

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCELO DOS SANTOS CORREIA

**ANÁLISE TÉCNICA DOS EFEITOS DAS DESCARGAS  
ATMOSFÉRICAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO NO ESTADO  
DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CORNÉLIO PROCÓPIO  
2019**

MARCELO DOS SANTOS CORREIA

**ANÁLISE TÉCNICA DOS EFEITOS DAS DESCARGAS  
ATMOSFÉRICAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO NO ESTADO  
DO PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso superior de Engenharia Elétrica da universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dra. Gabriela Helena Bauab Shiguemoto

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2019**



## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Marcelo dos Santos Correia**

### **Análise técnica dos efeitos das descargas atmosféricas em linhas de transmissão no estado do Paraná**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 13:30hs do dia 12/08/2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - Presidente (Orientador)

---

Prof(a). Dr(a). Edson Aparecido Rozas Theodoro - (Membro)

---

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - (Membro)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, José e Maria por sempre terem acreditado em mim, e por todo amor que nunca faltou. Agradeço aos meus amigos que sempre colocaram um sorriso no meu rosto. Obrigado Pedro Henrique, Jonathan, Marcela, Lauana, Jéssica, Larissa, Leonardo, Verônica, Kellen, Anna, Otávio, Diego, Aline, Yuli, Cristina, Pâmela, Bruno, william, Isabella, Lauriene, Andrey, Mayara e Vergínea. Obrigado Vinícius e Guilherme, por todos os momentos bons que tivemos na nossa casa nesse período de faculdade, obrigado por sempre estarem comigo e por ter feito esse tempo mais feliz para mim.

Quero agradecer a duas pessoas muito especiais que me acolheram como parte da família, Darci e Luiz Reginaldo, obrigado por todo amor e carinho.

Agradeço a minha orientadora Gabriela Shiguemoto, por todo apoio, paciência e simpatia, obrigado por todos os ensinamentos, eles ficarão comigo para sempre.

## **RESUMO**

CORREIA, Marcelo. **Análise dos efeitos das descargas atmosféricas em linhas de transmissão no estado do paraná**: 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

O presente trabalho aborda a influência que as descargas atmosféricas têm sobre as linhas de transmissão do sistema elétrico brasileiro de energia, dando enfoque nas linhas de transmissão do estado do Paraná, levando em consideração efeitos técnicos e prejuízos financeiros provenientes da queda das descargas atmosféricas nas linhas de transmissão.

**Palavras-chave:** Transmissão. Linhas. descargas. Atmosféricas.

## **ABSTRACT**

CORREIA, Marcelo. **Analysis of the effects of lightning strikes on transmission lines in the state of Parana**: 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

The present work deals with the influence that atmospheric discharges have on the transmission lines of the Brazilian electric power system, focusing on the transmission lines of the state of Paraná, taking into account technical effects and financial losses from the fall of the atmospheric discharges in the lines transmission.

Keywords: Transmission. Lines. Discharges. Atmospheric.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 NBR 5419/2015.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Descargas atmosféricas .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Tensão induzida por descargas atmosféricas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (spda).....</b>	<b>9</b>
<b>2.5 Relés de proteção (SANTOS, L.S, 2016).....</b>	<b>9</b>
<b>2.6 Relés de proteção em linhas de transmissão (SANTOS, L.S, 2016) ....</b>	<b>10</b>
<b>2.7 Definições básicas de um sistema de proteção (SANTOS, L.S, 2016)</b>	<b>11</b>
<b>2.8 Características do Sistema de Proteção de Linhas de transmissão ...</b>	<b>12</b>
<b>2.9 Rede de transmissão do Brasil .....</b>	<b>13</b>
<b>2.10 Monitoramento .....</b>	<b>15</b>
<b>2.10.1Tempo de atendimento as ocorrências emergenciais .....</b>	<b>17</b>
<b>2.11 Índice cerâmico .....</b>	<b>18</b>
<b>2.12 Efeitos das descargas atmosféricas em linhas de transmissão .....</b>	<b>19</b>
<b>2.12 Descarga no topo de uma torre de linha de transmissão.....</b>	<b>20</b>
<b>2.13 Descarga em um condutor fase .....</b>	<b>20</b>
<b>2.14 Efeito dos cabos de cobertura .....</b>	<b>21</b>
<b>2.15 Prejuízos técnicos e financeiros .....</b>	<b>21</b>
<b>3 Resultados e discussão.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Linha de transmissão It 765 kv itaberá / ivaiporã fur c 2 sp/pr.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Análise de caso linha de transmissão se ponta grossa sul – copel-gt</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Análise de caso linha de transmissão da se curitiba leste – Marumbi</b>	<b>29</b>

<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>32</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é de indiscutível importância para o desenvolvimento de um país, existindo uma relação direta entre aumento do consumo de energia elétrica e o nível de desenvolvimento, sendo de fundamental importância nos mais diversos seguimentos da indústria e comércio. Para chegar até o consumidor, porém, a energia percorre um longo caminho por meio das linhas de transmissão que interligam as mais diversas partes do país, formando o sistema elétrico brasileiro de energia, que é composto por empresas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. Ao percorrer centenas de quilômetros por todo o país, as linhas ficam expostas às mais diversas condições de clima que existem neste país de proporções continentais.

Todos os anos, além de matar mais de 100 pessoas no Brasil (ROMERO, 2015), as descargas atmosféricas também se tornam responsáveis por numerosos desligamentos das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica em todo o mundo, além de causar diversos danos a componentes dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição de energia (ELAT, 2015).

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), estima-se que no Brasil 70% dos desligamentos na transmissão são causados por raios, sendo que esses índices podem ser maiores em regiões de atividades cerâmicas mais elevadas. Na COPEL (Companhia Paranaense de Energia), cerca de 3000 transformadores são queimados por raios todos os anos, o que representa 55% das causas de avaria (ROJAS et al., 2005).

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Diante dos dados anteriormente expostos, é notório o prejuízo financeiro para as companhias de eletricidade de todo o país, e eventuais prejuízos financeiros e morais para os consumidores. Infelizmente não é possível controlar os fenômenos da natureza, muito menos saber onde e quando eles ocorrerão. Porém, com o desenvolvimento tecnológico é possível reduzir os possíveis impactos causados pelos fenômenos da natureza. Hoje já são usados, por exemplo, sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) nas torres de transmissão e sistemas de aterramento mais eficientes. Desta forma, fica clara a necessidade de estudos e pesquisas sobre este tema para o desenvolvimento de novas tecnologias que gerem possíveis soluções para amenizar esses prejuízos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Este presente trabalho tem por objetivo avaliar as interferências técnicas e os prejuízos financeiros provenientes de descargas atmosféricas nas linhas de transmissão do sistema elétrico de energia do estado do Paraná. Fazer um comparativo dos métodos de prevenção de incidentes (provocados por descargas atmosféricas) usados no sistema elétrico brasileiro em geral, com os usados no sistema do estado do Paraná e verificar a quantidade de incidentes em ambos.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Descrever os principais métodos utilizados para proteger as linhas de transmissão contra descargas atmosféricas na atualidade;
- Fazer uma breve análise dos sistemas de SPDA utilizados atualmente;
- Estudar o desempenho das linhas frente as descargas atmosféricas;
- Sugerir possíveis melhorias nos atuais sistemas utilizados;

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados conceitos básicos a respeito do estudo de linhas de transmissão e descargas atmosféricas.

### 2.1 Projeto de linhas de transmissão

A norma NBR-5422 da ABNT de 1985, Projeto de Linha Aérea de Transmissão de Energia Elétrica, rege as condições básicas para o projeto de uma linha de transmissão de energia elétrica com tensão máxima, valor eficaz fase-fase, acima de 38kV e não superior a 800 kV, de modo a garantir níveis mínimos de segurança e limitar perturbações em instalações próximas. Esta norma é dividida em 13 (treze) itens e 3 (três) anexos. O seu conteúdo é composto por:

- Normas complementares – Normas para a correta padronização de serviços e materiais de uma Linha de Transmissão;
- Definições – Linguagem mais utilizada por engenheiros;
- Parâmetros meteorológicos - Definições, tabelas e fatores para correção;
- Cabos condutores e para-raios - define os padrões e as normas relativas que os condutores e para-raios devem se enquadrar, como carga, temperatura e flecha dos cabos;
- Isoladores e ferragens – especificações para a elaboração do projeto bem como as normas complementares;
- Suportes e fundação – cita as normas que o projeto de fundação e os suportes devem seguir, e uma breve descrição das hipóteses de carga e tipo de fundação;
- Esforços mecânicos – cita os esforços a que toda a estrutura está submetida e todo o método de cálculo destes esforços;
- Aterramento – apenas recomendações sobre o aterramento, pois o mesmo deve ser feito de acordo com o projetista da linha;
- Distância de segurança – demonstra como calcular a distância de segurança;
- Travessias – cita todos os tipos de travessias e os critérios a serem utilizados;
- Faixa de segurança – método de cálculo para uma ou mais linhas;
- Sinalização –NBR's que devem ser consultadas.

A função principal dos cabos de guarda ou para-raios das linhas de transmissão, é a de interceptar as descargas atmosféricas e evitar que atinjam os condutores, reduzindo assim as possibilidades de ocorrerem interrupções no fornecimento de energia pelas linhas. Subsidiariamente, podem ser usados como condutores para sistemas de telemedicação ou comunicação por onda portadora. Neste caso, deverão ser isolados dos suportes por isoladores de baixa tensão disruptiva, e que perdem sua condição isolante sob a ação das sobretensões atmosféricas, para permitir sua condução ao solo, sendo para tanto equipados com centelhadores. (P. R. LABEGALINI, J. A. LABEGALINI, FUCHS, ALMEIDA, 1992)

São os seguintes cabos empregados, igualmente eficientes em sua função principal:

1 – CORDOALHA DE FIOS DE AÇO, ZINCADA – Fabricados e especificados no Brasil pela NBR 5908.

A zincagem em geral a quente, é feita com 3 categorias de espessura, A, B e C, sendo a primeira a mais comumente usada.

Sua especificação é feita pelo tipo, classe de galvanização e diâmetro nominal.

2 – CABOS CAA EXTRA-FORTES – Quando se deseja cabos com menos atenuação, empregam-se esse tipo de cabo, que se distinguem-se por sua menor relação área de alumínio/área de aço.

Próprios para uso em linhas com para-raios isolados, quando se emprega sistemas de ondas portadoras ligado aos para-raios.

3 – CABOS AÇO-ALUMÍNIO – Confeccionados com fios de aço extrafortes revestidos de espessa camada de alumínio. Indicados para atmosferas agressivas ao aço galvanizado e também quando se deseja usar para-raios com onda portadora (P. R. LABEGALINI, J. A. LABEGALINI, FUCHS, ALMEIDA, 1992).

## 2.2 Descargas atmosféricas

A descarga atmosférica, popularmente conhecida como raio, é em uma intensa descarga elétrica que ocorre na atmosfera. Trata-se de um fenômeno que se expressa através do fluxo de uma corrente impulsiva de alta intensidade e curta duração, cujo percurso de alguns quilômetros parte da nuvem e, em alguns casos, atinge a superfície da Terra. ELAT(2009).

**Figura 1 - Aspecto de descargas atmosféricas nuvem-solo.**



**Fonte: ELAT (2015)**

Apesar do fenômeno das descargas atmosféricas sempre ter causado transtornos ao longo da história da humanidade, pesquisas tentando obter informações sobre as características elétricas dos raios, só foram iniciadas por volta do século XVII. Na Europa e nos EUA, foram realizadas experiências com o intuito de demonstrar as características elétricas dos raios, mostrando a possibilidade de captação das descargas atmosféricas (BENITEZ, 2006).

O cientista e inventor Benjamin Franklin propôs, pela primeira vez, um método de proteção contra raios de um edifício, colocando uma ponta metálica de aproximadamente 3,0 metros acima da casa e em contato com a terra, onde ela deveria conduzir a descarga para a terra, sem que o edifício sofresse danos. Esta é a base do sistema de proteção conhecido hoje como método Franklin.

Somente a partir daí os estudos sobre sistemas de proteção contra descargas atmosféricas passaram a ser estudados e aprimorados.

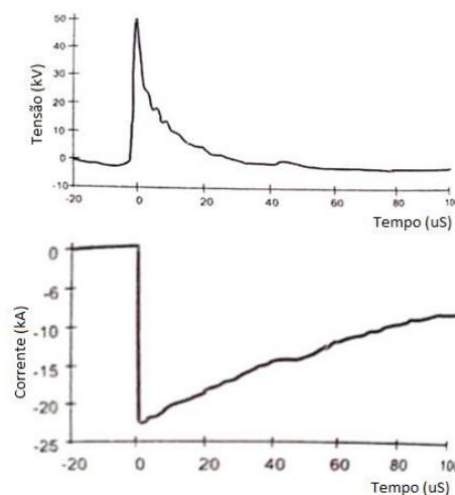
### 2.3 Tensão induzida por descargas atmosféricas

A corrente que flui pelo canal ionizado constituído entre nuvem e solo durante o estabelecimento de uma descarga atmosférica promove tensões induzidas em corpos próximos ao ponto de incidência. Essas tensões são as principais fontes de danos nas linhas de energia e em circuitos de baixa tensão em geral, incluindo as redes de telecomunicações. Constituem, ainda, a origem de interferência eletromagnética em sistemas e equipamentos, que em muitos casos, resulta na corrupção de dados transmitidos em sistemas de comunicação através de sistemas elétricos.

Na linha de transmissão, associada a onda de tensão, é também estabelecida uma onda de corrente. Ambas as ondas se propagam ao longo da linha. Para descargas próximas a linha, a amplitude destas tensões não raramente ultrapassa a ordem de 100 kV, alcançando valores suficientes para promover a ruptura do isolamento de redes elétricas de média e baixa tensão.

Para fins de ilustração, a figura 2 mostra uma onda real de tensão induzida entre fase e neutro em uma linha de distribuição experimental. A tensão foi gerada por uma descarga atmosférica induzida por foguete, cuja corrente de retorno indicada alcançou um valor de pico de 23 kA (BARKER et al, 1996).

**Figura 2: Onda de tensão induzida**



**Fonte: BARKER et al (1996).**

## **2.4 Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA)**

Os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas protegem as edificações, equipamentos, instalações elétricas e de telecomunicações, reduzindo os danos impostos as estruturas, os impactos dos desligamentos e manutenções corretivas. Esses sistemas tem a função de proteção captando e direcionando a corrente elétrica proveniente da queda de raios para sistemas de aterramento.

A primeira função é neutralizar não só o poder de atração das pontas, mas também o crescimento do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens, através do escoamento de cargas elétricas para a terra. A segunda função é oferecer à descarga elétrica um caminho preferência, de baixa impedância, reduzindo os riscos decorrentes da sua incidência (SOUZA, 2014).

No Brasil, a Norma conhecida como NBR 5419 (Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas) norteia as condições de projeto, instalação e manutenção de SPDA's para proteger edificações e estruturas contra a incidência direta de descargas atmosféricas.

Ressalva-se que a proteção se aplica também a equipamentos e pessoas que se encontrem no interior destas edificações e estruturas ou no interior da proteção imposta pelo sistema de proteção instalado.

## **2.5 Relés de proteção (SANTOS, L.S, 2016)**

Os relés de proteção são de fundamental importância na proteção de sistemas elétricos de potência. De forma lógica, estes conseguem distinguir uma corrente de curto circuito de uma corrente de carga, podendo distinguir também, diferentes locais de falta.

Através da corrente, tensão e ângulo entre elas, é possível distinguir correntes de carga de correntes de curto-circuito. As correntes de curto-circuito são geralmente maiores que as correntes de carga, e o ângulo de atraso da corrente em relação à tensão é, em geral, maior para correntes de curto circuito do que para correntes de carga.

Desta forma, os relés de proteção contra faltas, usam a tensão e a corrente como grandezas características de entrada. Uma vez que as correntes de falta estão sempre atrasadas, o ângulo entre a tensão e a corrente, além de

indicar o tipo de corrente, mostra a direção da corrente de falta. Outra relação, a razão entre a tensão e a corrente determina a distância entre o local do relé e a falta. Sabe-se ainda que faltas próximas provocam correntes grandes, baixa tensão, e enquanto defeitos mais distantes provocam correntes menores e tensões não tão baixas.

Em sistemas de proteção existem diversos tipos de relés, tendo cada um deles a sua aplicação específica, dentre eles: relé de sobrecorrente temporizado e instantâneo, relé de sobrecorrente direcional, relé de distância, relé diferencial, relé de subtensão e o relé de sobretensão. A associação de disjuntores e relés deve atuar de modo a proteger um sistema dos efeitos do curto-circuito nos equipamentos e com o objetivo de minimizar os danos nos equipamentos com falta. O sistema de proteção tem como principal objetivo evitar que as falhas no sistema produzidas por curto-circuito possam danificar equipamentos, este deve ainda promover um rápido restabelecimento de energia do sistema evitando danos aos consumidores, e garantindo qualidade no fornecimento de energia.

A proteção dos sistemas elétricos também visa monitorar dados com o intuito de se estudar posteriormente as causas das “falhas” ocorridas.

## **2.6 Relés de proteção em linhas de transmissão (SANTOS, L.S, 2016)**

Devido às suas grandes extensões, as linhas de transmissão possuem grande probabilidade de sofrer faltas, principalmente devido a descargas atmosféricas. Desta forma, a proteção é um fator indispensável em um sistema de transmissão.

Devido as dimensões de uma linha de transmissão, é inviável a comparação entre corrente de entrada e corrente de saída do circuito, sendo proposto que a relação entre tensão e corrente fornece uma impedância, sendo que no caso de um curto na linha transmissão, seria verificada uma impedância proporcional entre o relé e o ponto de falta. Deve-se ressaltar, no entanto, que imprecisões na localização da falta pode levar a atrasos no reestabelecimento da energia.



Nas linhas de transmissão usa-se os relés de distância, pois este mede de forma precisa a distância entre ele e a falta. Juntamente com esta medida, utiliza-se a teleproteção, que consiste em abrir simultaneamente os disjuntores das duas extremidades da linha afim de isolar a falta.

## **2.7 Definições básicas de um sistema de proteção (SANTOS, L.S, 2016)**

**Componente do sistema de potência:** Com exceção do reator shunt de linha de transmissão que é considerado um componente mesmo sem um disjuntor próprio, um componente do sistema de potência é todo equipamento instalado entre dois disjuntores, elos fusíveis ou religadores automáticos.

**SISTEMA:** conjunto de equipamentos e funções necessárias para desempenho adequado na operação da instalação e da rede básica, aplicados na proteção, supervisão, controle ou telecomunicações.

**SISTEMA DE PROTEÇÃO:** Conjunto de equipamentos composto por relés de proteção, relés auxiliares, equipamentos de teleproteção e acessórios destinados a realizar a proteção em caso de falhas elétricas, tais como curtos-circuitos, e de outras condições anormais de operação dos componentes de um sistema elétrico (linhas de transmissão, barramentos e equipamentos).

**PROTEÇÃO UNITÁRIA OU RESTRITA:** É a proteção que detecta e elimina seletivamente e sem retardo de tempo intencional, falhas que ocorram apenas no componente protegido. Por exemplo: esquemas de comunicação direta relé a relé, esquemas de teleproteção, proteções diferenciais e os esquemas de comparação de fase.

**PROTEÇÃO GRADATIVA OU IRRESTRITA:** Detecta e elimina falhas que ocorram no componente protegido além de fornecer proteção adicional para componentes adjacentes. Em sua aplicação como proteção de retaguarda, sua atuação é coordenada com a atuação das proteções dos equipamentos adjacentes por meio de retardo de tempo intencional.

**PROTEÇÃO DE RETAGUARDA:** Atua na presença de eventual falha de outro sistema de proteção. Sendo proteção de retaguarda local quando esse sistema está instalado no mesmo local do sistema de proteção a ser coberto, e

sendo proteção de retaguarda remota quando está instalado em local diferente daquele onde está o sistema de proteção a ser coberto.

**PROTEÇÃO PRINCIPAL:** esquema de proteção composto por um sistema de proteção unitária ou restrita e um sistema de proteção gradativa ou irrestrita.

**PROTEÇÃO ALTERNADA:** esquema composto por um sistema de proteção unitária ou restrita e por um sistema de proteção gradativa ou irrestrita, funcionalmente idêntico à proteção principal, porém completamente independente da mesma.

**PROTEÇÃO INTRÍNSECA:** conjunto de dispositivos de proteção normalmente integrados aos equipamentos, tais como relés de gás, válvulas de alívio de pressão, sensores de temperatura, sensores de nível etc.

## **2.8 Características do Sistema de Proteção de Linhas de transmissão**

O sistema de proteção de linha de transmissão é composto pelo conjunto de relés, equipamentos e acessórios instalados nos terminais da linha, necessários e suficientes para a detecção e eliminação, de forma seletiva, de todos os tipos de faltas – com ou sem resistência de falta - e de outras condições anormais de operação.

Os sistemas de proteção devem ser selecionados de acordo com as características da linha de transmissão a ser protegida. Linhas de transmissão curtas, por exemplo, não devem utilizar esquemas de proteção com funções ajustadas em subalcance.

Os sistemas de proteção compostos por relés de distância devem ter as seguintes funções:

- Funções de distância (21/21N) para detecção de faltas entre fases e entre fases e terra, com temporizadores independentes por zona;
- Função de sobrecorrente direcional de neutro (67N), com unidades instantâneas e temporizadas para complementação da proteção de distância para faltas a terra independentes das funções de medição de distância;
- Função para a detecção de faltas que ocorram durante a energização da linha de transmissão (50LP - switch onto fault);

- Função para detecção de oscilações de potência e bloqueio das unidades de distância (68OSB). Se a proteção unitária ou restrita for realizada por relés de distância, o esquema de teleproteção deve atender aos seguintes requisitos:

- a. A seleção da(s) lógica(s) de teleproteção a ser(em) adotada(s) em cada caso deve levar em conta o sistema de telecomunicação utilizado, os efeitos das variações das impedâncias das fontes, o comprimento relativo da linha de transmissão, acoplamentos magnéticos com outras linhas de transmissão e a existência de compensação série;
- b. A unidade instantânea da proteção de sobrecorrente direcional de neutro (67 N) deve atuar incorporada ao esquema de teleproteção selecionado;
- c. Em esquemas de teleproteção por sobrealcance devem ser utilizadas lógicas de bloqueio temporário para evitar operação indevida durante a eliminação sequencial de faltas em linha de transmissão paralelas (transient blocking);
- d. Os esquemas de teleproteção do tipo permissivo por sobrealcance devem ter lógicas para a devolução de sinal de disparo (echo) e para proteção de terminais com fraca alimentação (weak infeed). (SANTOS, L.S, 2016)

## **2.9 Rede de transmissão do Brasil**

### Linhas de transmissão

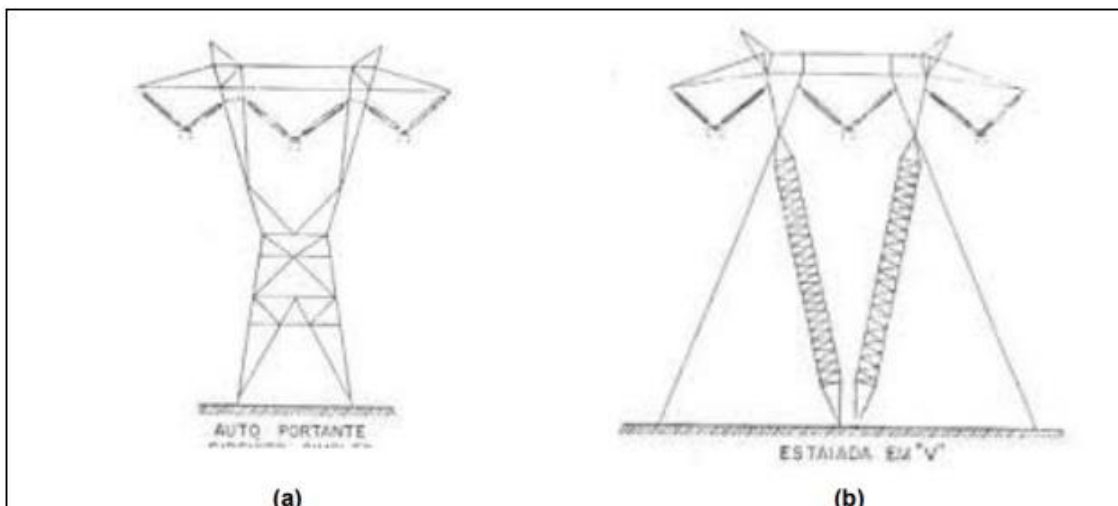
Desde a descoberta da eletricidade por volta do século XVII até hoje, não foi possível estabelecer um método de transmiti-la por outro meio que não seja o físico, pelo menos não de forma eficiente e viável financeiramente. O método selecionado e usado até hoje para encaminhar a energia das usinas, sejam elas hidrelétricas, eólicas, solares, etc., até os centros consumidores são as linhas de transmissão, que são condutores através dos quais energia elétrica é transportada de um ponto transmissor a um terminal receptor.

As linhas de transmissão são basicamente constituídas por fios condutores metálicos suspensos em torres, que por sua vez também são metálicas, por meio de isoladores cerâmicos ou de outros materiais de boa propriedade isolante. Sabe-se porém que os sistemas de potência são trifásicos, o que explica a existência de três conjuntos de cabos de cada um dos lados das torres, sendo estes acompanhados por um cabo de tamanho maior, no topo, que

é o conhecido popularmente como para-raios, ou também chamado de cabo guarda (ABRADEE, 2010).

A figura a seguir mostra dois tipos de torres de transmissão:

**Figura 3: (a) Torre autoportante e (b) Torre estaiada**



**Fonte: Copel (2014).**

O mapa das linhas de transmissão pertencentes ao Sistema Interligado Nacional SIN é mostrado na Fig.1. O sistema de transmissão da usina binacional de Itaipu é composto por cinco linhas de transmissão com extensão de 900 km, sendo três linhas em corrente alternada de 750 kV e duas em corrente contínua de aproximadamente 600 kV.

Através das linhas em corrente contínua o Brasil importa do Paraguai a energia gerada em 50 Hz em Itaipu. Com as usinas do rio Madeira, Santo Antônio e Jirau, linhas de transmissão serão construídas para o Acre, Rondônia e Mato Grosso em 230 kV, além de dois circuitos paralelos de pouco mais de 2 km de extensão em aproximadamente 600 kV que ligarão as regiões Norte (Rondônia) e Sudeste (São paulo) do país. A usina de Tucuruí que fica situada no Pará é ligada ao sudeste do país por meio de uma linha de 500 KV (BINACIONAL, 2010).

Figura 4: Rede de transmissão do Brasil



(SISTEMA, 2015).

## 2.10 Monitoramento

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), estima-se que no Brasil 70% dos desligamentos na rede de transmissão são causados por descargas atmosféricas, sendo que esses índices podem ser maiores em regiões de atividades cerâmicas mais elevadas. O SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) é a principal fonte de dados sobre descargas atmosféricas ou outras informações de natureza meteorológica, hidrológica e ambiental no estado do Paraná. O mesmo tem seu sistema em operação desde 1996, com uma central de processamento em Curitiba e seis sensores espalhados pelo estado, instalados em Foz do Iguaçu, Foz do Areia, Paranaíba, Ivaiporã, Curitiba e Paranaíba, e ainda um sensor em Chavantes (no estado de São Paulo) (BENETI et al., 1998).

Em 1998, um Convenio de Cooperação Técnico-Científica, firmado entre a COPEL (Companhia Paranaense de Energia) através do SIMEPAR, a

CEMIG e FURNAS, integrou os sistemas de detecção de descargas atmosféricas operados por estas empresas formando a Rede Integrada de Detecção de Descargas Atmosféricas no Brasil (RIDAT) (BENETI et al., 1998).

As empresas que participam da RIDAT utilizam dois tipos básicos de sensores: LPATS serie III (no caso do SIMEPAR e CEMIG) e série IV (em FURNAS) e IMPACT. A figura 3 apresenta os sensores (localização e tipo de sensor) atualmente instalados e em uso no Brasil. As diferenças entre os dois tipos de sensores estão, principalmente, na forma de processamento da localização das descargas de raios e no número mínimo de sensores para identificação da descarga atmosférica: · LPATS III e IV empregam o algoritmo TOA (tempo de chegada) para detectar e localizar raios, sendo necessário um mínimo de 3 sensores (atualmente as centrais de processamento da RIDAT utilizam mínimo de 4 sensores) para definir com precisão a localização do evento; · IMPACT (IMProved Accuracy from Combined Technology) que emprega uma combinação do algoritmo TOA e de MDF (Magnetic Direction Finding ou busca de direção magnética), necessitando apenas dois sensores deste tipo para localizar descargas atmosféricas (BENETI et al., 1998).

Na figura abaixo, mostra-se os tipos de sensores usados em cada cidade:

**Figura 5: Lista de sensores de detecção de descargas atmosféricas da RIDAT no Brasil**

Cidade	UF	Empresa	Sensor	Cidade	UF	Empresa	Sensor
Serra da Mesa	GO	FURNAS	LPATS IV	Capitão Enéas	MG	CEMIG	LPATS III
Brasília	DF	FURNAS	IMPACT	Emborcação	MG	CEMIG	LPATS III
Rio Verde	GO	FURNAS	LPATS IV	Lavras	MG	CEMIG	LPATS III
Vitória	ES	FURNAS	LPATS IV	Belo Horizonte	MG	CEMIG	LPATS III
Rio de Janeiro	RJ	FURNAS	LPATS IV	Cachoeira Pt.	SP	INPE	IMPACT
Jupia	SP	FURNAS	LPATS IV	Foz do Iguaçu	PR	SIMEPAR	LPATS III
Ibiúna	SP	FURNAS	LPATS IV	Foz do Areia	PR	SIMEPAR	LPATS III
Manoel Ribas	PR	FURNAS	IMPACT	Paranavaí	PR	SIMEPAR	LPATS III
Volta Grande	MG	CEMIG	IMPACT	Chavantes	PR	SIMEPAR	LPATS III
Três Marias	MG	CEMIG	IMPACT	Curitiba	PR	SIMEPAR	LPATS III
Ipatinga	MG	CEMIG	LPATS III	Paranaguá	PR	SIMEPAR	LPATS III

**Fonte: BENETI et al., 1998**

Na rede da COPEL, o monitoramento em tempo real das tempestades elétricas tem sido de grande importância, pois assim é possível fazer o manejo adequado do sistema, e também o acionamento prévio das equipes de manutenção, diminuindo os tempos de desligamento.

## 2.10.1 Tempo de atendimento as ocorrências emergenciais

Segundo a ANEEL, o atendimento às ocorrências emergenciais é avaliado por meio de indicadores vinculados a conjuntos de unidades consumidoras. Esses indicadores são apurados mensalmente pelas distribuidoras para cada conjunto de unidades consumidoras e são expressos em minutos. De acordo com a Resolução Normativa ANEEL n. 482, de 17 de abril de 2012 os indicadores disponíveis são:

- Tempo Médio de Preparação (TMP): Valor médio correspondente aos Tempos de Preparação das equipes de emergência, para o atendimento às ocorrências emergenciais verificadas em um determinado conjunto de unidades consumidoras, no período de apuração considerado;
- Tempo Médio de Deslocamento (TMD): Valor médio correspondente aos Tempos de Deslocamento - TD das equipes de emergência, para o atendimento às ocorrências emergenciais verificadas em um determinado conjunto de unidades consumidoras, no período de apuração considerado;
- Tempo Médio de Execução (TME): Valor médio correspondente aos Tempos de Execução - TE pelas equipes de emergência, para o atendimento às ocorrências emergenciais verificadas em um determinado conjunto de unidades consumidoras, no período de apuração considerado;
- NUMOCORR - Numero de Ocorrências Emergenciais;
- NIE - Número de Ocorrências Emergenciais com Interrupção de Energia Elétrica;

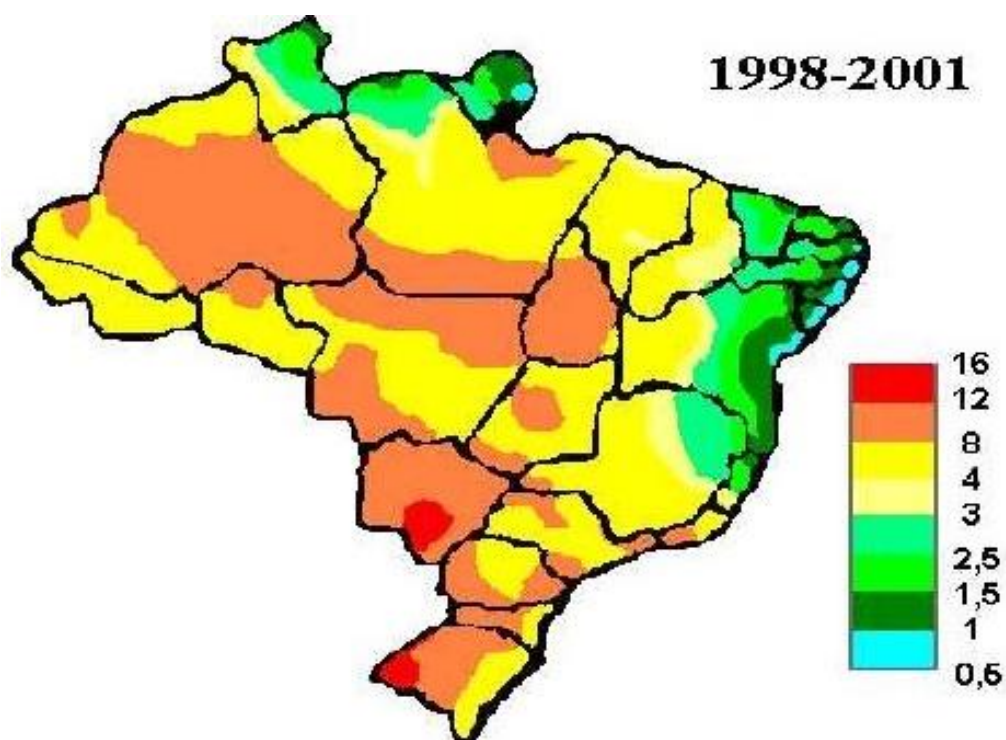
Estas informações estão disponíveis desde 2009. Os relatórios apresentam as informações enviadas para cada conjunto de unidades consumidoras e as médias para as distribuidoras. As definições aplicáveis dos conjuntos de unidades consumidoras, indicadores, ocorrências emergenciais e demais termos aplicáveis se encontram no Módulo 1 do PRODIST, que são documentos elaborados pela ANEEL e normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. O regulamento que dispõe sobre a forma de

apuração desses indicadores e o Módulo 8 do PRODIST. Os valores são informados pelas distribuidoras em até um mês após a apuração do indicador, e são passíveis de fiscalização pela ANEEL.

## 2.11 Índice ceráunico

Este índice indica o número de dias de trovoadas numa determinada região por ano. Assim sendo, quanto maior o índice, maior a probabilidade de trovoadas naquela região. Abaixo tem-se o mapa isoceráunico do Brasil:

**Figura 6: Mapa Ceráunico do Brasil**



Fonte: (ELAT, 2002).

Nos estados de Santa Catarina e Paraná este índice está entre 40 e 60 dias de tempestades por ano.

Segue na tabela abaixo os Índices Ceráunico de algumas localidades do sul e sudeste do Brasil:



Tabela 1 – Índice Cerâmico

Cidade	Índice Cerâmico
Florianópolis	54
Blumenau	70
Joinville	76
Curitiba	53
Londrina	84
São Paulo	38
Rio de Janeiro	24

Fonte: Autoria própria

## 2.12 Efeitos das descargas atmosféricas em linhas de transmissão

As sobretensões causadas por descargas atmosféricas em linhas de transmissão podem se dar de 3 diferentes formas, sendo elas:

- Sobretensões causadas por cargas estáticas: Ocorrem nas linhas de transmissão pelo fato de haver nuvens carregadas sobre elas, e estas estão em constante movimento devido a ação dos ventos. Devido a atenuação causada pelos para-raios, essas sobretensões são as menos perigosas e danosas para as linhas.
- Sobretensões causadas por descargas indiretas: Quando ocorrem descargas atmosféricas nas proximidades das linhas de transmissão, sobretensões transitórias são geradas nas linhas por indução eletrostática e eletromagnética. Esse é o tipo de sobretensão mais comum em linhas de transmissão e distribuição. A severidade das sobretensões e os danos por elas causados, serão definidos pela intensidade da descarga e pela distância entre as estruturas (linhas) e o ponto de ocorrência da descarga. Existem relatos de sobretensões da ordem de 200 kV e 75 kA. (Gilberto, E.H).
- Sobretensões causadas por descargas diretas: Esse tipo de descarga é o que gera danos mais severos às estruturas e instalações das linhas. As sobretensões geram correntes instantâneas da ordem de 100 kA, ocasionando efeitos térmicos indesejáveis. A onda de sobretensão gerada se divide em outras

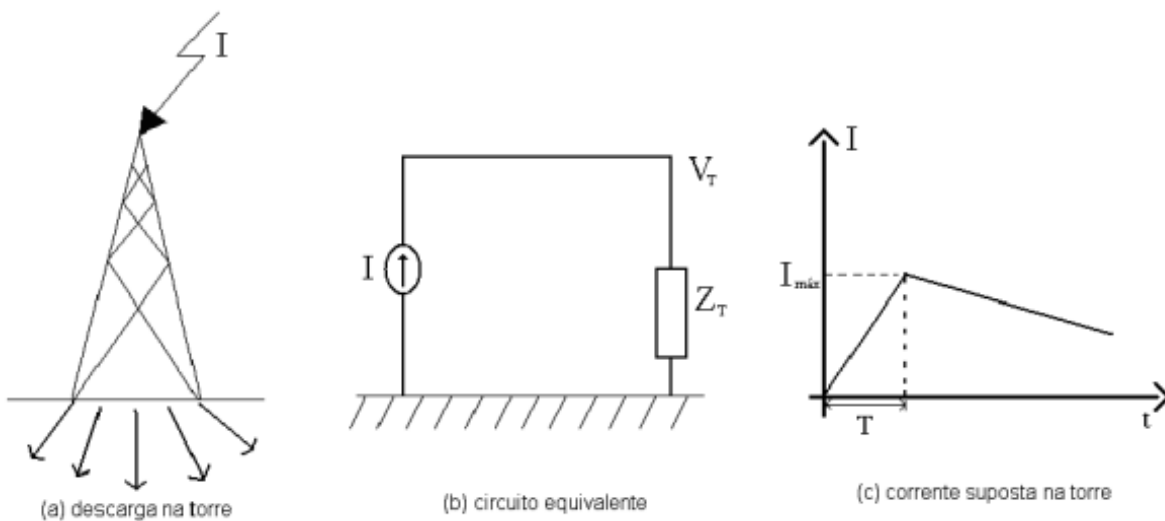
duas ondas viajantes de tensão, que viajam para ambos os lados da linha na velocidade da luz no espaço. (Gilberto, E.H).

### 2.12 Descarga no topo de uma torre de linha de transmissão

Para essa análise considera-se a torre da linha de transmissão como um condutor com uma impedância  $Z_T$ , quando a torre é atingida por uma corrente  $I$  proveniente da descarga atmosférica.

Levando-se em consideração que a impedância de torre é tipicamente da ordem de  $150\Omega$  (HEDMAN, 1978), a sobretensão  $V_T$  pode ser dada por  $V_T = Z_T * I$ . Ressalta-se que esta análise foi feita desconsiderando aspectos provenientes dos cabos de cobertura e da resistência de pé de torre das torres adjacentes.

Figura 7 – descarga atmosférica no topo de uma torre



Fonte: NOVO, 2009

### 2.13 Descarga em um condutor fase

Quando uma descarga atmosférica atinge um condutor fase de uma linha de transmissão é gerada uma tensão sobre ele em relação ao potencial de terra,

devido a impedância do próprio condutor. A tensão no condutor pode ser dada pela seguinte equação:  $V_{\text{condutor\_terra}} = I * Z_{\text{condutor}}/2$ , onde  $Z_{\text{condutor}}$  é a impedância do próprio condutor terra na horizontal, cujo valor tipicamente é de  $360\Omega$ . Estudos mostram que para valores de correntes da ordem de 10 kA a sobretensão no condutor terra fica na ordem de 1,8 MV, valor esse que supera os valores de tensões suportáveis pelos isoladores de diversos sistemas elétricos de transmissão. (HEDMAN, 1978)

### **2.14 Efeito dos cabos de cobertura**

A função dos cabos de cobertura ou para-raios é desviar a corrente de descarga que cai sobre a linha de transmissão e a corrente de curto-circuito que é gerada entre um ou mais condutores fases. Esse desvio pode ser interpretado como o aterramento dessas correntes nas subestações mais próximas das torres onde elas surgiram, uma vez que há nessas instalações estruturas de aterramento mais seguras. (NOVO,2009)

A presença dos cabos é responsável então por reduzir a corrente de descarga que flui através da impedância da torre, o que reduz também o seu potencial.

### **2.15 Prejuízos técnicos e financeiros**

A Agência Nacional de Energia Elétrica, vinculada ao ministério de minas e energia, tem dentre suas missões, o dever de regular e fiscalizar o sistema elétrico de energia do Brasil.

A resolução normativa número 63 da ANEEL do ano de 2004 trata sobre penalidades impostas aos agentes do sistema elétrico brasileiro, no caso de descumprimento às normas que regem o funcionamento do sistema.

Observa-se abaixo uma tabela demonstrativa das penalidades impostas a alguns agentes de transmissão, e o valor aproximado das multas em decorrência de descargas atmosféricas, considerando um percentual de 18%.

:

**Figura 8 – Penalidades impostas a agentes de transmissão.**

Empresa	Natureza da fiscalização	Data da notificação	Penalidade	Valor estimado em decorrência das descargas atmosféricas
<b>CHESF</b>	Técnica – Operação/Manutenção	13/08/2014	591.751,94	106.515,34
<b>CHESF</b>	Técnica – Ocorrência/Perturbações	25/06/2013	1.600.983,34	288.177
<b>ELETRONORTE</b>	Técnica – Operação/Manutenção	25/02/2016	303.103,96	54.558,72
<b>ELETRONORTE</b>	Técnica – Operação/perturbações	18/10/2013	5.016.488,66	902.967,96
<b>FURNAS</b>	Técnica – Operação/Manutenção	29/12/2016/	1.525.706,92	274;627,24
<b>FURNAS</b>	Técnica – Operação/Manutenção	10/07/2014	391.206,90	70.417,242

**Fonte: ESTEVES, M.J**

Pode-se notar que as multas são de valores elevados, e que a reincidência deve aumentar ainda mais esse valor.

É possível observar que a ELETRONORTE dentre as empresas foi a mais afetadas financeiramente. Mas vale ressaltar também que esta, encontra-se em uma região de alto índice Ceráunico como foi mostrado na figura 6.

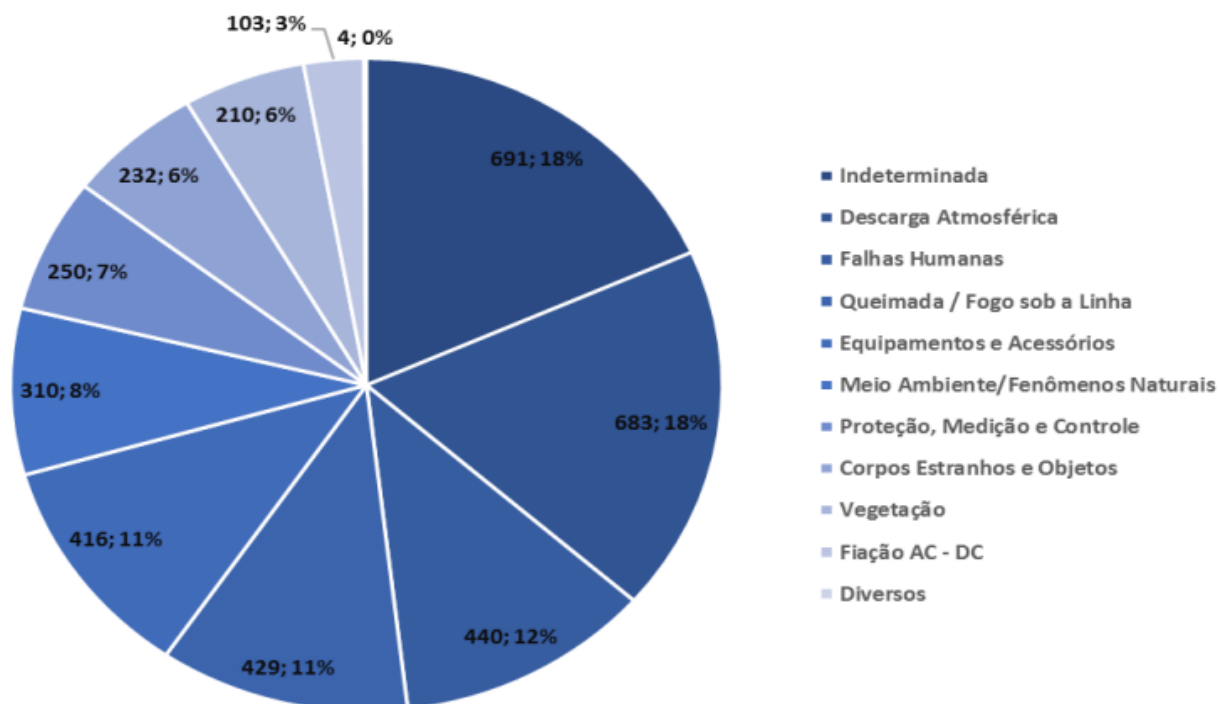
### 3 Resultados e discussão

Até setembro de 2018, o sistema brasileiro de energia era composto por 198 contratos distribuídos para 123 concessionários, responsáveis pela manutenção e operação de aproximadamente 132 mil km de linhas de transmissão em tensões que variavam de 138 a 800 kV e cerca de 500 subestações (Costa et al., 2017; ONS, 2016) com capacidade de transformação instalada superior 320 GVA (ANEEL, 2017)

Entre 1º de julho de 2016 e 30 de junho de 2017, foram registrados 3.768 desligamentos forçados, de origem interna ou secundária, em equipamentos e linhas de transmissão da Rede Básica e da Rede Complementar do Sistema Interligado Nacional – SIN. Sendo que 75,6% dos desligamentos ocorreram em linhas de transmissão e 95,5% na Rede Básica. (ANEEL, 2018)

A figura abaixo mostra a classificação dos desligamentos no período. Percebe-se que as causas indeterminadas, as descargas atmosféricas e as falhas humanas foram responsáveis por 48% das ocorrências no período.

Figura 9 – Variação das causas de desligamentos forçados entre o último ciclo de análise e o



Fonte: MELO (2019)

A figura a seguir, mostra um comparativo entre as causas dos desligamentos nos três últimos ciclos de análises:

**Figura 10 – Variação das causas de desligamentos forçados entre o último ciclo de análise e o ciclo de análise 2015/2016.**

Causa	2014/2015	2015/2016	2016/2017	Variação em relação ao último ciclo
Indeterminada	957	886	691	-22,01%
Descarga Atmosférica	486	614	683	11,24%
Equipamentos e Acessórios	375	428	416	-2,80%
Queimada / Fogo sob a Linha	346	394	429	8,88%
Falhas Humanas	480	394	440	11,68%
Proteção, Medição e Controle	201	239	250	4,60%
Corpos Estranhos e Objetos	73	175	232	32,57%
Fiação AC - DC	129	168	103	-38,69%
Vegetação	148	162	210	29,63%
Meio Ambiente/Fenômenos Naturais	76	157	310	97,45%

**Fonte: MELO (2019)**

É possível observar que, houve diminuição no número absoluto de desligamentos com causas indeterminadas e por fiação, porém, houve aumento de desligamentos em todas as outras causas, inclusive nos desligamentos por descargas atmosféricas, que registrou um aumento de 11,24%.

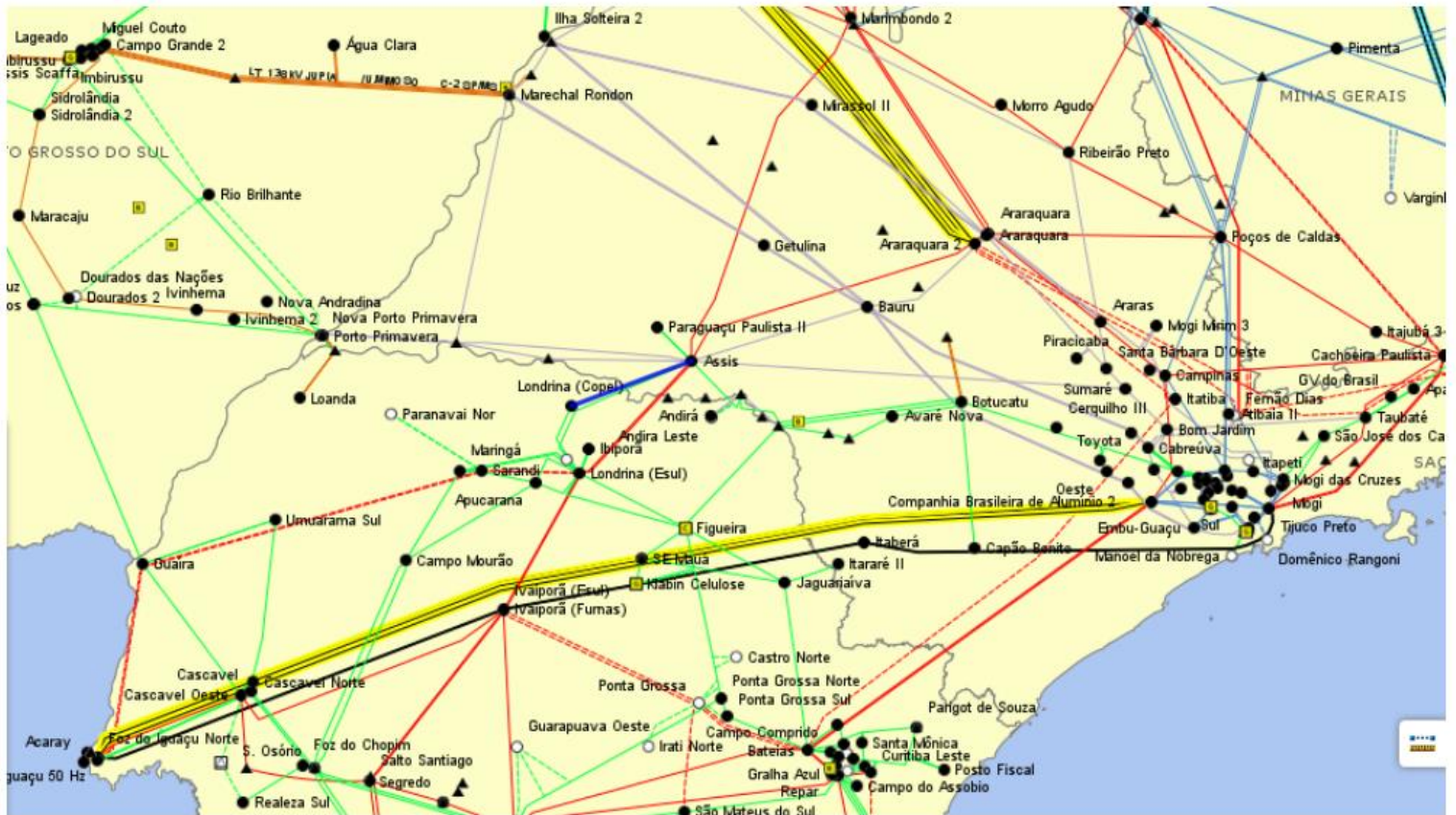
O comportamento observado em relação aos desligamentos forçados pode ser explicado pelas campanhas de fiscalização realizadas ao longo de 2016 e 2017, que objetivaram a redução de desligamentos respectivamente com causas indeterminadas e por falhas em equipamentos e acessórios. Sendo que um maior esforço dos Agentes para a classificação das causas dos desligamentos que antes eram informados ao ONS sem que as causas fossem identificadas, explica em parte o aumento de desligamentos que foram classificados nas demais causas e tipologias. (ANEEL, 2018)

No caso dos desligamentos por descargas atmosféricas, as campanhas de fiscalização em nada influenciam, uma vez que como já foi dito no presente trabalho, não é possível evitar tais fenômenos naturais.

## ANÁLISE DE CASO – LINHAS DE TRANSMISSÃO NO ESTADO DO PARANÁ

### Linha de transmissão 230 kv Londrina esu / Assis c 1PR/SP

Figura 11 – ilustração linha transmissão 230 kV Londrina ESU / Assis C 1 PR/SP



Fonte: ANEEL (2018)

No período analisado, a linha de transmissão de 230 kV, em operação comercial desde 15/05/2005 com 156,1 km de extensão, foram observados 19 desligamentos, resumidos na figura abaixo:

Figura 12 - Resumo das perturbações

Data	Descrição do Local	Descrição da Causa	Descrição da Natureza Elétrica
15/11/16 19:24	Condutor	Aeronave	Fase-Terra
28/2/17 12:04	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/2/17 12:04	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/2/17 12:04	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/2/17 12:36	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/2/17 12:36	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/2/17 15:39	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 12:57	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 12:57	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 13:07	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 13:20	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 13:20	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 13:26	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 13:35	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 13:47	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 13:56	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 14:04	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 14:11	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
1/3/17 14:33	Condutor	Vegetação	Fase-Terra

Fonte: ANEEL (2012)

Observa-se que um dos desligamentos foi causado por um acidente envolvendo uma aeronave. Todos os demais foram por conta da vegetação. Portanto nenhum dos desligamentos envolveu descargas elétricas.



### 3.1 Linha de transmissão LT 765 KV ITABERÁ / IVAIPORÃ FUR C 2 SP/PR

Na análise dos desligamentos da linha de transmissão de 765 kV (ITABERÁ / IVAIPORÃ FUR C 2 SP/PR) com 272km de extensão e religamento automático configurado de 1s monopolar e 5s tripolar, foram constatadas 16 ocorrências dispostas na figura abaixo:

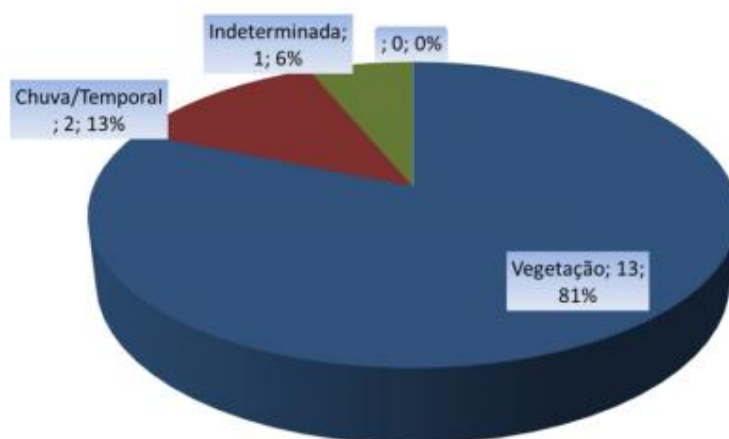
Figura 13 - Resumo das perturbações (ANEEL, 2018)

<b>Data</b>	<b>Descrição do Local</b>	<b>Descrição da Causa</b>	<b>Descrição da Natureza Elétrica</b>
2/11/16 13:16	Sem localização específica	Chuva/Temporal	Fase-Terra
2/11/16 14:05	Isolador/Cadeia	Chuva/Temporal	Trifásica
14/12/16 14:47	Sem localização específica	Indeterminada	Fase-Terra c/ Alta Resistência
28/12/16 12:16	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/12/16 12:23	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/12/16 12:44	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/12/16 13:02	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/12/16 13:09	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
28/12/16 13:15	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
3/1/17 14:14	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
3/1/17 14:42	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
3/1/17 15:04	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
3/1/17 15:04	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
4/1/17 11:30	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
5/1/17 15:41	Condutor	Vegetação	Fase-Terra
9/1/17 15:46	Condutor	Vegetação	Bifásica-Terra

Fonte: ANEEL(2018)

Observa-se novamente que a maioria das ocorrências foram devidas a Vegetação (13 das 16 perturbações constatadas). Duas ocorrências foram causadas por Chuva/Temporal e uma foi considerada como de causa indeterminada.

Figura 14 – Causas dos desligamentos na LT 765 KV ITABERÁ/IVAIPORÃ FUR C2 SP PR



Fonte: ANEEL(2018)

### 3.2 Análise de caso linha de transmissão SE ponta grossa sul – copel-gt

Na análise dos desligamentos da linha de transmissão de 34.5 kV (**PONTA GROSSA SUL**) operando desde 2000, foram constatadas 5 ocorrências dispostas na figura abaixo:

Figura 14 - Resumo das perturbações

Data do Desligamento Forçado	Equipamento Desligado	Descrição do Local	Descrição da Causa
24/10/16 18:58	TR 230 / 34P5 kV PONTA G SUL 1 PR	Proteção	Indeterminada
24/10/16 18:58	TR 230 / 34P5 kV PONTA G SUL 3 PR	Localização Ignorada	Indeterminada
3/4/17 14:30	TR 230 / 34P5 kV PONTA G SUL 3 PR	Proteção	Erro de Configuração de Lógica - Implementação
4/5/17 16:31	TR 230 / 34P5 kV PONTA G SUL 1 PR	Painel	Acidental - Serviços/Testes
24/6/17 13:04	TR 230 / 34P5 kV PONTA G SUL 3 PR	Proteção	Erro de Ajuste - Cálculo

Fonte - ANEEL (2018)

Com relação aos desligamentos dessa subestação, após reclassificação do agente COPEL-GT, observou-se que 60% dos desligamentos foram atribuídos à problemas com proteção, 20% atribuídos a ferrorressonância nos TP's e 20% devido a falha humana.

Portanto, novamente não foram constatados incidentes relacionados a descargas atmosféricas.

### 3.3 Análise de caso linha de transmissão da se Curitiba leste – Marumbi

A Marumbi foi convocada através do Ofício nº 145/2018-SFE/ANEEL, de 11 de abril de 2018, para reunião técnica realizada na sede da ANEEL no dia 05 de junho de 2018 para prestar esclarecimentos relacionados aos desligamentos selecionados na sua rede.

No período de análise foram verificados 10 desligamentos, mostrados na figura abaixo:

**Figura 15 - Resumo das perturbações**

<b>Data do Desligamento Forçado</b>	<b>Equipamento Desligado</b>	<b>Descrição do Local</b>	<b>Descrição da Causa</b>
15/9/16	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 2 PR	Transformador de Potencial	Causa a ser determinada
17/10/16	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 2 PR	Proteção	Causa a ser determinada
26/10/16	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 2 PR	Localização Ignorada	Causa a ser determinada
7/11/16	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 2 PR	Proteção	Causa a ser determinada
13/12/16	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 1 PR	Transformador de Potencial	Ferroressonância - Rede
3/2/17	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 1 PR	Transformador de Potencial	Ferroressonância - Rede
20/2/17	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 2 PR	Proteção	Ferroressonância no Secundário
27/2/17	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 2 PR	Proteção	Causa a ser determinada
24/3/17	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 2 PR	Proteção	Causa a ser determinada
4/4/17	BC 230 kV 100 Mvar CURIT.LESTE 1 PR	Transformador de Potencial	Ferroressonância - Rede

**Fonte: ANEEL (2018)**

Como pode-se observar, 3 dos 10 desligamentos foram causados por ferroressonância, e os demais por causas a serem determinadas.

## 4 CONCLUSÃO

As descargas atmosféricas são fenômenos naturais com grande poder de destruição que ocorrem em todo o mundo. Tais fenômenos possuem comportamento incerto, uma vez que não é possível dizer com precisão quando e onde ocorrerá. O que se sabe é que são responsáveis por enormes prejuízos financeiros, e também por muitas mortes todos os anos ao redor do planeta.

Como dito no início desse trabalho, as linhas de transmissão ainda são os meios mais comuns e eficientes para levar a energia elétrica desde o ponto esta é gerada até pontos em que possa ser distribuída para os consumidores finais. As características físicas das linhas, no entanto, as tornam susceptíveis aos mais diversos problemas, sejam estes frutos de intempéries naturais ou de ação do homem. Dentre estes destaca-se as descargas atmosféricas que são responsáveis todos os anos pela queima de diversos equipamentos e também pelo desligamento forçados das linhas, o que acarreta prejuízos financeiros bastante elevados para as concessionárias de energia.

Segundo o relatório da Agência Nacional de Energia Elétrica, entre 2016 e 2017, as descargas atmosféricas foram responsáveis por 18% dos desligamentos não programados nas linhas de transmissão do Brasil.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais O desligamento de uma linha de transmissão por uma descarga atmosférica é produzido pelo impacto direto da descarga sobre uma fase da linha, gerando uma quebra do isolamento e um curto-circuito na forma de um arco visível entre ela e o cabo guarda denominado “flashover”. O desligamento também pode ocorrer pelo impacto direto da descarga sobre o cabo guarda ou a torre, produzindo um arco entre ele e uma fase da linha denominada “backflashover”. Neste último caso, o arco é facilitado quando o cabo guarda ou a torre não é bem aterrada. O desligamento pode ainda ocorrer devido ao impacto direto da descarga sobre a linha, como também devido à tensão induzida na linha por uma descarga que ocorra próxima ela. Como decorrência, arcos podem ser gerados tanto na linha como nos transformadores.

Nas linhas de transmissão do estado do Paraná, no entanto, não foi registrada nenhuma ocorrência advinda da ação das descargas atmosféricas. Sendo a vegetação a maior causada dos desligamentos, dentre as causas

conhecidas. Tal fato não significa que o estado esteja livre de tais incidentes. Significa apenas que os sistemas de proteção usados pelas concessionárias responsáveis pelas linhas do estado têm agido de forma eficiente, e que os investimentos em manutenção, e a constante busca por melhorias nos mesmos devem sempre estar entre as principais metas das concessionárias.

Desta forma, torna-se imprescindível os estudos a respeito, da relação entre descargas atmosféricas e linhas de transmissão, e também do desenvolvimento de novos métodos de proteção para as linhas.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE. **Redes de Energia elétrica**. 2010. Access date: 3 mai. 2017. Disponível em:<<http://abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>>.

BENETI,C.;NOZU,I.;SARAIVA, E. Monitoramento da precipitação e de eventos de tempo severo com radar meteorológico no estado do paraná. p. 5, 1998.

BINACIONAL, I. **Integração ao Sistema Brasileiro**. 2010. Access date: 3 mai. 2017. Disponível em:<<http://www.itaipu.gov.br/energia/integracao-ao-sistema-brasileiro>>.

ELAT. Sistema elétrico. 2002. Access date: 3 mai. 2017. Disponível em:<<http://www.inpe.br/webelat/homepage>>

ELAT. **Sistema elétrico**. 2015. Access date: 3 mai. 2017. Disponível em:<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/sistema.eletrico.php>>

ROJAS, P. M. et al. **Avaliação do desempenho de linhas de distribuição frente as descargas atmosféricas**. p. 8, 2005.

ROMERO, T. **Pesquisa do Inpe e NASA mostra regiões do mundo com maior incidência de raios**. 2015. Access date: 3 mai. 2017. Disponível em:<[http://agencia.fapesp.br/pesquisa\\_do\\_inpe\\_e\\_nasa\\_mostra\\_regioes\\_do\\_mundo\\_com\\_maior\\_incidencia\\_de\\_raios](http://agencia.fapesp.br/pesquisa_do_inpe_e_nasa_mostra_regioes_do_mundo_com_maior_incidencia_de_raios)>

SISTEMA, O. N. do. **Sistema de Transmissão Horizonte - 2015**. 2015. Access date: 3 mai. 2017. Disponível em:<[http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/pop/pop\\_sistema\\_transmissao.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/pop/pop_sistema_transmissao.aspx)>.

BARKER, P. P, SHORT, T. A., EYBERT-BERARD, A. R., BERLANDIS, J.P. **Induced Voltage Measurements on an Experimental Distribution Line During Nearby Rocket Triggered Lightning Flashes, IEEE Transaction on Power Delivery**, Vol. 11, N.2, Abril 1996.

SOUZA, André Nunes de et al. **SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Prática e Legislação**. São Paulo: Érica, 2014.

Santos, L,S ,1982- **Estudos dos efeitos das descargas atmosféricas nos índice de desempenho das subestações de Vila do Conde e subestação de Marabá/ Luciano Silva dos Santos**. - 2016.

HEDMAN, D.E, “**Teoria de linhas de transmissão – 1ª série P.T.I.**”, UFSM, RS, 1978.

NOVO, L.R.G.S.L, “**Sistema sensor para detecção de descargas atmosféricas em linhas de transmissão de energia elétrica**”, Recife, 2009.

MELO, Marcus Vinícius Esteves Soares (2016). **Linhas de Transmissão e Descargas Atmosféricas: Análise de Avarias, Perdas Técnico-Financeiras e Sistemas de Proteção** [Distrito Federal] 2016.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, “**Relatório de Análise : desligamentos forçados do Sistema de Transmissão / Agência Nacional de Energia Elétrica**”. – Brasília, 2018.

LABEGALINI, P. R., LABEGALINI, J. A., FUCHS, R. D., ALMEIDA, M. T. “**Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**”. São Paulo-SP. Brasil, 1992.