatamente a jusante e a montante daqueles que fossem equipados com descarregadores de sobretensões. Para esse fim recomendava-se o acréscimo de, no mínimo três isoladores às cadeias existentes.

Relativamente à metodologia para identificação dos apoios nos quais se deviam instalar os descarregadores de sobretensão, pode dizer-se que o facto de estes terem resistências de terra reduzidas pode ter simplificado a escolha desses apoios. Pelo facto de apenas 5% do número total de apoios apresentarem uma resistência de terra superior a 40Ω , considerou-se que seria adequado proceder à instalação dos equipamentos de acordo com o valor em questão.

Assim, tendo como base este estudo, foram concretizadas algumas das propostas levando a que, em 2005, se instalasse o segundo cabo de guarda na linha. Foram ainda colocados descarregadores de sobretensão em cinco apoios, um por fase, perfazendo quinze equipamentos.

3.2. ANÁLISE DE RESULTADOS APÓS IMPLEMENTAÇÃO

Desde a implementação das medidas, não se tinha procedido a nenhum estudo de forma a perceber os resultados efetivamente obtidos com a modificação da linha. Assim, e tendo em conta o estudo em questão, considerou-se pertinente fazer uma análise do único caso prático da adoção de medidas para melhoria da linha.

Procedeu-se, por isso, uma análise tendo como base o número de incidentes registados de 2001 a 2005 (ocorridos antes da modificação da linha) e após 2005 (depois da modificação da linha).

No entanto, há que ter em conta que a linha em questão, com dois ternos, Sines-Tunes 1 (LSN.TN1) e Sines-Tunes 2 (LSN.TN2) foi desmontada no ano de 2006, sendo substituída por outras linhas que se encontram instaladas no mesmo corredor, tal como mostrado na Figura 21.

Pelo facto de as linhas serem instaladas no mesmo local, faz com que seja possível dar continuidade ao estudo. Para além da localização das linhas ser a mesma, também o nível de tensão se manteve inalterável. De facto, esta alteração nas linhas deu-se por terem sido incorporadas na rede as subestações de Sabóia e Portimão. A evolução da linha deu-se conforme representado no diagrama:

De forma a perceber a eficácia das medidas adotadas procedeu-se ao levantamento dos dados das linhas durante os 11 anos de histórico existente.

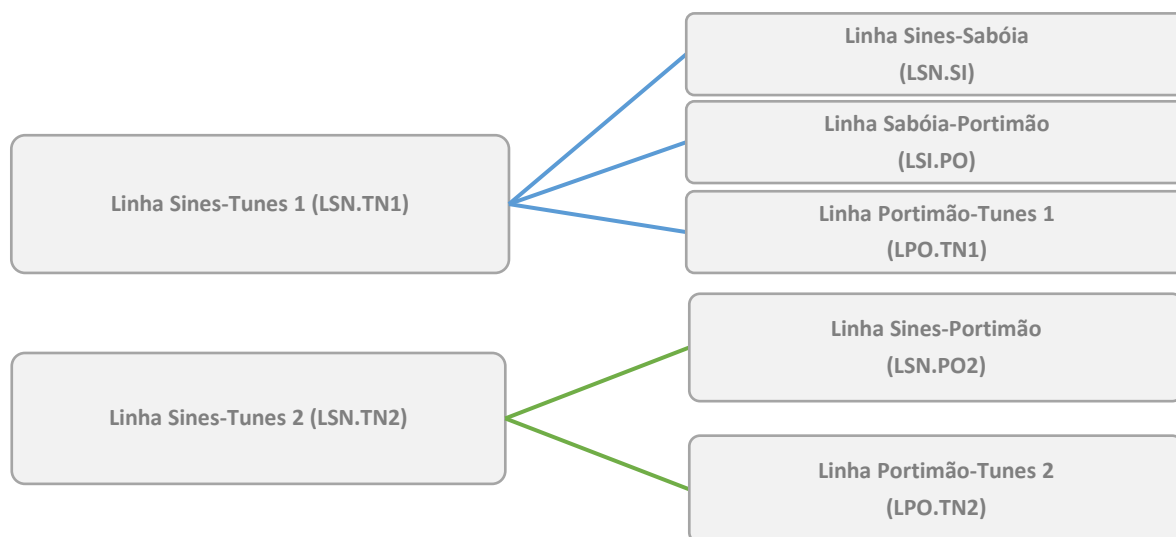


Figura 21 - Evolução da linha Sines Tunes

Na Tabela 5 estão representados os resultados referentes ao terno 2 da LSN.TN que foi substituída pelas linhas LSN.PO2 e LPO.TN2.

Os dados são extrapolados para o terno 1, por se verificar que normalmente, pelo facto de as linhas serem duplas, o incidente se refletir em ambos os ternos. Na tabela, a linha a vermelho representa a instalação do segundo cabo de guarda e dos descarregadores de sobretensão, sendo que simboliza a modificação da linha. Por outro lado, a linha azul representa o ano de transição em que a Linha Sines Tunes é desmontada, sendo substituída pelas linhas atualmente existentes.

Tabela 5 - Número de descargas por ano, na linha Sines Tunes

ANO	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	T
LSN.TN2	4	3	5	5	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
LSN.PO2	-	-	-	-	-	-	0	1	0	2	0	0	1	0	1	0	5
LPO.TN2	-	-	-	-	-	-	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	4
CORREDOR	4	3	5	5	1	3	1	2	0	2	0	1	1	0	2	0	30

O gráfico da Figura 22 permite perceber mais facilmente o comportamento das linhas antes e após a implementação das medidas. A linha a preto representa a variação linear do comportamento da linha, sendo que facilmente se percebe que os números de incidentes têm tendido para um valor próximo de zero.

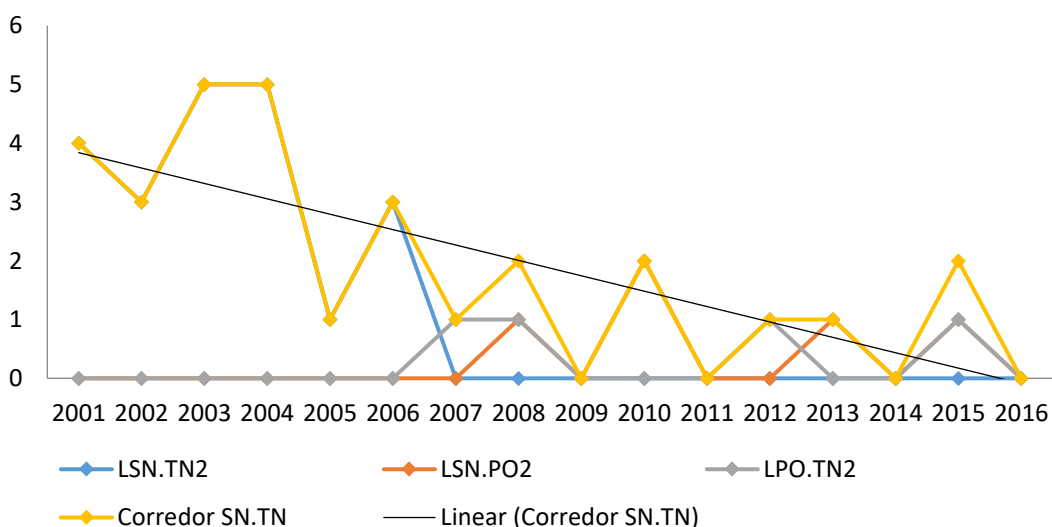


Figura 22 - Comportamento da linha Sines Tunes após adoção de medidas

Através da análise anterior foi possível concluir que as medidas adotadas têm levado a resultados bastante positivos, evidenciado uma redução significativa de defeitos na linha, obtendo-se uma melhoria da *performance* de aproximadamente 57%.

A atuação nesta linha e respetiva análise representam um forte ponto de partida quando visto como uma confirmação daqueles que podem ser os resultados na melhoria das linhas, quando implementadas as medidas adequadas. No entanto, há que ter noção que estas medidas além de elevados custos, acarretam também algum transtorno por exigir que as linhas em manutenção sejam colocadas fora de serviço. Aquando da exploração da rede, o ideal é que estas permaneçam indisponível o menor intervalo de tempo possível.

3.3. ANÁLISE DE INCIDENTES

3.3.1. EM LINHAS DE DOIS TERNOS E LINHAS DUPLAS

Devido à tipologia da linha, à disponibilidade de corredores e a questões financeiras, os apoios muitas vezes comportam dois ternos de uma linha ou mesmo duas linhas distintas.

Uma linha de dois ternos, é uma linha com dois grupos de três condutores montados nos mesmos apoios e ligados eletricamente formando um circuito trifásico. Uma linha dupla é uma linha aérea compreendendo dois circuitos eventualmente de tensões e frequências diferentes instalados no mesmo apoio.

O que acontece durante uma descarga atmosférica é que independentemente de onde esta incida, há uma elevação tão grande de potencial que, muitas vezes, as consequências não se limitam a um dos ternos. Assim, por exemplo, quando uma descarga ocorre no cabo condutor, embora se dê apenas num lado ou mesmo num cabo, acaba por afetar todo os ativos envolventes.

Existe, assim, uma noção pré-definida de que, quando uma descarga atinge uma linha e origina um incidente, ambos os ternos ou ambas as linhas do mesmo apoio sofrem consequências.

De forma a tentar perceber a frequência com que este fenómeno acontece, recorreu-se aos dados de todos dos incidentes registados desde 2001.

As linhas escolhidas para este estudo foram:

- Linha Sines -Tunes 1 // Linha Sines - Tunes 2
- Linha Carrapatelo - Estarreja 2 // Linha Carrapatelo - Mourisco
- Linha Mendoiro - Pedralva 1 // Linha Mendoiro - Pedralva 2

Aquando da escolha das linhas a analisar, teve-se em conta aquelas que ao longo deste estudo obtiveram maior destaque. Assim, a linha Sines Tunes foi uma das linhas de objeto de estudo, pelo facto de se ter feito a análise apresentada no capítulo 4. Como anteriormente referido, além de uma linha com um número considerável de incidentes esta era formada por dois ternos com apoios comuns. Já as restantes linhas foram incluídas por serem das que registam maior número de incidente da RNT, sendo alvo de um estudo mais detalhado nos capítulos que se seguem.

Assim, foi feito um levantamento do registo de todos os incidentes, para cada uma das linhas escolhidas, que apresentavam a mesma data e a mesma hora. Desta forma, pôde concluir-se que se os incidentes tinham lugar na mesma linha e no mesmo momento, logo o incidente era resultante de uma única descarga. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Incidentes em linhas de dois ternos e linhas duplas

LSN.TN1 // LSN.TN2	33%
LCL.EJ2 // LCL.MC	76%
LMDR.PDV1 // LMDR.PDV2	75%

Da análise da Tabela 6 pode verificar-se que o valor é bastante elevado para as linhas LCL.EJ2/LCL.MC e LMDR.PDV1/LMDR.PDV2 sendo que confirma que grande parte dos incidentes se reflete em todos os ativos da rede. Por outro lado, a LSN.TN apresenta um valor consideravelmente menor, podendo estar relacionado com o menor número de anos de histórico. O facto de os incidentes da LSN.TN serem apenas quatro anos coincidindo com a criação do Gestinc e fase experimental pode comprometer os resultados.

Desta forma, pode concluir-se que grande parte dos incidentes numa linha tende a influenciar a que a esta está paralela.

3.3.2. POR FASE

Numa tentativa de tentar perceber o comportamento da rede face ao fenómeno atmosférico em questão, fez-se uma análise dos incidentes verificando qual o tipo de disparo e as fases envolvidas. Os disparos podem ocorrer numa fase, disparos monofásicos, em duas fases, disparos bifásicos, ou nas três em simultâneo, disparos trifásicos.

Numa primeira fase tendo em conta os 316 incidentes georreferenciados registou-se qual ou quais as fases onde tinha ocorrido o disparo sendo que se distribuem como na Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9.

Tabela 7 - Distribuição dos incidentes por fase – LMDR.PDV1

Ano do Incidente	Linha	Fases		
		0	4	8
2011	LMDR.PDV1	1	0	0
2011	LMDR.PDV1	0	1	1
2011	LMDR.PDV1	1	0	0
2011	LMDR.PDV1	1	1	1
2011	LMDR.PDV1	1	1	0
2011	LMDR.PDV1	0	1	0
2012	LMDR.PDV1	1	1	1
2012	LMDR.PDV1	1	0	0
2013	LMDR.PDV1	0	0	1
2013	LMDR.PDV1	0	1	0
2014	LMDR.PDV1	0	1	0
2014	LMDR.PDV1	1	0	0
2015	LMDR.PDV1	1	0	1
2016	LMDR.PDV1	0	1	0
2016	LMDR.PDV1	1	1	1
ANO	LINHA	9	9	6

Tabela 8 - Distribuição dos incidentes por fase – LCL.EJ2

Ano do Incidente	Linha	Fases		
		0	4	8
2002	LCL.EJ2	1	1	0
2014	LCL.EJ2	1	0	1
2014	LCL.EJ2	0	1	1
2014	LCL.EJ2	0	1	0
2014	LCL.EJ2	1	0	1

ANO	LINHA	3	3	3
------------	--------------	----------	----------	----------

Tabela 9 - Distribuição dos incidentes por fase – LAL.RA2

Ano do Incidente	Linha	Fases		
		0	4	8
2001	LAL.RA2	1	0	1
2003	LAL.RA2	0	0	1
2004	LAL.RA2	1	0	0
2004	LAL.RA2	1	0	0
2006	LAL.RA2	0	1	0
2007	LAL.RA2	1	0	0
2007	LAL.RA2	0	1	0
2009	LAL.RA2	1	1	1
2010	LAL.RA2	1	1	0
2011	LAL.RA2	0	1	0
2013	LAL.RA2	0	0	1
2014	LAL.RA2	0	0	1
2015	LAL.RA2	1	1	0
2015	LAL.RA2	1	0	0

ANO	LINHA	8	6	5
------------	--------------	----------	----------	----------

Os resultados gerais encontram-se representados na Figura 23, sendo que a percentagens apresentadas tem variações pouco significativas. Procedeu-se a esta análise por se pensar que o tipo de apoio e a disposição das fases poderia ter alguma influência na incidência de descargas e consequentes incidentes.

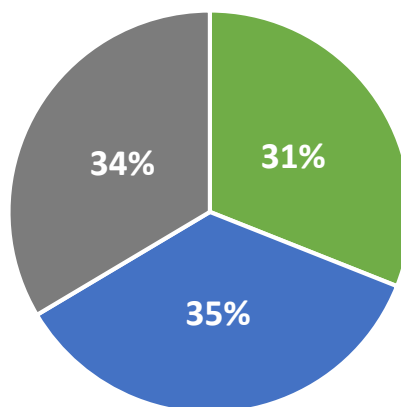


Figura 23 - Distribuição total dos incidentes por fase

No entanto, por não se verificar diferenças significativas dos valores, deram-se os resultados como inconclusivos. Assim, não se deu continuidade ao estudo. Na verdade, muitas vezes, entre apoios dá-se mudança do posicionamento das fases, por questões técnicas embora esta prática tenha vindo a cair em desuso na RNT. Assim, se se pensasse justificável e se procedesse a um estudo, seria necessário ter conhecimento do posicionamento de cada fase em cada vão. Esta análise pode ser pertinente no caso da instalação de descarregadores de sobretensão, se for possível identificar uma fase com maior destaque.

3.4. ANÁLISE CONCLUSIVA

Devido à existência de apenas um caso prático de aplicação das medidas de melhoria de *performance* da rede face a descargas atmosféricas, a análise do seu comportamento mostrou-se fundamental.

A redução considerável de mais de metade dos incidentes registados após a instalação de alguns descarregadores de sobretensão e da instalação do segundo cabo de guarda comprovam que um estudo prévio e adequado ser indispensável para maximizar resultados. Neste caso, a definição de um critério que identificou os apoios onde se deveriam instalar DST tornou a sua instalação possível, por se tratar de um número razoável de equipamentos.

No que diz respeito ao número de incidentes que afetam os dois ternos de uma linha ou uma linha paralela, tendo em conta as elevadas percentagens, cerca 75%, pode ser estabelecida uma relação. Embora a linha LSN.TN tenha um resultado um pouco desviado dos restantes, pode associar-se à fragilidade da base de dados e da sua utilização nos primeiros anos de existência. Enquanto para a linha LCL.EJ2 e para a linha LAL.RA2 são tidos em conta 11 anos de dados históricos, para a linha LSN.TN são apenas considerados 4, devido à sua substituição em 2005.

No que diz respeito à análise feita às fases das linhas afetadas pelos incidentes, tal como referido, não foi possível retirar uma conclusão efetiva. No entanto, há que ter em conta que esta análise preliminar foi feita apenas para três linhas, sem que seja necessariamente o reflexo da totalidade da rede.

4. PROCESSO DE GEORREFERENCIAÇÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

Os incidentes por descargas atmosféricas representam uma grande parte do número total de incidentes registados. Como referido no subcapítulo 2.4, existem quatro fenómenos típicos da rede sendo estes incêndios, poluição dos isoladores, cegonhas e descargas atmosféricas. Ao longo dos anos têm sido tomadas várias medidas de forma a diminuir o número de incidentes nas linhas aéreas de transmissão. No entanto combater os incidentes por descargas atmosféricas têm sido o menos conseguido por exigir medidas mais dispendiosas e complexas.

Existem alguns estudos dos quais se obtêm conclusões pertinentes. No entanto, a maioria destes estudos aplicam-se a linhas em fase de projeto e não a linhas existentes, sendo ainda que são elaborados de forma empírica e segundo os dados de descargas atmosféricas e não de incidentes.

Desta forma, procedeu-se ao tratamento de dados reais com o objetivo de apontar possíveis fatores com maior influência no desempenho das linhas aéreas face a descargas atmosféricas.

Por questões económicas, facilmente se constatou que não é viável a tomada de medidas ao longo de toda a rede. Assim, para que seja possível implementar algumas destas medidas, é necessário ter a perceção das linhas e troços mais críticos do ponto de vista da suscetibilidade a descargas atmosféricas.

O presente estudo é baseado em dados reais registados ao longo dos últimos anos sendo por isso as conclusões inalteráveis. Como ponto de partida, foi necessário ter acesso à informação relativa a todos os incidentes e proceder a uma filtragem de forma a obter os dados relativos a incidentes desencadeados por descargas atmosféricas. Procedeu-se então à sua extração da base de dados de *Gestão de Incidentes – Gestinc*, a qual contém toda a informação desde o ano 2001 relativamente a todos os ativos da RNT. Os incidentes podem ser pesquisados de formas distintas, um a um, por dia, mês e ainda por ano.

No que diz respeito às descargas atmosféricas, estes dados são obtidos através do cruzamento da informação de incidentes com os registos de trovoadas fornecidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) que, desde junho de 2002, tem instalada uma rede de deteção e localização de descargas elétricas atmosféricas, *Lightning Location Systems (LLS)*, no território continental e áreas oceânicas adjacentes. Esta rede é constituída por quatro *sensores IMProved Accuracy from Combined Tecnology (IMPACT)*, distribuídos pelo território nacional complementados pelos detetores dos restantes países tendo, em 2014, sido contabilizados 149 sensores.



Figura 24 - Sensores IMPAC e georreferenciação

Estes estão instalados em Braga, Castelo Branco, Alverca e Olhão, tal como representado no mapa da Figura 24.

Desde dezembro de 2002 está em exploração a complementação da informação dos quatro sensores instalados em Portugal com os dados obtidos pelos sensores do Instituto Nacional de Meteorologia de Espanha, instalados em Santiago de Compostela, Salamanca, Hinojosa Del Duque e Jerez de La Frontera.

A troca de dados permite a utilização pelo IPMA da informação de 8 detetores de trovoadas, melhorando assim a precisão da localização de raios e a eficiência de deteção da rede.

Estes sensores são capazes de medir a intensidade e a orientação das variações do campo magnético terrestre. Desta forma, é possível determinar o instante e o local da ocorrência da descarga, assim como outros parâmetros como: polaridade, intensidade, multiplicidade e grau de incerteza. Os detetores estão equipados com duas antenas eletromagnéticas ortogonais e uma horizontal que permite medir a intensidade da radiação eletromagnética emitida por um raio e equipados com um relógio de precisão GPS.

No *site* do Instituto Português do Mar e da Atmosfera é possível visualizar em tempo real a ocorrência de descargas atmosféricas. No entanto, há que ter em conta que o IPMA recomendou a filtragem de informação devido à incerteza dos dados resultado da ausência de manutenção dos detetores.

A REN tem acesso aos dados do IPMA através de um *software*, *Java Observation*, onde é possível visualizar, em tempo real as descargas atmosféricas em Portugal Continental e em parte do oceano. Este *software* é utilizado num computador instalado no Centro de Operação e Controlo (COR) para que possam relacionar descargas atmosféricas com os incidentes.

4.2. GEORREFERENCIAÇÃO DE DEFEITOS

De forma a perceber a distribuição dos incidentes por descargas atmosféricas, ao longo do território, é fundamental proceder à sua georreferenciação. Assim, da informação total, e com o objetivo de proceder à localização de cada incidente foi necessário localizá-los ao longo das linhas.

De todos os incidentes foram filtrados aqueles que apresentavam informação suficiente para a sua localização. Pelo facto de não ser possível conhecer as coordenadas exatas de cada defeito, a solução passou por identificar aquele que é o apoio mais próximo do mesmo.

No entanto, da informação disponibilizada no *Gestinc* existe apenas um parâmetro que pode, de forma indireta, levar à identificação destes apoios, sendo designado de distância ao defeito. O valor da distância ao defeito é apresentado em quilómetros e indica, de forma aproximada, o local da linha em que ocorreu o defeito a partir de uma das extremidades.

Existe atualmente um ficheiro *Excel* onde consta informação relativa a todas as linhas da RNT. Esta encontra-se dividida por nível de tensão de cada linha e contém detalhes sobre todos os apoios. Aqui, é possível obter a cota, coordenadas, resistência de terra, resistividade, entre outros.



Figura 25 - Distância ao defeito

Imagine-se que a linha da Figura 25 tem um total de 30 km. Sabendo-se que o defeito teve origem na descarga representada ao quilómetro 20 a contar da extremidade A, conclui-se que a distância ao defeito é 20km.

No entanto, há que ter em conta que a informação da distância ao defeito não é sempre disponibilizada. Nos primeiros anos de existência da base de dados, a percentagem de incidentes com esta informação era reduzida, cerca de 30%. Contudo, nos últimos anos houve um aumento do seu registo, verificando-se atualmente uma percentagem 96%. A distribuição ao longo dos anos é apresentada no gráfico da Figura 26.

Esta melhoria significativa deve-se não só à evolução tecnológica, mas também à sensibilização dos colaboradores que procedem ao seu registo, já que estes são introduzidos manualmente.

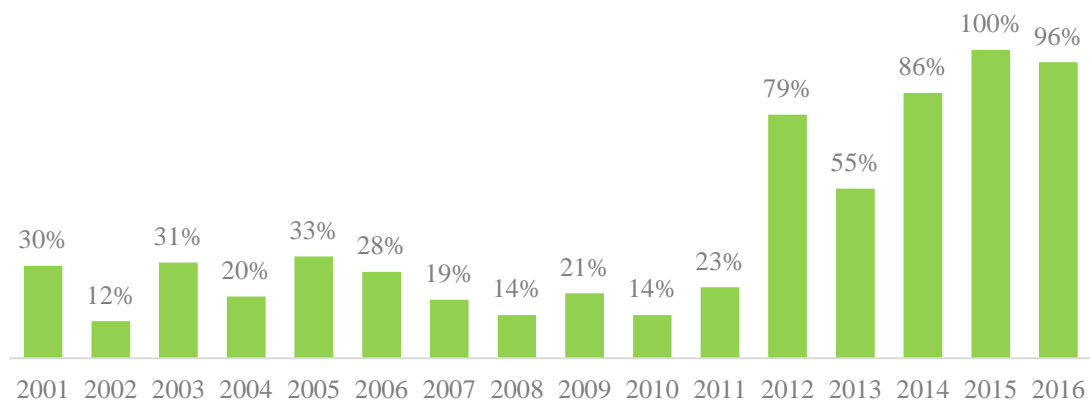


Figura 26 - Evolução do número incidentes com distância ao defeito

Atualmente apenas 34% dos incidentes totais apresentam esta informação, como mostra o gráfico da Figura 27.

A informação e a consequente georreferenciação podem mostrar-se muito úteis no que diz respeito também a medidas de manutenção. No caso de ser necessária uma intervenção devido a um incidente, mostra-se consideravelmente mais viável que os colaboradores consigam saber qual o vão ou intervalo entre postes onde devem atuar, evitando desperdício de tempo e recursos a percorrer toda a linha no sentido de encontrar a anomalia.

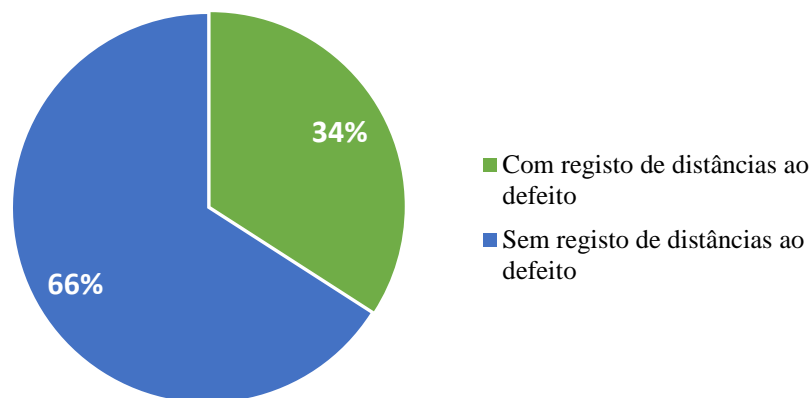


Figura 27 - Percentagem de incidentes com e sem distância ao defeito

No entanto, há que ter em conta que mesmo nos casos em que se dispõe do valor da distância ao defeito, o processo de georreferenciação pode não ser direto. Aquando da ocorrência de um defeito dá-se a abertura automática dos disjuntores existentes em ambas as extremidades da linha, nas respetivas subestações. Acontece que, muitas vezes, o valor da distância ao defeito é apresentado a partir das duas extremidades da linha. Desta forma, é necessário fazer uma seleção para que nas estatísticas os dados não sejam considerados repetidamente.

Por outro lado, existe, em alguns casos, incoerência nos dados apresentados. O somatório das distâncias a cada um dos lados da linha deveria ser igual ao comprimento da mesma. Tendo em conta a Figura 25, se a distância ao defeito a partir de A é 20km e sabendo que a linha tem um comprimento de 30km, então a distância ao defeito a partir da extremidade B deveria ser 10km. No entanto, devido aos erros associados muitas vezes tal não verifica, dando origem a informação incoerente e inviável.

O número total de incidentes registados até ao momento da última atualização é de 1056. No entanto, tal como referido anteriormente, na maioria das vezes não existe informação da distância ao defeito, pelo que este não será o número final de pontos a georreferenciar.

Sabe-se, através da análise de dados, que do número total de incidentes, apenas 360 tem associada uma distância ao defeito. Todos os dados são considerados nas estatísticas, no entanto, devem ser tidos em atenção por não ser possível proceder à sua georreferenciação, tal como evidencia a Tabela 10.

Tabela 10 - Estatísticas de incidentes a georreferenciar

Valor total de incidentes por descargas atmosféricas	1060
Com registo de distâncias ao defeito	363
Sem registo de distâncias ao defeito	697
Sem informação coerente para georreferenciação	47
Número de incidentes a georreferenciar	316

4.3. MELHORIA DE FERRAMENTA PARA IDENTIFICAÇÃO DE APOIOS

A pesquisa do apoio mais próximo ao defeito foi executada de forma manual e individual para cada defeito. Pelo facto de este ser um processo demorado e requerer bastante atenção para evitar erros, considerou-se fundamental a utilização de uma ferramenta que pudesse ser utilizada de pesquisa automática. Começou, então, por se criar uma interface, apresentada na Figura 28, que fosse capaz de procurar automaticamente o apoio mais próximo tendo em conta o valor de distância ao defeito inserida pelo utilizador.

A ferramenta estava a ser desenvolvida em *Visual Basic* no *Excel*, sendo que o utilizador escolheria a linha que desejasse tendo em conta o nível de tensão. Ao inserir a distância ao

defeito, a ferramenta indicaria o número do apoio mais próximo, o comprimento da linha e ainda a longitude e a latitude.

The image shows a web-based form titled 'UserForm2'. At the top left is the 'REN' logo. Below it are three dropdown menus labeled 'Linha 150 kV', 'Linha 220 kV', and 'Linha 400 kV'. To the right of these is a large grey location pin icon containing a power tower. Below the pin are four input fields: 'Número do apoio mais próximo do defeito', 'Comprimento total da linha (metros)', 'Longitude', and 'Latitude'. On the left side, there is a box with the text 'Inserir Distância ao defeito (metros)' and a corresponding input field. At the bottom right, there are two buttons: 'Verificar' and 'Limpar'.

Figura 28 - Interface da ferramenta de identificação do apoio mais próximo

No entanto, por se averiguar a existência de uma folha *Excel* com funções semelhantes esta não foi continuada. Desta forma, foi feita uma atualização e melhoria do ficheiro *Excel* existente. Este encontrava-se inutilizável por possuir informação de linhas entretanto desclassificadas e défice de informação referente a linhas implementadas desde o ano de criação deste ficheiro, 2014.

Nesta ferramenta, apresentada na Figura 29 deve indicar-se o nível de tensão e a linha pretendida. Assim, ao inserir-se a distância ao defeito, em metros, e é indicado de imediato o apoio mais próximo. Existem ainda algumas informações que são apresentadas, tais como a distância do defeito à origem, o concelho, as coordenadas, entre outras.

O ficheiro apresentado é ainda dotado de outras funções tais como a possibilidade guardar informação das pesquisas executadas e apresentar também dados extra sobre a linha e apoio em questão. No entanto, por não serem pertinentes para o estudo, não são referidas pormenorizadamente. Embora este ficheiro não tivesse sido utilizado no trabalho na sequência do processo de identificação do apoio mais próximo ao defeito, descrito no ponto 4.2 considerou-se que seria pertinente deixa-la apta à utilização. Poderia mostrar-se útil para correções do mesmo ou até para futuros trabalhos.

Selecionar Concelho	Nº Apoios "150 kV"	Nº Apoios "220 kV"	Nº Apoios "400 kV"

Km de Linha 150kV/Conc.	Km de Linha 220kV	Km de Linha 400kV

Nº de Apoios por Concelho

Dados a Preencher			
Nível Tensão	Selecionar Linha	Nível Tensão	Dist. Defeito (m)

Comprimento Total da Linha (km)

Dados de Saída			Dados a Preencher
Nr. Do Apoio	Dist. à Origem (m)	Concelho	Nº Cabo Cond.

Coordenada do Apoio (Datum Lisboa Militares)	
Latitude	Longitude

Procurar o Apoio mais Próximo do Defeito

Dados do Incidente	
Nº Incidente:	
Data do Incidente:	
Hora do Incidente:	
Tipo de Abertura:	
Causa Incidente	

Figura 29 - Folha de cálculo de identificação do apoio mais próximo

4.4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.4.1. IDENTIFICAÇÃO E GEORREFERENCIAÇÃO

A fase do trabalho que se seguiu exigia a organização de todos os incidentes, por anos, incluindo já a informação do apoio mais próximo, bem como as suas coordenadas de localização.

Foi através do *software Quantum GIS (QGIS)*, versão 2.14.0, que se procedeu à construção de diversos mapas de onde resultou o da Figura 30, onde estão representados geograficamente a totalidade dos incidentes. Na verdade, e concluindo o anteriormente referido, os pontos exibidos a amarelo não representam exatamente a localização do defeito, mas a localização do apoio mais próximo desse mesmo defeito.

Nesta mesma ferramenta existe ainda a possibilidade de, ao invés de se visualizar a totalidade dos incidentes, dividi-los por anos, representados por diferentes cores. O objetivo é poder

visualizar-se os incidentes como um todo, ou seja, ao longo dos 16 anos de histórico, bem como ano a ano, facilitando a análise do comportamento da rede ao longo dos anos.

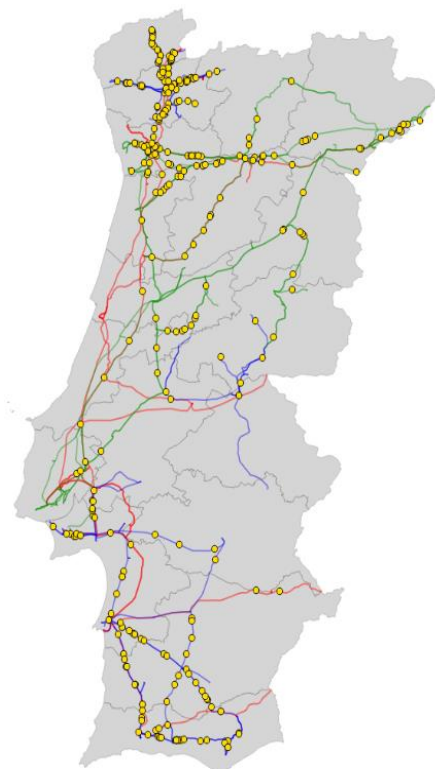


Figura 30 - Mapa com linhas da RNT e georreferenciação dos defeitos

As linhas marcadas no mapa representam as linhas de transmissão divididas por níveis de tensão com as respetivas cores. Desta forma, o azul representa as linhas de 150 kV, o verde as de 220 kV enquanto as vermelhas correspondem às linhas de 400 kV.

4.4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS LINHAS E TROÇOS CRÍTICAS

Um dos principais objetivos deste trabalho era identificar as linhas e os respetivos troços mais sensíveis a descargas atmosféricas, ou seja, de entre as linhas que apresentaram maior número de incidentes devido a descargas, ao longo dos 16 anos de histórico, pretendia-se identificar um ou mais intervalos de apoios que se apresentassem mais suscetíveis a descargas atmosféricas.

Desta forma, tal como indicado, começou por se identificar as linhas nas quais se registara mais incidentes. No entanto, devido à evolução da Rede Nacional de Transporte existem

muitas linhas que atualmente já não continuam instaladas, principalmente as linhas que constam nos primeiros anos de histórico.

Assim, obteve-se a tabela da Figura 31 com o registo do número de incidentes de cada linha, existentes atualmente ou não, assim como o número total de incidentes por ano e o respetivo somatório por linha.

Linhas/Ano	2001	2002	2003
LAG.PR1	0	0	0
LAM.RJ	0	0	0
LVG.RR1	4	3	1
LCL.EJ2	2	3	0
LCL.MC	2	2	0
LSN.TN2	4	3	5
LAL.RA2	2	1	1
LMDR.PDV1	0	0	0
LMDR.PDV2	0	0	0
Total	81	110	72

2015	2016	Total
0	0	1
0	0	1
0	0	18
0	0	21
0	0	21
0	0	21
2	0	23
1	2	27
1	2	28
32	26	1060

Figura 31 - Número total de defeitos das linhas da RNT

No entanto, visto que a georreferenciação foi feita tendo em conta o estado atual da RNT não foi possível utilizar esta informação. Por outro lado, devido ao reduzido número de dados não se poderia desprezar as linhas que foram desmontadas, nem faria sentido ignorar esta informação. De forma a contornar esta situação, procedeu-se então à reconstrução do histórico de cada linha de forma a perceber qual a linha em serviço que atualmente se encontra no mesmo corredor que a linha desmontada.

Fez-se, então, corresponder a cada incidente referente a uma linha desmontada, uma linha atual que se localize no mesmo corredor.

Tendo em conta a Figura 32, e sabendo a linha A foi substituída pelas linhas B e C, então é possível, fazer a análise da localização dos incidentes na linha A e transpô-los para a localização das linhas atuais. Desta forma, é possível maximizar o número de dados considerados.

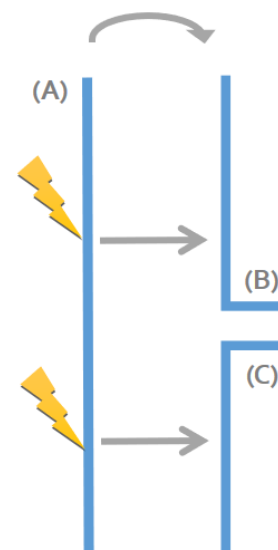


Figura 32 – Análise do histórico de linhas e incidentes

Analisando a Tabela 11, pode perceber-se, que se não se fizesse a análise dos dados tendo em conta as linhas anteriores então

desprezar-se-ia uma quantidade considerável de dados. Assim, seriam apenas considerados cinco incidentes na Linha Sines-Portimão 2 e quatro incidentes na Linha Portimão-Tunes. Se se considerarem os incidentes registados na Linha Sines-Tunes 2, então devem incluir-se 21 incidentes que se distribuíram pelas duas linhas atuais. A evolução da linha Sines-Tunes foi estudada no terceiro capítulo do presente trabalho.

Tabela 11 – Análise de dados com estudo dos corredores

ANO	TOTAL
LSN.TN2	21
LSN.PO2	5
LPO.TN2	4
CORREDOR	30

A análise dos incidentes e das linhas foi possível por se ter acesso a um ficheiro que tem registadas todas as entradas e saídas de serviço das linhas. Este estudo pode ser relevante para perceber quais os lugares críticos que devem ser tidos em conta aquando de um projeto de uma nova linha. Mais pertinente ainda é o facto de se conseguir identificar as zonas críticas do ponto de vista da localização e não apenas das características de uma linha. Assim, obteve-se uma nova tabela semelhante à anteriormente apresentada, mas onde constavam apenas as linhas atuais da RNT, também com o número de incidentes por ano e o somatório final.

Foi através dessa mesma tabela que de entre as linhas que apresentavam maior número de incidentes que se escolheu as três com pior desempenho. Foram, então, selecionadas 3 linhas, apresentadas na Tabela 12 para estudo sendo que, cada uma delas, corresponde a um nível de tensão.

Tabela 12 - Linhas mais críticas da RNT

Nível de tensão	Linha	Incidentes
400 kV	LAL.RA2	20
220 kV	LCL.EJ2	21
150 kV	LMDR.PDV2	27

Depois de identificadas as linhas que mais incidentes têm registado foi necessário perceber quais os troços que apresentavam maior incidência de ocorrências.

Assim, de todo o histórico existente onde é possível conhecer a localização de cada defeito, selecionaram-se os troços que apresentavam maior número de incidentes, ou seja aqueles que se repetiam mais vezes no histórico. O resultado é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Troços mais sensíveis da RNT

Linha	1º Troço		Extensão (km)	2º Troço		Extensão (km)
	Início	Fim		Início	Fim	
LMDR.PDV1	Apoio 22	Apoio 45	9,1	Apoio 61	Apoio 93	14,8
LCL.EJ2	Apoio 53	Apoio 65	4,9	-	-	-
LAL.RA2	Apoio 14	Apoio 30	7,2	Apoio 42	Apoio 60	8,9

Na escolha dos troços foi necessário ter atenção para que a sua extensão não fosse demasiado elevada. No caso da Linha Carrapatelo-Estarreja e devido à escassez de dados foi apenas possível obter um troço. Na verdade, para esta linha o número de incidentes georreferenciados é muito reduzido o que limita o estabelecimento de conclusões.

Também através do QGIS foi executada a georreferenciação das linhas da RNT assim como os troços seleccionados. O mapa criado encontra-se apresentado, em excerto, na Figura 33.

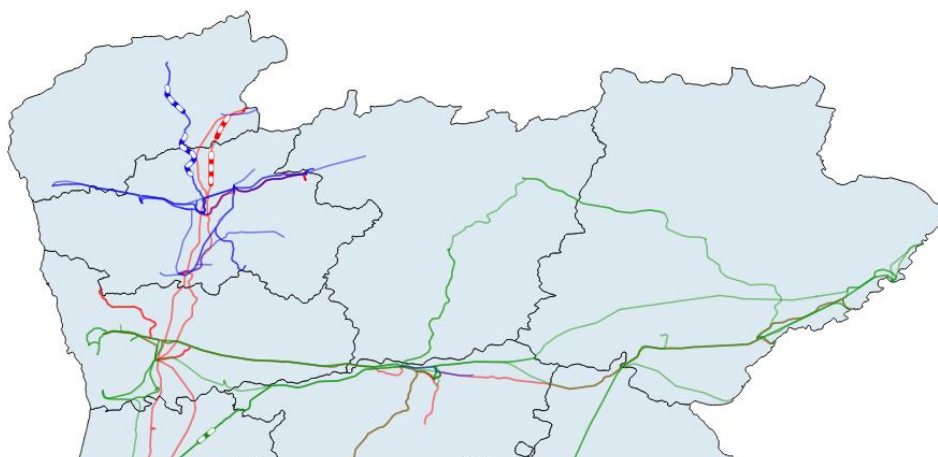


Figura 33 - Georreferenciação dos troços mais sensíveis

4.4.3. TAXA DE INCIDENTES POR LINHA

No que diz respeito à identificação de linhas mais críticas, esta não se podia basear unicamente no número total de incidentes por linha, pelo facto de se ter de relacionar o número de descargas com o comprimento da linha e os anos de existência. Há que ter em conta que duas linhas com o mesmo número incidentes e o mesmo tempo de serviço, mas com comprimentos diferentes não apresentam o mesmo desempenho. A linha de menor comprimento é naturalmente mais crítica por, num menor intervalo espacial, apresentar o mesmo número de incidentes. Assim, há necessidade de se utilizar um índice que sirva como termo de comparação de desempenho entre linhas.

Pode designar-se este índice como taxa de incidentes por linha, sendo que este corresponde ao número de incidentes, por 100 km de linha, por ano ($\text{incidentes} \cdot \text{Km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$). A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$\text{Taxa de incidentes} = \frac{\frac{\text{Número de incidentes}}{\text{Comprimento da linha}}}{\text{Número de anos de histórico}} \quad (5)$$

Através desta mesma fórmula, procedeu-se ao cálculo das taxas de incidentes para todas as linhas da RNT. Primeiramente procedeu-se ao cálculo para 16 anos de histórico. No entanto, esta análise não estava correta por existirem linhas com entradas em serviço posterior a 2001, ou seja, com menos de 16 anos de existência. De todas as linhas destacam-se, na Figura 33, as três linhas identificadas como mais críticas.

Na verdade, embora as linhas tenham um número aproximado de incidentes registados, é notória uma diferença da taxa de incidentes da LMDR.PDV2 relativamente às restantes linhas. Tal deve-se ao facto de esta ser consideravelmente mais recente. A análise da taxa de incidentes pode ser útil para fazer comparação entre a performance de duas ou mais linhas, ou para poder estabelecer prioridades de atuação.

Embora esta taxa não tenha tido nenhuma aplicação concreta neste trabalho, pareceu coerente fazer esta análise não só de forma a se perceberem quais das linhas atuação com

maior brevidade, mas também para que exista interpretação lógica, crítica e coerente dos resultados.

4.4.4. DESCARGAS E ALTIMETRIA

De forma a se retirar conclusões, foi fundamental perceber como se distribuem todos os incidentes georreferenciados pela altimetria do país. A Figura 30 permite visualizar a forma como as descargas se distribuem ao longo de Portugal. Por outro lado, o mapa da Figura 34 permite perceber a forma como estas se tendem a localizar tendo em conta a altimetria do país.

A altimetria está exibida por uma escala de cores, sendo que a zona a azul representa as zonas de menor altimetria, e as zonas vermelhas representam os pontos de maior altitude.

Por se saber da forte relação entre a cota e as descargas atmosféricas, procedeu-se à construção de um mapa que facilitasse a visualização dos troços seleccionados e a altimetria que lhes está associada. Estão então representados aqueles que foram identificadas como os troços mais sensíveis, representados na Figura 35. De uma análise geral de ambos é notório que existe uma grande incidência de descargas atmosféricas nas zonas de maior altimetria. Através de um *zoom* ao mapa facilmente se percebe que os troços se localizam junto de zonas em que a altimetria se encontra numa zona de transição, ou seja, em zonas em que a cota varia significativamente.

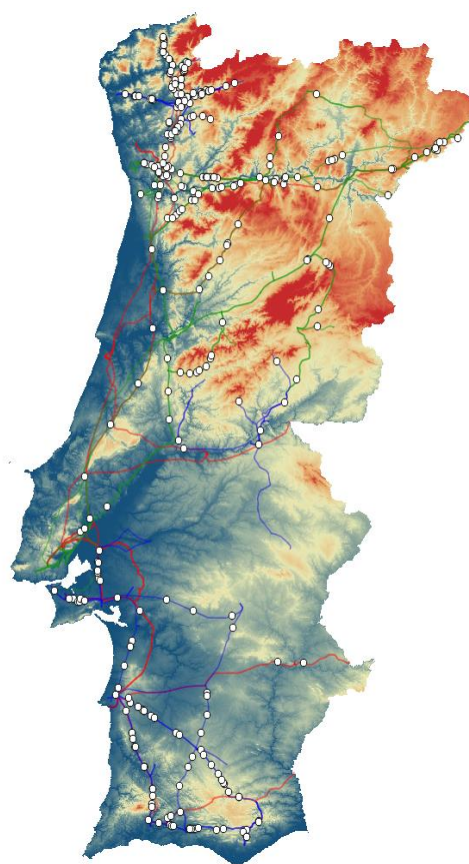


Figura 34 - Mapa altimétrico e incidentes

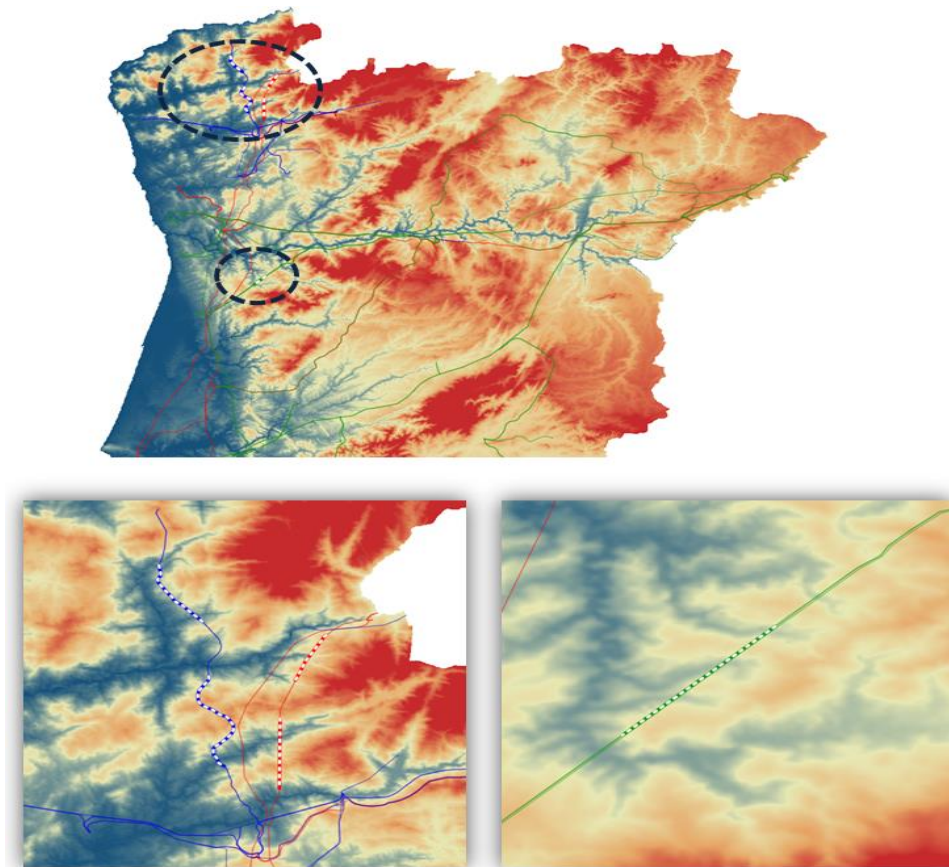


Figura 35 - Mapa altimétrico com representação dos troços mais sensíveis

4.4.5. DENSIDADE E INTENSIDADE DE DESCARGAS

Os gráficos anteriormente apresentados, permitem perceber que para além da altimetria, a proximidade do mar poderia favorecer a incidência de descargas atmosféricas que desencadeassem incidentes.

Também analisando o mapa da Figura 36 facilmente se percebe que as descargas estão maioritariamente localizadas junto à costa litoral, podendo desde logo alertar para uma possível relação. Assim, numa análise ligeira é possível perceber que as descargas se centram essencialmente em zonas de altimetria elevada ou em zonas adjacentes a zonas oceânicas.

De forma a proceder a uma análise mais conclusiva, criaram-se mais dois mapas que relacionam a densidade média das descargas atmosféricas com as descargas atmosféricas e a intensidade das mesmas com os incidentes registados. Perceber onde existe maior densidade de descargas assim como os locais onde a sua intensidade é superior é fundamental para estabelecer possíveis relações com os incidentes.

Esses mesmos mapas estão representados na Figura 37 e Figura 36, por uma escala de cores descrita pela respetiva legenda.

A densidade de descargas atmosféricas (Ng) indica a frequência de incidência geográfica de descargas atmosféricas numa determinada região, sendo representada pelo número de descargas por km². Este parâmetro pode variar de região para região devido à influência de diversos fatores tais como distribuição das chuvas e do relevo.

Do mapa de densidade média de descargas atmosférica, Figura 37, retira-se que, tal como anteriormente referido, que é nas zonas montanhosas que se nota maior incidência de descargas, por corresponderem a zonas de maior atividade ceráunia. Também na zona do

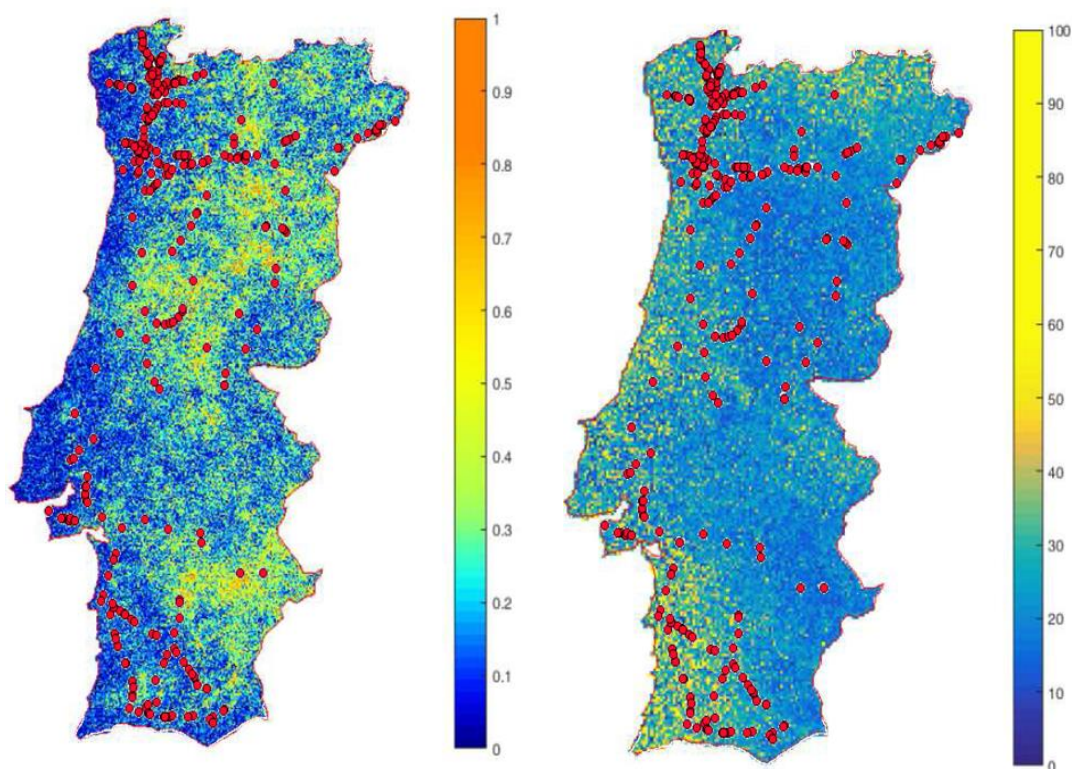


Figura 37 - Densidade Média das Descargas Atmosféricas

Figura 36 - Intensidade das Descargas Atmosféricas

Alentejo interior se regista uma elevada densidade de descargas atmosféricas que pode ser resultado de massas de ar provenientes da meseta espanhola.

Relacionando ambos os mapas, Figura 37 e Figura 36, pode concluir-se que as zonas de menor densidade de descargas são normalmente zonas de maior intensidade e vice-versa. A

proximidade do mar desencadeia descargas de maior intensidade, tal como se pode visualizar no respetivo mapa. Na verdade, nem todas as descargas originam incidentes, gerando apenas defeitos. Assim, conclui-se que descargas de maior intensidade são mais propícias a desencadear o disparo das linhas. Desta forma, embora as zonas de maior densidade se localizem na zona interior do país, o mapa mostra que a maioria dos incidentes se dá nas zonas onde as descargas atmosféricas têm maior intensidade.

4.4.6. MAPA DE RESISTIVIDADE

Um outro fator que influencia o comportamento da linha é a resistência de terra do local. Na verdade, não existe nenhum mapa que comporte este tipo de informação e a sua representação é praticamente impossível. Desta forma, recorreu-se à análise do mapa da resistividade do solo, pelo facto de estarem diretamente relacionadas.

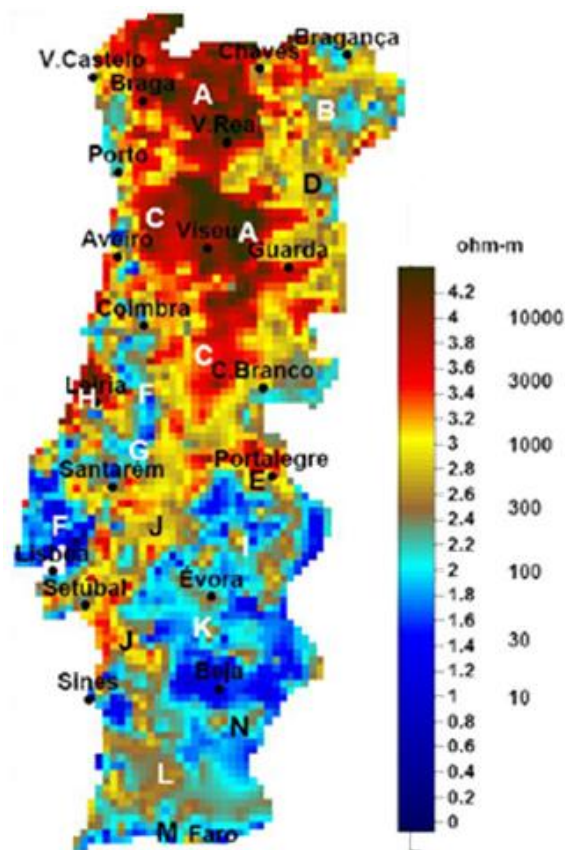


Figura 38 - Mapa da resistividade

Contudo, a utilização deste mapa requer alguma atenção por poder induzir a percepções erradas. Efetivamente, ao reproduzir o valor da resistividade média em quadrículas de

5x5km considera-se que os valores utilizados estarão sujeitos a uma grande incerteza, pois numa área tão extensa existem muitos valores possíveis, dependendo muito do tipo de terreno que a linha atravessa. Numa mesma quadrícula, a linha pode atravessar áreas tao dispares como zona de vale, zonas montanhosas ou mesmo diferentes tipos de solo, com valores de resistividade completamente distintos.

No entanto, da sua análise geral pode concluir-se que as zonas montanhosas, ou seja, as zonas rochosas apresentam maior resistividade do solo, validando as conclusões anteriormente retiradas. Assim comparando o mapa da Figura 34 com o da figura 38 pode concluir-se que as zonas de elevada altimetria correspondem a zonas de elevada resistividade. Os solos rochosos, constituição das montanhas são aqueles que apresentam maior resistividade, com valores até 10000 Ω .m. Uma maior resistividade está associada a uma maior resistência de terra.

Um dos métodos mais utilizados na medição da resistividade do solo é o Método de *Wenner*, cujo esquema é o mostrado na Figura 39. Desta forma pretende-se medir a resistividade em função da profundidade num ponto do solo, designado por A.

São colocadas 4 elétrodos no solo, em linha reta, igualmente espaçados, de forma a que a distância entre eles (a) seja muito maior que a profundidade de enterramento (b). O ponto a medir deve ficar a igual distância dos elétrodos interiores.

Faz-se então circular uma corrente contínua entre os elétrodos de corrente (exteriores) e mede-se a diferença de potencial entre os elétrodos de tensão (interiores). Desta forma, através do quociente $\frac{V}{I}$ consegue-se determinar o valor pretendido.

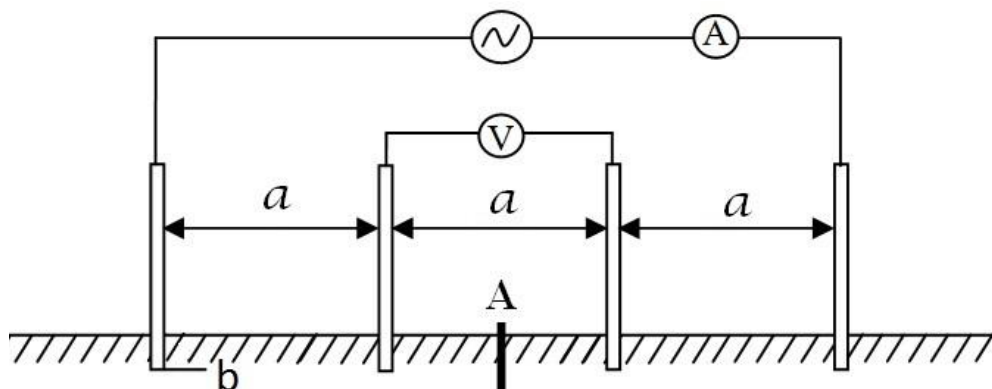


Figura 39 - Método de *Wenner*

Sendo a distância (a) muito maior do que (b), o valor da resistividade do solo é dado pela expressão:

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R \quad [\Omega \cdot m] \quad (6)$$

Sendo que a distância a corresponde à distância entre elétrodos (m) e R o valor medido pelo telurómetro (Ω).

Assumindo um solo homogéneo, o valor da resistividade é uniforme, no entanto, há que ter em conta que geralmente os solos são estratificados, ou seja, possuem camadas distintas com diferentes valores de resistividade. Assim, devem efetuar-se diversas leituras com variação a distância a, analisando o comportamento do valor da resistividade.

Quando a distância entre elétrodos é menor, a corrente flui mais superficialmente pelo que os valores obtidos correspondem aos do solo mais superficial. Por outro lado, quando o espaçamento entre elétrodos é maior a profundidade, o caminho que a corrente percorre é também maior. Assim, os valores medidos correspondem aos valores do solo mais profundo.

Desta forma, pode concluir-se que a resistividade varia em função da profundidade a que os elétrodos estão enterrados, sendo que diminui com a profundidade.

Relativamente ao método de *Schlumberger* este pode ser considerado uma reformulação do método anteriormente apresentado. Este surge no seguimento da constatação de que quando o afastamento entre os elétrodos aumenta, os elétrodos de tensão podem ficar dentro do patamar de potencial relacionado com os elétrodos de corrente, comprometendo assim as medições que se pretendam efetuar. Com a aplicação deste método, os dois elétrodos de corrente estão colocados em linha e centrados no mesmo ponto, mas os elétrodos de tensão e os de corrente não são colocados equidistantes uns dos outros.

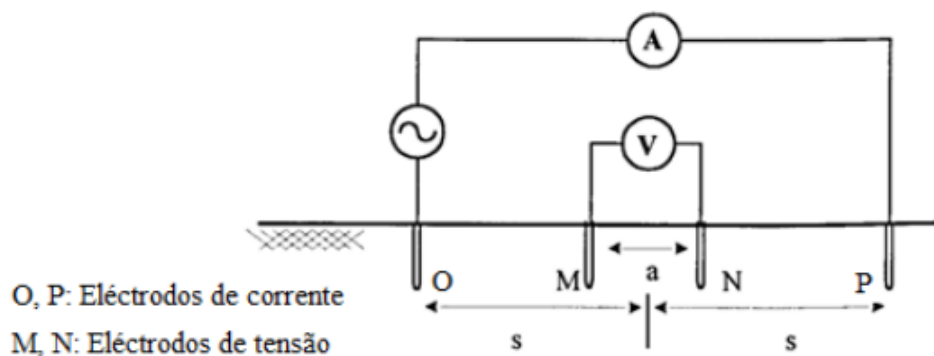


Figura 40 - Método de *Schlumberger*

Os elétrodos de corrente estão equidistantes do ponto central a uma distância s , enquanto os elétrodos de tensão, como mostrado na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

A principal diferença entre os dois métodos, prende-se com o facto de ao se utilizar o método de *Wenner* ser necessário mover-se os quatro elétrodos para se efetuarem diferentes medições enquanto que para o método de *Schlumberger* apenas é necessário mover-se os dois elétrodos de corrente.

É então através do cálculo da expressão 6 que se pode concluir que a resistência de terra pode ser calculada da seguinte forma (QEnergia,2016):

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times a} \quad (7)$$

4.5. ANÁLISE CONCLUSIVA

Do conjunto de análises feitas nos pontos anteriores, pode concluir-se que os incidentes por descargas atmosféricas se localizam maioritariamente na zona Norte e na zona costeira do país. Estas zonas estão assim associadas a valores de cotas elevados, descargas de maior intensidade, mas em contrapartida zonas de menor densidade de descargas. No entanto, há um aspeto que deve ter-se em conta que é o facto de as linhas da RNT estarem instaladas maioritariamente nas zonas a norte e oeste.

Através da análise de mapas procedeu-se a uma análise para as três linhas selecionadas como mais críticas, tendo em conta os valores de resistência de terra, resistividade e cota de cada apoio comparando com a totalidade da linha. Era objetivo perceber que alguns destes parâmetros identificados através dos mapas realmente se aplicam aos resultados das linhas.

Para a Linha Mendoiro – Predalva 1 (LMDR.PDV1), de 150kV, analisando a Tabela 14 pode facilmente perceber-se que relativamente ao primeiro troço o elevado número de descargas poderá estar associado à elevada resistência de terra. Por outro lado, no que diz respeito ao segundo troço, pode concluir-se que este se encontra a uma cota elevada. É neste mesmo troço que se encontra localizado o apoio da linha que se encontra a maior altitude.

Tabela 14 - Estatísticas da Linha Mendouiro – Predalva 1 (LMDR.PDV1)

Resistência de Terra Média (Ω)	71,15
Resistência de Terra Média 1º Troço (Ω)	115,52
Resistência de Terra Média 2º Troço (Ω)	33,12
Resistência de terra máxima (Ω)	344,00
Resistência de terra máxima 1º Troço (Ω)	204,60
Resistência de terra máxima 2º Troço (Ω)	72,00
Resistividade Média ($\Omega.m$)	2495,69
Resistividade Média 1º Troço ($\Omega.m$)	2633,40
Resistividade Média 2º Troço ($\Omega.m$)	2439,46
Cota Média (m)	335,75
Cota Média 1º Troço (m)	245,21
Cota Média 2º Troço (m)	404,35
Cota Máxima (m)	713,51
Cota Máxima 1º Troço (m)	279,37
Cota Máxima 2º Troço (m)	713,51

No que diz respeito à Linha Carrapelo – Estarreja 2 (LCL.EJ2), de 220kV, esta análise torna-se mais inconclusiva, como se pode verificar através da Tabela 15. Devido à menor existência de dados foi apenas possível identificar e representar um troço. Embora a resistência de terra do troço seja superior ao valor médio da linha, e a cota média do troço se aproxime da cota média da linha não existe nenhum parâmetro suficientemente elevado que permita estabelecer uma relação.

Embora considerado, em nenhuma das análises o valor de resistividade é valorizado, por serem valores demasiado homogêneos e transparecem pouca credibilidade.

Tabela 15 - Estatísticas da Linha Carrapelo – Estarreja 2 (LCL.EJ2)

Resistência de Terra Média (Ω)	53,22
Resistência de Terra Média Troço (Ω)	60,15
Resistência de terra máxima (Ω)	405,00
Resistência de terra máxima 1º Troço (Ω)	83,00
Resistividade Média ($\Omega.m$)	1655,30
Resistividade Média 1º Troço ($\Omega.m$)	1655,30
Cota Média (m)	361,28
Cota Média 1º Troço (m)	336,75
Cota Máxima (m)	769,50
Cota Máxima 1º Troço (m)	388,48

Por fim, no que diz respeito à Linha Alto Lindoso-Riba d'Ave 2 (LAL.RA2), apresentada na Tabela 16, de 400kV, com dois troços identificados pode tirar-se algumas conclusões, sendo que ambos se encontram bastante equilibrados.

Ambos os troços apresentam resistências de terra acima da resistência de terra média da linha. No entanto, é no segundo troço que se encontra localizado o apoio da linha com maior resistência de terra. É ainda de salientar que ambos os troços apresentam cotas elevadas.

Tabela 16 - Estatísticas da Linha Alto Lindoso-Riba d'Ave 2 (LAL.RA2)

Resistência de Terra Média (Ω)	116,92
Resistência de Terra Média 1º Troço (Ω)	164,41
Resistência de Terra Média 2º Troço (Ω)	192,09
Resistência de terra máxima (Ω)	286,08
Resistência de terra máxima 1º Troço (Ω)	228,93
Resistência de terra máxima 2º Troço (Ω)	286,08
Resistividade Média ($\Omega.m$)	2664,46
Resistividade Média 1º Troço ($\Omega.m$)	2633,40
Resistividade Média 2º Troço ($\Omega.m$)	2813,78
Cota Média (m)	307,53
Cota Média 1º Troço (m)	469,47
Cota Média 2º Troço (m)	406,73
Cota Máxima (m)	754,06
Cota Máxima 1º Troço (m)	586,32
Cota Máxima 2º Troço (m)	638,63

Embora esta análise não permita tirar nenhuma conclusão exata, possibilita acentuar a ideia de que as relações estabelecidas através dos mapas criados podem realmente ser verídicas. Esta foi também fundamental como ponto de partida para o estabelecimento de parâmetros a considerar na metodologia criada e apresentada no quinto capítulo, que se segue. É uma análise de pretende de alguma forma comprovar as conclusões obtidas, no entanto, há que ter em conta que estão a ser analisadas apenas três linhas da rede o que não significa necessariamente uma extrapolação para a restante rede.

5. DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE CRITICIDADE

5.1. ÍNDICE DE CRITICIDADE: PARÂMETROS E METODOLOGIA

De forma a poder classificar as linhas relativamente à sua sensibilidade a descargas atmosféricas criou-se uma metodologia que permitisse estabelecer uma relação entre os parâmetros seleccionados.

Foi necessário perceber que características podem ser responsáveis por uma determinada linha ou troço estar mais sujeita a sofrer incidentes devido a descargas atmosféricas, e criar uma metodologia que pudesse ser aplicada a toda a rede e devolvesse um *feedback* do estado da mesma.

Foi então que se criou um índice que passou a ser designado por índice de criticidade que relaciona os quatro fatores analisados no capítulo 4. A metodologia é baseada em dados reais, ou seja, em todos os incidentes registados no Gestinc, georreferenciados ou não. Este índice relaciona o valor obtido da distribuição de resultados para cada parâmetro com os pesos obtidos através do *solver*.

Assim, das análises anteriores, e tendo em conta os resultados obtidos das análises dos diversos mapas, consideraram-se os seguintes parâmetros:

- Nível de tensão da linha (distância de isolamento)
- Resistência de terra
- Cota
- Proximidade do mar

O índice de criticidade, calcula assim a probabilidade de um determinado apoio ou linha, tendo em conta as características referidas, sofrer um incidente por descarga atmosférica.

5.1.1. NÍVEL DE TENSÃO

Relativamente ao nível de tensão sabe-se à partida que existe uma grande influência no número de incidentes na RNT. Este está diretamente associado à distância de isolamento que corresponde à distância que a corrente teria de percorrer pela superfície dos isoladores, entre as duas extremidades metálicas do mesmo, ou seja está relacionado com o número de isoladores de uma cadeia. Assim, as linhas de 150 kV, tem, na constituição das cadeias de isoladores um menos número de isoladores, facilitando a ocorrência de defeitos. Contrariamente, as cadeias das linhas de 400kV são formadas por mais isoladores, tendo então uma maior distância de isolamento.

Procedeu-se então à análise do nível de tensão das linhas de todos os incidentes registados no Gestinc, com origem em descargas atmosféricas, ou seja, fez-se corresponder a cada incidente o nível de tensão da linha em questão.

Posteriormente, analisou-se a percentagem correspondente a cada dos níveis de acordo com a equação 8.

$$NT (\%) = \frac{Nr. \text{ incidentes de cada nível de tensão}}{Número \text{ total de incidentes registados}} * 100 \quad (8)$$

Os resultados obtidos refletem-se no gráfico da Figura 41.

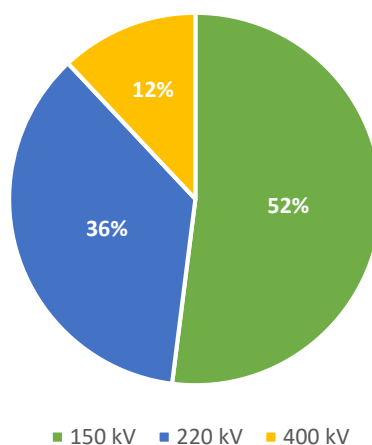


Figura 41 - Distribuição dos incidentes por nível de tensão

5.1.2. COTA

Tal como já referido, a cota é um dos fatores que maior influência tem no que diz respeito à suscetibilidade quanto a descargas atmosféricas, pelo que era fundamental inclui-la na metodologia. No entanto, pelo facto de os valores de cota serem todos diferentes, ao contrário do que acontece com o nível de tensão em que são apenas três distintos, é necessário adotar outra estratégia. Desta forma, em vez de se contabilizarem os valores um a um, estabeleceram-se intervalos de cotas.

Posteriormente procedeu-se à contagem do número de incidentes registados em cada um dos intervalos definidos. Assim, os intervalos estabelecidos e a respetiva distribuição encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17 - Distribuição dos incidentes por nível de tensão

Cota (m)	Percentagem
0 – 150	30,7%
150 – 300	26,9%
300 – 450	25,6 %
> 450	16,8%
TOTAL	100%

5.1.3. RESISTÊNCIA DE TERRA

Relativamente à resistência de terra o procedimento foi semelhante ao anteriormente mencionado. A Tabela 18 apresenta a percentagem de cada intervalo notando-se que os maiores valores percentuais estão associados a resistências de terra reduzidas. Tanto no procedimento referido como no da cota, de forma a facilitar a contagem dos incidentes, e após a definição dos intervalos, atribui-se a cada valor da resistência de terra um dos intervalos. Posteriormente, elaborou-se um gráfico dinâmico, procedendo à sua gestão e obtendo a informação pretendida.

Tabela 18 - Distribuição dos valores de resistências de terra

Resistência de Terra (Ω)	Percentagem
0 - 25	41,2%
25 - 100	38,9%
100 - 250	16,3%
≥ 250	3,6%
TOTAL	100%

5.1.4. PROXIMIDADE AO MAR

De forma a poder incorporar este parâmetro na metodologia elaborada, foi necessário associar diferentes níveis de probabilidade a diferentes zonas.

No seguimento da análise feita ao mapa da Figura 36, rapidamente se percebeu que a proximidade do mar tem grande influência nas descargas atmosféricas.

Sabe-se que a escala representada juntamente com o mapa diz respeito à intensidade média das descargas atmosféricas (em kA). Assim, mostrava-se necessária quantificar de alguma forma cada uma das zonas, pelo que, através do *software* QGIS, se sobrepôs o mapa da intensidade média com os concelhos de Portugal continental, num total de 278 concelhos.

Inicialmente pensou-se que se poderia fazer uma simplificação utilizando o mapa dos distritos, apresentado na Figura 42, mas facilmente se percebeu que induziria a muitos erros. Por exemplo, no caso do distrito de Faro, seria associado uma única probabilidade quando, na verdade, se destacam duas zonas opostas no que diz respeito à intensidade das descargas.

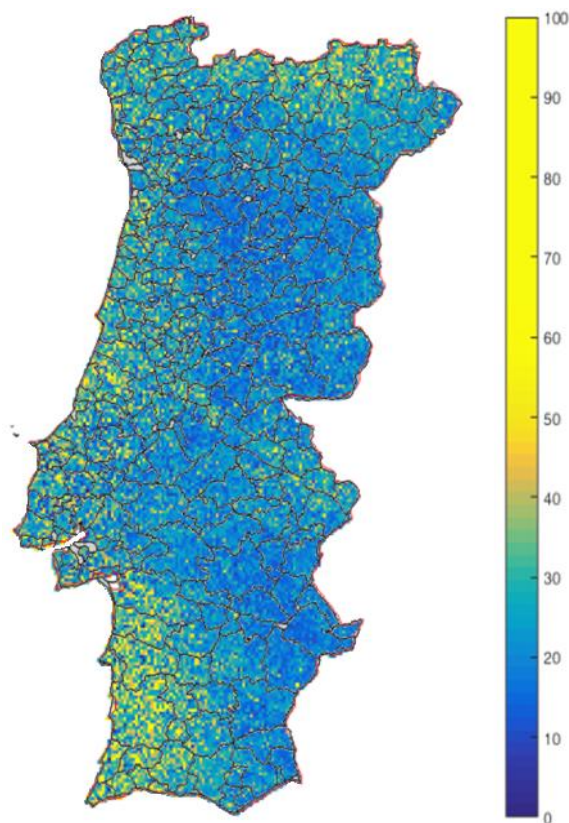


Figura 42 - Intensidade das descargas atmosféricas por concelho

Junto ao Oceano Atlântico temos uma das zonas em que as descargas se apresentam de maior intensidade, enquanto junto a Espanha os valores desta intensidade mostra-se muito reduzida.

Sabe-se, à partida, que os concelhos que apresentam descargas de alta intensidade têm maior probabilidade de sofrerem incidentes. No entanto, por ser difícil de determinar esta densidade, determinaram-se 4 níveis de probabilidade sendo 20, 40, 70 e 90%, sendo traduzidos em muito pouco provável, pouco provável, provável e muito provável, respetivamente.

Para cada um dos níveis estabelecidos foi determinada a probabilidade. Esta foi conseguida contabilizando o número de concelhos que correspondia a cada um dos níveis.

$$PO (\%) = \frac{\text{Número de concelhos com determinado nível}}{\text{Número total de concelhos}} * 100 \quad (9)$$

Assim, a distribuição de percentagens por cada nível de probabilidade, também obtidas através de gráficos dinâmicos do *Excel*, estão os apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Distribuição dos níveis de probabilidades

Nível de Probabilidade	Percentagem
20 (Muito pouco provável)	21,58%
40 (Pouco Provável)	14,03%
70 (Provável)	19,42%
90 (Muito Provável)	44,96%
TOTAL	100%

5.2. CÁLCULO DO PESO DE CADA PARÂMETRO

Um dos aspetos fundamentais passava por averiguar qual o peso de cada um dos parâmetros na metodologia, ou seja, mostrou-se necessário perceber qual dos quatro parâmetros definidos influenciam mais o índice de criticidade de uma linha perante descargas atmosféricas, no que diz respeito a incidentes.

Por não ser possível determinar arbitrariamente uma percentagem, ou por não ser conclusivo atribuir a mesma percentagem aos quatro parâmetros, foi necessário recorrer-se à ferramenta *Solver* do *Excel* de forma a obter uma solução o mais otimizada possível.

Procedeu-se, então, à junção de todos os dados dos 316 incidentes registados, como mostra a Figura 44. Seguidamente fez-se o cálculo do índice de criticidade para cada incidente, com base nas percentagens atribuídas a cada parâmetro, Figura 45. Estas percentagens são as obtidas no passo descrito no ponto 5.1 do presente trabalho.

DEA's	Ano	Apoio	Linhas/Ano	Nível de Tensão	Cota	Res. Terra	Concelho		
1	2013	91	LAM.RJ	400	11,207	10,00	VILA FRANCA DE XIRA	1	1
1	2012	6	LCD.PDV3	150	437,637	125,03	TERRAS DE BOURO	3	3
1	2013	54	LBA.PI	220	311,59		TONDELA	3	1
1	2015	19	LAV.BVL	400	209,409	357,51	MOURA	2	4
1	2015	25	LAV.FA	400	106,231	28,70	VIDIGUEIRA	1	2
1	2015	120	LBL.PG	400	161,86	57,70	ABRANTES	2	2
1	2011	30	LCC.FE1/FTL	220	335,09	89,00	CASTELO BRANCO	3	2
1	2006	55	LCD.RA2/GR	150	128,985	25,79	GUIMARÃES	1	2

Figura 43 - Determinação do peso de cada parâmetro - *Solver*

Na Figura 43, a terceira coluna estão “*linkados*” os valores que o solver calcula. Já na última coluna da figura estão apresentados os valores de nível de tensão, cota, resistência de terra e concelho, calculados no ponto 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 e 5.1.4, respetivamente.

	Nível de tensão/Distancia isolamento	12%	150	51,5%
			220	36,0%
			400	12,5%
	Cota	36%	1	30,7%
			2	26,9%
			3	25,6%
			4	16,8%
	Resistência de Terra	18%	1	41,2%
			2	38,9%
			3	16,3%
			4	3,6%
	Concelho		ABRANTES	14%
			ÁGUEDA	45%
			AGUIAR DA BEIRA	22%
			ALANDROAL	22%
			ALBERGARIA-A-VELHA	45%

Figura 45 - Determinação do peso de cada parâmetro - *Solver*

100%	12%	36%	18%	34%	32%
					162
Nível de Tensão	Cota	Res. Terra	Concelho		
12%	31%	41%	19%	26,41%	0
52%	26%	16%	45%	33,63%	1
36%	26%	41%	22%	28,43%	0
12%	27%	4%	22%	19,29%	0
12%	31%	39%	22%	27,01%	0
12%	27%	39%	14%	22,93%	0
36%	26%	39%	14%	25,31%	0
52%	31%	39%	45%	39,51%	1

Figura 44 - Determinação do peso de cada parâmetro - *Solver*

Na célula circundada a verde, na Figura 44, é colocado o valor a partir do qual é considerado crítico. Pelo facto de o valor máximo ser 39,92%, como apresentado na Figura 46 houve necessidade de fazer uma extrapolação para uma escala de 0% a 100%. Desta forma como se assumiu que uma linha seria crítica para um valor de 80%, para a percentagem calculada corresponde a cerca de 32%, valor indicado na célula verde da Figura 45.

percentagens a alguns fatores e percentagens nulas a outros. Como tal não se aplica neste estudo, essa hipótese foi excluída reduzindo esta percentagem.

A utilização do *solver* foi ponderada. Embora a sua precisão não seja tão exata quanto o desejável, esta é uma ferramenta que permite fazer a maximização de resultados com uma reduzida amostra de dados, ao contrário do que acontece, por exemplo, com uma rede neuronal artificial que, por sua vez, apresenta uma muito maior complexidade.

Após a implementação do *solver*, obtiveram-se as seguintes percentagens que perfazem um total de 100%:

- Nível de tensão: 12%
- Cota: 36%
- Resistência de Terra: 18%
- Concelho: 34%

Posteriormente, foi apenas necessário relacionar todas estas percentagens numa fórmula designada como percentagem de criticidade.

$$\text{Índice Criticidade} = 0,12 \times N.T + 0,36 \times Cota + 0,18 \times R.T + 0,34 \times Concelho (\%) \quad (10)$$

5.3. INTERFACE PARA O CÁLCULO DA CRITICIDADE DE UM APOIO

De forma a tornar o cálculo mais fácil, rápido e eficaz desenvolveu-se uma ferramenta que permite fazer o cálculo automático da probabilidade de uma descarga atmosférica desencadear um incidente num determinado apoio.

A ferramenta foi criada em *Visual Basic for Applications* (VBA), no *Excel*. Na interface com o utilizador, apresentada na Figura 47, são apresentadas quatro secções distintas. A primeira secção destina-se à identificação da linha e do apoio em questão sendo que não é de preenchimento obrigatório, por ser de carácter meramente informativo.

Para a identificação da linha existe uma *ComboBox*, ou seja, uma caixa que mostra uma lista de opções, onde constam todas as linhas da rede atual, ordenadas alfabeticamente. Por outro lado, o número do apoio deve de ser inserido manualmente.

The screenshot shows a web-based calculation tool. At the top, the title is "CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE UMA DESCARGA ATMOSFÉRICA DESENCADEAR UM INCIDENTE NUM DETERMINADO APOIO" with the REN logo on the left and an "AJUDA" button on the right. The main form is divided into several sections. On the left, there are four dropdown menus: "Linha:" (selected: LAF.RA), "Número do Apoio:" (text input: 12), "Nível de Tensão (kV):" (selected: 220 kV), "Cota (metros):" (selected: 300 - 450), "Resistência de Terra (Ohm):" (selected: 25 - 100), and "Concelho:" (selected: AGUIAR DA BEIRA). On the right, a large box displays the result: "Probabilidade de defeito por descarga atmosférica" followed by "69,72 %". Below this, another box shows "ESTADO DA LINHA" as "NÃO CRÍTICA" in green text. At the bottom right, there are three buttons: "LIMPAR" (dark blue), "CALCULAR" (dark blue), and "EXPORTAR PARA PDF" (grey).

Figura 47 - Interface para cálculo da criticidade de um apoio

A segunda secção é composta por quatro *ComboBoxs*, cada uma correspondente a um dos parâmetros descritos anteriormente. Na *ComboBox* correspondente ao nível de tensão estão disponíveis três opções de escolha: 150 kV, 220 kV e 400 kV. Por outro lado, a que corresponde à cota apresenta todos os intervalos estabelecidos, assim como acontece com a resistência de terra. Por último, na *ComboBox* correspondente aos concelhos é apresentada uma lista completa com todos os concelhos de Portugal Continental.

Na primeira caixa de texto à direita, na terceira secção, é apresentado o valor, em percentagem, da probabilidade de defeito por descarga atmosférica. Imediatamente por baixo, encontra-se uma caixa de texto que devolve uma mensagem referente ao estado da linha. No caso do valor devolvido no terceiro campo ser inferior a 80%, é devolvida a mensagem de “NÃO CRÍTICA” a cor verde. Por outro lado, no caso de o valor ser superior ao indicado é apresentada a mensagem “CRÍTICA”, a vermelho.

O Botão “LIMPAR” tem a função de colocar todos os campos em branco, de forma a permitir ao utilizador reiniciar o processo. Ao seleccionar o botão “CALCULAR”, é mostrado o valor esperado.

Foram criados ainda dois botões de ajuda que permitem facilitar a sua utilização. O botão “AJUDA” abre uma janela onde é apresentada uma imagem do menu inicial e onde é feita referência às diferentes seções. É ainda dada informação ao utilizador relativamente às seções que se destinam à inserção de dados, as que estão disponíveis para apresentarem resultados, bem como as de preenchimento obrigatório e facultativo. Já o botão “?” apresenta informação referente ao valor devolvido, de forma a facilitar ao utilizador a interpretação do resultado apresentado.

Pelo facto da segunda seção ser de preenchimento obrigatório no caso de algum destes parâmetros não estar seleccionado são emitidas mensagens de erro, podendo ser:

- “Nenhum Nível de Tensão Seleccionado”
- “Nenhuma Cota Seleccionada”
- “Nenhuma Resistência de Terra Seleccionada”
- “Nenhum Concelho Seleccionado”

Existe um botão que exporta a janela para PDF, ou seja, é gerado um ficheiro com um *printscreen* da ferramenta. Desta forma é possível guardar ou imprimir a informação obtida. É principalmente para esta função que a linha e o apoio devem ser identificados.

Pelo facto de o cálculo da metodologia ser uma soma e multiplicações de percentagens, o valor obtido, não é numa escala de 0 a 100%, como referido no cálculo do valor de criticidade. No entanto, e de forma a facilitar a compreensão, foi feita uma extrapolação pelo que, o valor passa então a ser apresentado numa escala de 0% a 100%. No entanto, aqui, 0% não indica que a linha não é crítica, mas sim que tem uma possibilidade muito reduzida de sofrer um incidente devido a uma descarga atmosférica. O mesmo acontece com valores muito elevados. O valor máximo não dá uma certeza de um incidente por descarga atmosférica, apresentando apenas um valor de criticidade muito elevada.

5.4. EXTENSÃO DA INTERFACE AO CÁLCULO À RNT

Uma vez que a metodologia acima apresentada permite apenas o cálculo da criticidade por apoio, procedeu-se à criação de uma outra ferramenta no *Excel* de forma a poder calcular o índice de criticidade de cada linha. Assim, preparou-se uma interface, apresentada a Figura 48 que executa este mesmo cálculo.

Cálculo da Criticidade de uma linha (por apoio)

Linha					
Nível de Tensão		150 kV			
		150 kV 220 kV 400 kV			

A	B	C	D	F	G
Número Apoio	Cota Apoio	Resistência de Terra	Concelho	%	Média
			CONCELHO		
			ABRANTES		
			ÁGUEDA		
			AGUIAR DA BEIRA		
			ALANDROAL		
			ALBERGARIA-A-VELHA		
			ALBUFEIRA		
			ALCÁCER DO SAL		

Figura 48 - Interface para cálculo da criticidade de uma linha

Aqui, definindo o nível de tensão e inserindo os valores solicitados é possível obter a percentagem de criticidade de cada apoio bem como a média de todos os apoios.

A coluna E apresenta o valor real do cálculo através da fórmula X, segundo a metodologia obtida. Já a coluna F apresenta a criticidade numa escala de 0% a 100%.

Aplicando a metodologia conseguida às linhas identificadas como mais críticas, confirma-se que as linhas são identificadas como críticas com índice de criticidade superiores a 80%.

De forma a determinar quais as linhas da rede que segundo a metodologia obtida são mais sensíveis a descargas atmosféricas, calculou-se a percentagem de criticidade para todas as linhas. Foi então inserida toda a informação da rede na folha *Excel*, anteriormente apresentada, de forma a obter de forma automática os valores médios de cada linha.

Por ter sido calculado para todas as linhas o índice de criticidade foi criada uma lista, ordenada por sensibilidade a descargas atmosféricas. Por questões de confidencialidade a lista não é publicada no presente trabalho. No entanto, é apresentado um resultado obtido para as 276 linhas da RNT encontra-se apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Estatísticas linhas da RNT

Linha Crítica	102
Linha Não Crítica	148
Sem dados suficientes	26
Somatório	276

O valor designado como “sem dados suficientes” deve-se ao facto de algumas linhas não terem qualquer tipo de informação referente a um ou mais parâmetros considerados. Normalmente tal está associado à resistência de terra visto que qualquer um dos outros parâmetros é facilmente obtido.

A informação do nível de tensão existe, obviamente, para todas as linhas. Quanto à cota, nos casos em que não existia a informação, obteve-se através do *Google Earth*. Foi então necessário inserir a informação referente a todas as linhas e apoios da RNT. Posteriormente, procedeu-se à inserção das coordenadas do apoio em questão sendo que neste mesmo *Software* é possível ver a cota do local procurado. Assim, foram inseridos manualmente cerca de 5000 valores de cotas, de forma a viabilizar ao máximo os dados existentes. Por outro lado, o concelho também através do *Google Earth* é obtido com alguma facilidade. É apenas necessário, verificar no mapa, a que concelho pertence o local onde se encontram instalados os apoios, através das coordenadas.

Além do número de valores disponíveis ser bastante mais reduzido também a maior parte deles são obtido através do cálculo utilizando a resistividade. Por sua vez, os valores de resistividade são muito uniformes e bastante constantes ao longo de vários apoios, pelo que não se atribui grande veracidade aos dados.

5.5. ANÁLISE CONCLUSIVA

Através da metodologia elaborada, e dos resultados obtidos com o *solver*, podem tirar-se conclusões relativamente efeito de cada um dos parâmetros identificados. Concluiu-se, à priori, que a cota, segundo a metodologia elaborada, é aquela que apresenta maior influência, sendo que contrariamente, o nível de tensão apresenta a menor percentagem.

Claramente uma análise dos dados históricos acarreta algumas limitações no que diz respeito à sua quantidade e qualidade dos mesmos, mas em contrapartida é capaz de dar uma percepção do comportamento real da rede ao longo dos últimos anos.

Um dos aspetos que mais pode comprometer os resultados da ferramenta são os valores de resistência de terra. Há que ter em conta que os dados de resistividade do solo, presentes no ficheiro que comporta toda informação relativa aos apoios de todas as linhas da rede, apresentam pouca credibilidade pelo que foram desprezados. Por sua vez, além da escassez de dados da resistência de terra, e embora alguns deles correspondessem aos valores reais por serem valores medidos, muitos são resultado da aplicação de uma fórmula onde está incluída a resistividade do solo. Assim, se os valores de resistividade do solo não são considerados credíveis, mas são utilizados para o cálculo da resistência de terra, então também estes resultados são pouco fiáveis.

Relativamente ao valor da distância ao defeito este é fundamental para o presente estudo. Caso existissem mais incidentes com esta informação então haveria uma maior quantidade de dados a ser considerados em todo o processo, aprimorando os resultados.

Embora tenha sido calculada a distribuição dos valores de resistência de terra para todos os incidentes georreferenciados existe um aspeto que deve ser considerado. Há que ter em conta que os resultados obtidos nem sempre corresponderam aos esperados. Pensava-se que os incidentes estavam fortemente relacionados com elevados valores de resistência de terra, pela dificuldade em escoar a corrente de defeito, mas tal não se verificou. Para o cálculo desta mesma distribuição na metodologia foram considerados, tal como referido no subcapítulo 5.1.1, apenas 4 intervalos de valores de resistência de terra. No entanto, rapidamente se percebeu que quando feita uma análise por maiores intervalos de resistência de terra, a sua distribuição dá-se conforme a apresentado no gráfico da Figura 49 e Tabela 21, não se verificava.

Tabela 21 - Distribuição da resistência de terra (mais intervalos)

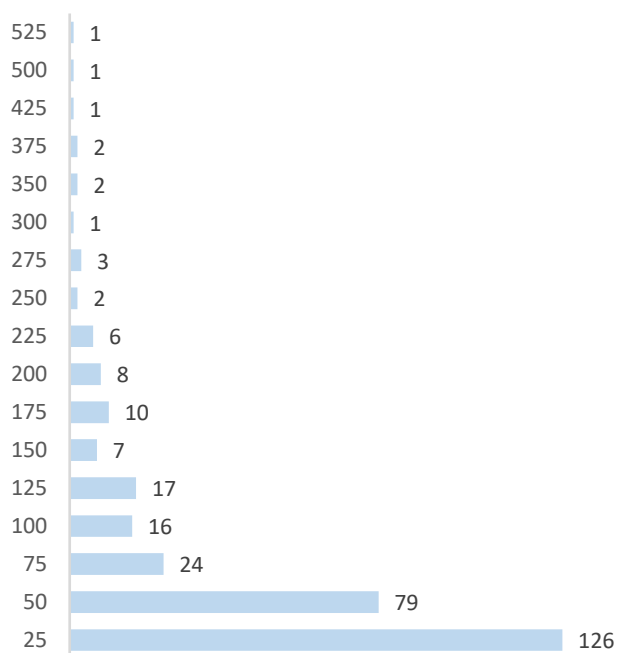


Figura 49 - Distribuição da resistência de terra (mais intervalos)

R.T.	Número	%
0 - 25	126	41,18%
25 - 50	79	25,82%
50 - 75	24	7,84%
75 - 100	16	5,23%
100 - 125	17	5,56%
125 - 150	7	2,29%
150 - 175	10	3,27%
175 - 200	8	2,61%
200 - 225	6	1,96%
225 - 250	2	0,65%
250 - 275	3	0,98%
275 - 300	1	0,33%
300 - 350	2	0,65%
350 - 375	2	0,65%
375 - 400	1	0,33%
400 - 500	1	0,33%
500 - 525	1	0,33%
Total	306	100,0%

Da totalidade dos incidentes 41,18% estão associados a apoios com resistência de terra entre 0Ω e 25Ω . Esta percentagem pode de algum modo estar relacionada com a credibilidade dos dados utilizados, tal como referido anteriormente.

O facto de embora menor, o número de linhas críticas ser relativamente aproximado do número de linhas não críticas pode encaminhar a possíveis melhorias da metodologia criada.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. ASPETOS CONCLUSIVOS

Pelo facto de as sobretensões com origem em descargas elétricas atmosféricas terem um impacto significativo quando comparadas com as restantes causas, mostrou-se necessário perceber de que forma se poderia atenuar as suas consequências na rede. Embora os indicadores de qualidade de serviço estejam abaixo dos limites legalmente estabelecidos e sejam consideravelmente satisfatórios, a empresa responsável pela exploração da rede pretende melhorar a sua *performance* da mesma.

Foi devido à extensão da RNT e à sua diversidade que, de forma a proceder a uma análise mais pormenorizada, foram selecionadas as três linhas mais críticas e os respetivos troços mais fustigados por descargas atmosféricas. Pretendia-se assim, conseguir uma análise, mais detalhada e proceder a estudos tendo em conta aquele que é, à partida o pior cenário existente na rede e reúne as piores condições do ponto dos incidentes por descargas atmosféricas

Para que fosse possível ter uma perceção geral da distribuição dos incidentes dos últimos 11 anos, procedeu-se à sua georreferenciação. Desta forma, através da análise gráfica de num mapa gerado, foi possível concluir que estas se localizam predominantemente zona norte e zona litoral do país.

Da sobreposição de diversos mapas gerados através de uma ferramenta, e baseada nalguma literatura, foi possível concluir que os incidentes tendem a localizar-se em zonas de cota elevada. Embora a maior densidade de descargas se verifique nas zonas interiores do país, é em locais mais próximos do mar que se verificam descargas de maior intensidade. Há que ter em conta que nem todas as trovoadas desencadeiam incidentes pelo que se pensa que estas são mais propícias a desencadear um defeito.

Há que destacar que o presente trabalho foi elaborado segundo duas fases distintas. Numa primeira etapa, como anteriormente referido, procedeu-se à análise dos incidentes, georreferenciando-os e juntamente com os restantes mapas criados foram tiradas algumas conclusões. Foi então desta análise que se identificaram os parâmetros a serem considerados na elaboração da metodologia. Embora ambas as análises sejam baseadas precisamente nos mesmos dados nem sempre os resultados são os iguais. Tal deve-se ao facto de na primeira análise, predominantemente gráfica, ser apenas considerada a localização, enquanto para a metodologia, foi incluída uma quantidade considerável de valores associados às características de cada apoio das linhas, sendo que alguns destes dados eram inexistentes, inconclusivos ou de obtenção indireta.

De forma a relacionar todos os parâmetros foi elaborada uma metodologia. O cálculo do índice de criticidade de um apoio, de uma linha ou da totalidade da rede permite definir prioridades de atuação ao nível das melhorias que favorecem o comportamento das linhas face a descargas elétricas atmosféricas. A elaboração tanto do trabalho como da metodologia podem significar um ponto de partida para que por parte da empresa se tome uma postura relativamente a esta problemática.

A análise feita ao longo do trabalho, tem um impacto significativo por se poder aplicar tanto a linhas em fase de projeto, como a linhas que se encontram em serviço. Quanto às linhas que se encontram em projeto, existem alguns factos abordados que devem ser considerados. Desta forma, sabe-se então que deve ser feita uma análise dos mapas de densidade e intensidade de DEA, do mapa de resistividade e do mapa altimétrico, evitando, se possível, pontos considerados inadequados para a instalação de apoios, pela sua suscetibilidade a descargas atmosféricas. Há ainda que ter em conta toda a envolvente, evitando construção de linhas em zonas demasiado isoladas e favorecendo zonas sem vegetação muito alta, sem declives nem vales.

No que diz respeito a linhas em serviço, com maior enfoque neste trabalho, a melhoria passa pela adoção de diversas medidas levando à instalação de equipamentos, mudança da estrutura dos apoios ou mesmo atuação ao nível do solo.

Uma das grandes mais-valias do trabalho é análise crítica que pode ser feita pelo facto de os dados obtidos da metodologia nem sempre corresponderem aos esperados. No que diz respeito, por exemplo, à resistência de terra, onde eram expectáveis valores elevados, constatou-se que tal não acontece. Neste caso deve proceder-se a uma análise mais rigorosa de forma a perceber a origem deste desvio, que por se tratar de dados reais não são manipuláveis.

6.2. LIMITAÇÕES ENCONTRADAS E TRABALHOS FUTUROS

A reduzida quantidade de dados e de casos implementados pode de alguma forma significar uma limitação da ferramenta. Assim, uma das prioridades é proceder à medição da resistência de terra do máximo de apoios possíveis. Na verdade, a necessidade da obtenção destes valores é reconhecida pela empresa, sendo que se pretendia que no decorrer do trabalho se conseguisse alguns valores reais. Era desejado que se procedesse à medição das resistências de terra pelo menos nas três linhas identificadas como mais críticas, mas tal não foi possível, por questões burocráticas. Também, por existir apenas cerca de 34% da totalidade dos incidentes registados possuírem o valor da distância ao defeito é fundamental que se proceda a uma melhoria. Uma maior amostra de dados aprimora os resultados.

Relativamente à metodologia elaborada, com a melhoria dos valores referidos anteriormente, e conseqüentemente dos pesos atribuídos a cada parâmetro é expectável que diminuam o número de linhas críticas, focando ainda mais o alvo de atuação.

Para além dos objetivos propostos, pretendia-se apresentar uma solução com um conjunto de medidas a implementar para as três linhas mais críticas, no entanto, tal não foi possível por indisponibilidade de recursos e devido à elevada complexidade. Para o estudo das medidas, o mais rigoroso seria proceder-se à sua análise baseada no tipo de contornamentos, diretos ou inversos que pelo facto de, como referido no capítulo 3, as medidas ideais variam com o facto de a descarga atingir os cabos condutores ou os cabos de guarda. Pensou-se também, juntamente com esta solução, apresentar um possível orçamento, completando assim a proposta.

No presente trabalho, uma das maiores limitações foi a complexidade de muitas das temáticas envolvidas e a necessidade de conhecimentos, recursos e tempo indisponível. No entanto, por ser notória a necessidade e possibilidade de intervenções ao nível da RNT, mas por não terem sido tomadas medidas, até ao momento, acredita-se que o presente trabalho pode dar uma prospeção diferente para trabalhos futuros.

Referências Documentais

- Cruz, H. L. (2014). Disjuntores de potência da RNT – Implementação de uma base de dados e desenvolvimento de uma aplicação informática de apoio.
- EDP. (2009). Guia de Boas Práticas para a integração paisagística.
- EGPS. (2016). Apoios reticulados. Retrieved from http://www.egsp.pt/projetos_apoios.php
- Electric, S. (2016). Proteção contra descargas atmosféricas.
- Emanuel, P., & Sousa, S. De. (2006). Problemática do Isolamento nas Linhas de Muito Alta Tensão nas Zonas Poluídas.
- ERSE. (2009). Tarifas e preços. Retrieved from <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/Paginas/default.aspx>
- ERSE. (2013). *Regulamento de Qualidade de Serviço do Setor Elétrico*.
- FEUP. (2016). Apoios - Postes. Retrieved from <https://web.fe.up.pt/~ee98096/apoios.htm>
- ICNF. (2016). Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Retrieved from <http://www.icnf.pt/portal>
- INEO. (2016). Atmospheric discharges.
- IPMA. (2016). IPMA - Descargas Elétricas. Retrieved from <https://www.ipma.pt/pt/educativa/fenomenos.meteo/index.jsp?page=dea.index.xml>
- Liu, Y., Sheng, G., Hu, Y., Qian, Y., Jiang, X., Qiu, R. C., & Liu, Y. (2016). Identification of Lightning Strike on 500 kV Transmission Line Based on the Time-Domain Parameters of a Traveling Wave. *IEEE Access*, 3536(c), 1–1. <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2612702>
- Martinez, J. A., & Castro-Aranda, F. (2005). Lightning Performance Analysis of Overhead Transmission Lines Using the EMTP. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(3), 2200–2210. <http://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.848454>
- NASA. (2001). Where Lightning Strikes. Retrieved from

- http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=2002&eocn=image&eoci=related_image
- NASA. (2015). Global Lightning Activity. Retrieved from <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=85600>
- Pinto, E., El, U., & Terra, R. E. (n.d.). Eléctrodos de Terra e Circuitos de Terra, 15–33.
- REN. (2007). EQ/ET/OPGW - Generic specifications for optical ground wires to be applied in high voltage overhead lines.
- REN. (2007). EQPJ/ET/ACJ02 - Joint boxes for optical ground wires and optical duct cables to be applied in high voltage overhead lines.
- REN. (2007). EQPJ/ET/AGW05 - Generic specifications for clamps & fittings for OPGW.
- REN. (2007). EQPJ/ET/ATE03 - Acessórios da malha de terra dos apoios, 0–12.
- REN. (2007). EQPJ/ET/CCO02 - Cabos de cobre nus para malhas de terra dos apoios.
- REN. (2007). EQPJ/ET/DTP06 - Desenhos de fabrico de estruturas destinadas a aplicação como apoios (postes e pórticos) de linhas da RNT.
- REN. (2007). EQPJ/ET/EME01 - Linhas e Subestações da RNT.
- REN. (2007). EQPJ/ET/ICA02- Isoladores compósitos.
- REN. (2007). ESLN/ET/CCO01 - Cabos de alumínio - aço para linhas aéreas de MAT.
- REN. (2008). Especificações técnicas para a execução de projectos de linhas aéreas de mat.
- REN. (2012). Plano Gestão de Ativos.
- REN. (2015a). Redes Energéticas Nacionais. Retrieved from <https://www.ren.pt/>
- REN. (2015b). Relatório de qualidade de serviço 2015.
- REN. (2015c). Setor Elétrico. Retrieved from http://www.ren.pt/pt-PT/o_que_fazemos/eletricidade/o_setor_eletrico/#5
- REN. (2016a). Análise, desenvolvimento e aplicação de uma metodologia para melhoria do desempenho de linhas aéreas MAT ao serviço e em projecto face a descargas

atmosféricas.

REN. (2016b). Servidão de linhas de transporte de eletricidade.

RSLEAT. (1993). Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão.

Society, I. P. and E., & Committee, S. (2013). *IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations* (Vol. 2012). <http://doi.org/10.1109/IEEESTD.1996.81546>

Teixeira, C. J. C. (2005). Estudo e análise de sobretensões de origem atmosférica em linhas aéreas de transmissão de energia eléctrica.

ZTT. (2016). Cabo OPGW. Retrieved from <http://www.zttcable.com.br/novo-cabo-opgw/>