



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GLT/15

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT**

**RELAÇÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS ENTRE O DESLIGAMENTO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO E A DETECÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM CASOS DE RUPTURA DO CABO OPGW**

**Pedro Jourdan\***  
Furnas

**Daniele R. O. de Lima**  
Furnas

**Joelson R. de Oliveira**  
Furnas

**Ricardo F. Abdo**  
Furnas

**RESUMO**

Esse trabalho busca analisar, de forma preliminar, a performance dos dados de descargas atmosféricas da RINDAT (Rede Integrada Nacional de detecção de Descargas Atmosféricas) pela avaliação de desligamentos de linhas de transmissão de energia elétrica de Furnas Centrais Elétricas. São analisados dois eventos recentes, onde rompimentos do cabo OPGW por descarga atmosférica acarretaram desligamentos de linhas de transmissão de 345 kV e de 750 kV. Os resultados ajudam a demonstrar que os dados da RINDAT são úteis não apenas para identificar e justificar a causa do desligamento, mas também para ajudar a determinar o local onde a falha ocorreu.

**PALAVRAS-CHAVE**

Descargas Atmosféricas, Desligamentos Não-Programados, Linhas de Transmissão, Furnas, RINDAT

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Furnas possui um sistema de transmissão de energia elétrica com mais de 20.000 km de linhas, o qual cobre várias regiões geográficas do Brasil. Os sistemas elétricos e de telecomunicações são muitas vezes vulneráveis a efeitos de descargas atmosféricas, uma vez que estas são a principal causa de desligamentos (1). Relâmpagos representam uma ameaça para as pessoas e instalações, podendo vir a comprometer a qualidade do fornecimento de eletricidade. O problema é mais importante no Brasil do que na maior parte da América do Norte e Europa, devido à maior incidência de descargas atmosféricas.

No final dos anos 90 Furnas estrategicamente vislumbrou a importância de possuir informações qualificadas de descargas atmosféricas para seus negócios, passando a investir em sensores e sistemas de monitoramento. No ano de 2000, Furnas integrou seus sistemas com sistemas semelhantes operados pela CEMIG e pelo SIMEPAR, dando origem à Rede Integrada de Detecção de Descargas Atmosféricas (RIDAT). Posteriormente, com ingresso do INPE e sua infraestrutura de monitoramento e processamento de dados, ampliou-se a rede de monitoramento e esta passou a ser chamada de Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas – RINDAT (2).

Atualmente a RINDAT cobre aproximadamente um terço de todo território brasileiro e é composta por uma rede de sensores especializados e de centrais de processamento. Esta estrutura permite detectar, em tempo real a maior parte das descargas nuvem-solo nas áreas de cobertura da rede.

\* Rua Real Grandeza, nº 219, Botafogo, Bloco E, sala 406 – CEP 22281-900, Rio de Janeiro, RJ - Brasil  
Tel: (+55 21) 2528-3010 – Email: jourdan@furnas.com.br

A RINDAT fornece informações destinadas a aplicações na previsão meteorológica, em projetos, na operação, na manutenção e na análise de desligamentos de sistemas elétricos de transmissão e de distribuição e na emissão de laudos de análise de eventos severos.

O presente estudo mostra uma análise espacial e temporal de descargas atmosféricas associadas a eventos de desligamento de linhas de transmissão. A comparação destes dados – localização e instante de ocorrência dos eventos – ratificam a causa dos desligamentos, associados a uma descarga atmosférica. Adicionalmente, para casos de desligamento onde tenha ocorrido o rompimento de cabo, propõe-se que a análise desse tipo específico de ocorrência possa contribuir na avaliação qualitativa da rede de detecção de descargas atmosféricas.

## 2.0 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A RINDAT utiliza as tecnologias denominadas "Tempo de Chegada" ("Time of Arrival" - TOA) e "Localização da Direção Magnética" ("Magnetic Direction Finder" - MDF). A precisão das informações de localização de raios do sistema é, em média, de 500 metros, dentro do perímetro definido pela posição dos sensores remotos que compõem a rede. O sistema opera através do Sistema de Posicionamento Global ("Global Positioning System" - GPS), o qual proporciona informações de temporização de raios de alta precisão com resoluções de até 300 nanossegundos.

Desta forma, o horário de uma descarga atmosférica é considerado o dado de maior precisão deste sistema. Além disso, para ser registrada pelo sistema, uma descarga atmosférica deve ser detectada por pelo menos quatro sensores da rede. Ou seja, quanto maior o número de sensores pelos quais uma descarga atmosférica é detectada, maior a precisão de sua localização e, conseqüentemente, as elipses de confiança são menores.

A análise de ocorrências de desligamentos provocados por descargas atmosféricas em sistemas de transmissão de energia elétrica torna possível a avaliação, ainda que de maneira preliminar, pontual e qualitativa, do desempenho da rede de detecção de descargas.

As medições do instante do desligamento são realizadas por um equipamento denominado Registrador de Perturbações (RDP). No advento de uma perturbação, ocorrem sobrecorrentes na linha de transmissão que partem os sensores de corrente do RDP, permitindo o registro das tensões e correntes da linha de transmissão no instante do defeito. Os registros das medições possuem uma precisão elevada quanto ao instante da ocorrência, uma vez que os RDP são sincronizados por GPS.

Nestes casos, uma vez determinada a incidência de descargas atmosféricas como causa de um evento de desligamento, e conhecendo-se o local e horário deste, torna-se possível avaliar a capacidade de detecção e precisão da RINDAT.

Dois casos de desligamentos de linhas de transmissão de Furnas ocorridos em 2015 e, associados ao rompimento do cabo OPGW (Optical Ground Wire), provocados pela incidência de descargas atmosféricas são apresentados para a análise preliminar do desempenho da rede. O primeiro caso diz respeito ao desligamento provocado pelo rompimento do cabo OPGW no dia 24/11/2015 na linha de transmissão de 345kV Marimbondo/Porto Colômbia (LT MRCL). O segundo caso trata do desligamento do circuito 3 da linha de 750kV Itaberá/Tijuco Preto (LT IATP3) no dia 28/11/2015, também provocado pelo rompimento do cabo OPGW.

Na maioria das vezes os cabos para-raios das linhas de transmissão, sejam OPGW ou convencionais, de aço, suportam a incidência de descargas atmosféricas, fazendo escoar para o sistema de aterramento o surto causado por esse fenômeno. Em situações específicas, como as relatadas nesse artigo, as descargas atmosféricas, em função de sua intensidade, podem acarretar danos nos cabos para-raios. Em algumas situações, causam rupturas parciais de tentos ou, em situações mais graves, resultam na ruptura total do cabo. Quando isso ocorre, geralmente a linha de transmissão é desligada pela aproximação ou contato do cabo para-raio nos cabos condutores. O rompimento do cabo OPGW fornece uma indicação precisa do local da falha, permitindo assim uma comparação mais rigorosa com os dados de descargas atmosféricas.

## 3.0 - RESULTADOS

Conforme mencionado, serão analisadas condições meteorológicas adversas, com ênfase na avaliação dos dados de descargas atmosféricas, as quais causaram dois eventos de desligamento de linhas de transmissão de energia elétrica de Furnas, com rompimento do cabo OPGW.

### 3.1 Evento na linha de 345 kV Marimbondo – Porto Colômbia (LT MRCL)

O primeiro desligamento em análise ocorreu às 15h14min16seg do dia 24/11/2015 na linha de 345 kV Marimbondo – Porto Colômbia (LT MRCL), quando áreas de instabilidade atuavam sobre as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, principalmente na divisa dos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul. Na Figura 1 é apresentada uma imagem do satélite GOES-13, no canal infravermelho, recortadas sobre o centro-sul do país e com aplicação de cores indicando a presença de nuvens convectivas profundas. Os tons avermelhados indicam as áreas de tempestade mais intensas.

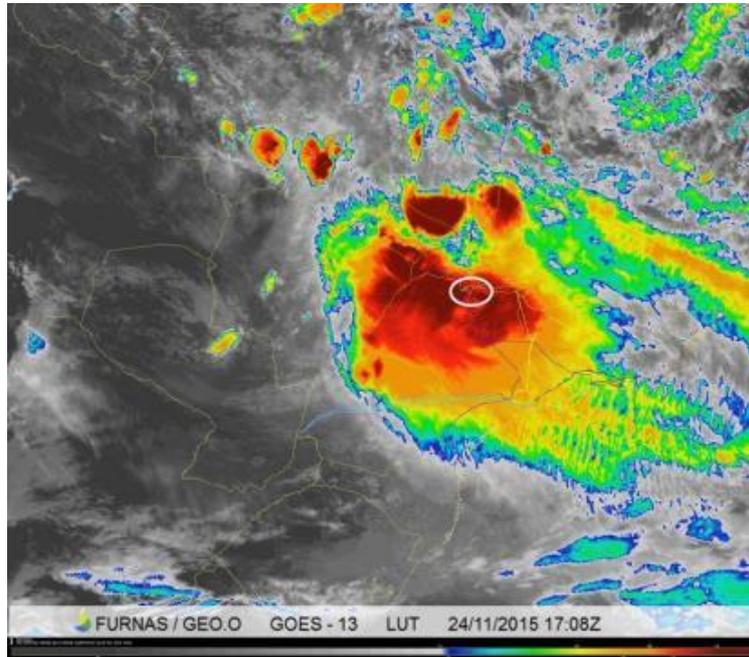


Figura 1 – Imagem realçada do satélite GOES 13, no canal infravermelho, do dia 24/11/2015 às 15h08min (horário local), com destaque (elipse branca) para a área em análise.

Na Figura 2 é apresentado um recorte da Figura 1 sobre a região do entorno do desligamento em análise. Observam-se nuvens convectivas profundas sobre o sudeste de Goiás, o Triângulo Mineiro (MG) e sobre a linha de transmissão de energia elétrica LT MRCL, destacada pela elipse branca sobre as imagens de satélite.

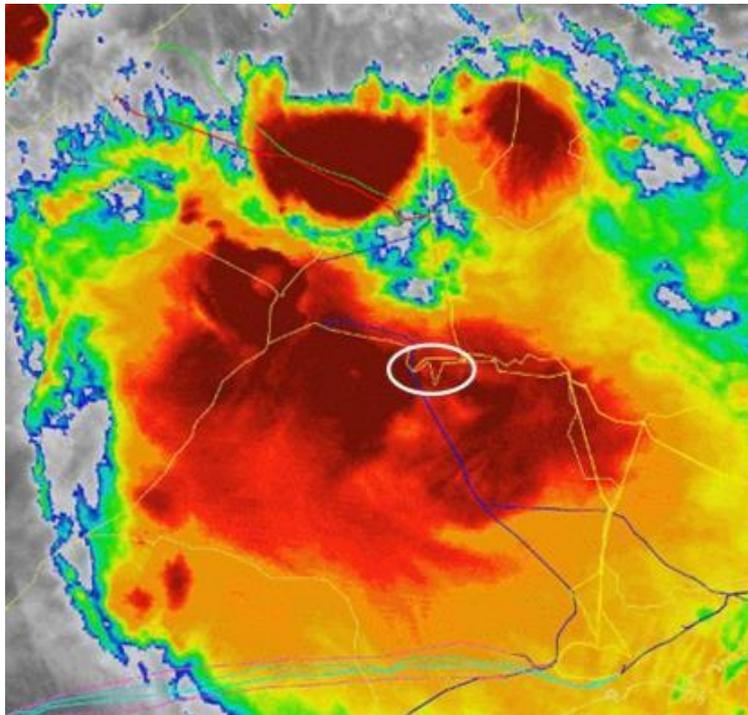


Figura 2 – Ampliação sobre a área de interesse da imagem realçada do satélite GOES 13, no canal infravermelho, do dia 24/11/2015 às 15h08min (horário local).

15h08min (horário local), com destaque (elipse branca) para a área em análise.

Na Figura 3 são apresentadas descargas atmosféricas detectadas pela RINDAT entre 15h04min e 15h24min do dia 24/11/2015 no entorno da LT MRCL. Estas estiveram associadas à tempestade que atingiu o sudeste de Minas Gerais, entre as usinas hidrelétricas de Porto Colômbia e de Marimbondo, em torno do horário da ocorrência em análise.

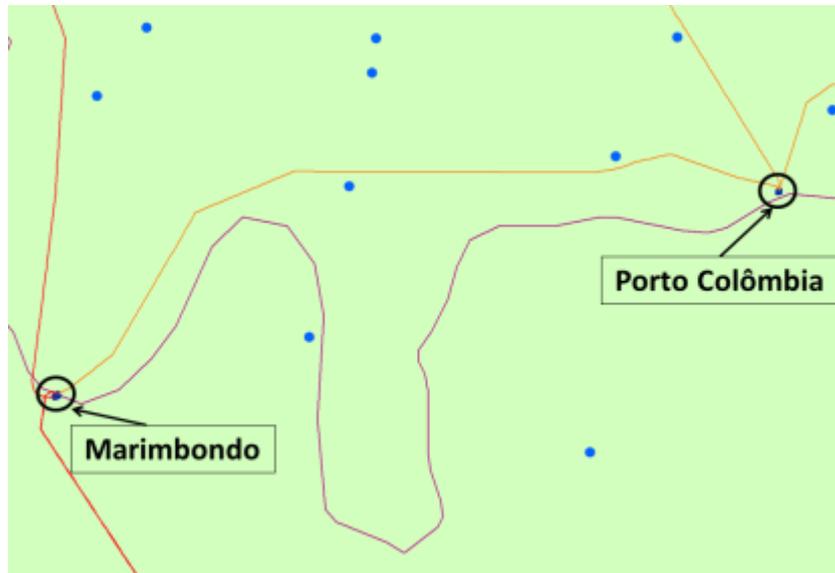


Figura 3 – descargas atmosféricas detectadas pela RINDAT (em azul), próximas à LT MRCL, entre 15h04min e 15h24min do dia 24/11/2015.

Na Figura 4 é apresentado um recorte no entorno do ponto de rompimento do cabo OPGW da LT MRCL (indicada pela seta preta). A elipse vermelha representa, com 99% de confiabilidade, o local de impacto de uma descarga atmosférica com 83 kA, a qual deve ter atingido a LT MRCL, às 15h14min14seg, praticamente no mesmo local, próximo à torre 37, e no mesmo horário do desligamento da linha.

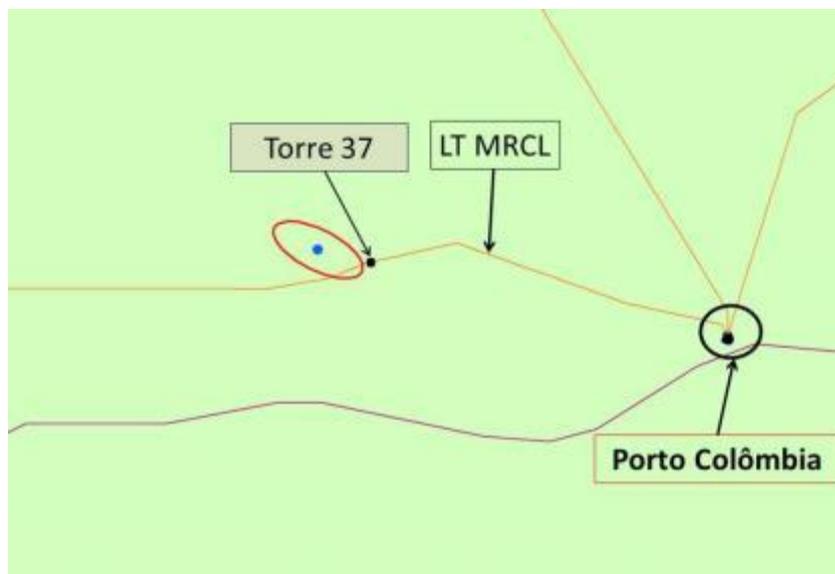


Figura 4 – descargas atmosféricas detectadas pela RINDAT (em azul) próximas à extremidade leste da LT MRCL, incluindo a elipse de 99% de confiança (em vermelho), entre 15h04min e 15h24min do dia 24/11/2015.

### 3.2 Evento na linha de 750 kV Itaberá – Tijuco Preto (LT IATP 3)

O segundo desligamento em análise ocorreu às 22h06min01seg do dia 28/11/2015 na linha de 750 kV Itaberá – Tijuco Preto, circuito 3 (LT IATP 3), quando uma frente fria se deslocava pelo oceano e organizava áreas de instabilidade sobre o continente, colaborando para formação de nuvens convectivas no Estado de São Paulo, no sul de Minas Gerais e de Goiás, e em grande parte do Mato Grosso do Sul.

Na Figura 5 é apresentada uma imagem do satélite GOES-13, no canal infravermelho, onde os tons avermelhados indicam as áreas de tempestade mais intensas. A imagem cobre grande parte do Brasil e ilustra a condição de tempo na área onde ocorreu o rompimento do cabo OPGW da LT IATP3.

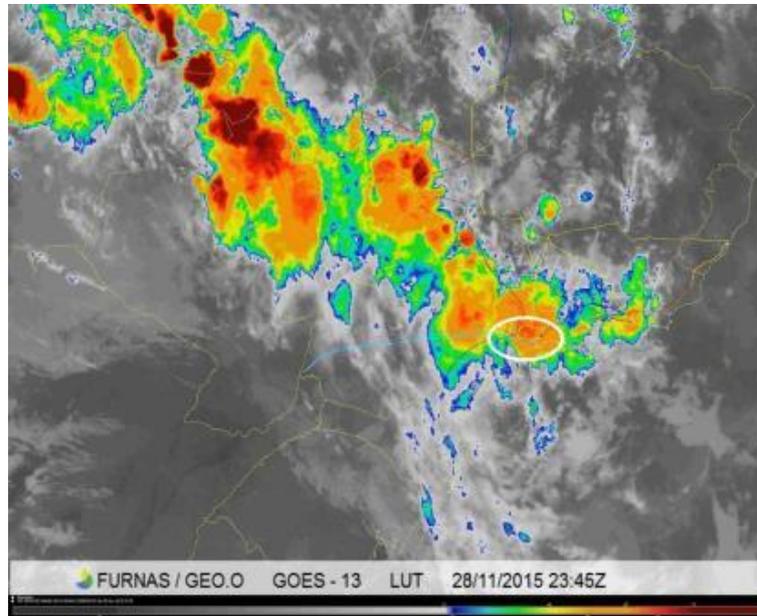


Figura 5 - Imagem realçada do satélite GOES 13, no canal infravermelho, do dia 28/11/2015 às 21h45min (horário local), com destaque (elipse branca) para a área em análise.

A Figura 6 apresenta a imagem recortada sobre o Estado de São Paulo, mostrando a presença de nuvens convectivas profundas, com tons de laranja ao vermelho, indicando temperatura de topo das nuvens de até  $-70^{\circ}\text{C}$ , sobre a LT IATP3, no entorno das torres 522 e 523, área destacada pela elipse branca sobre as imagens de satélite.

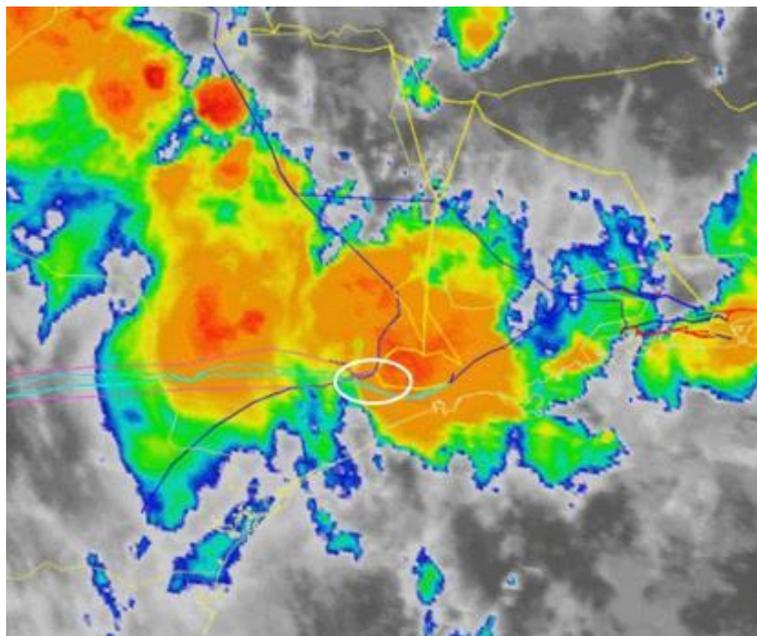


Figura 6 – Ampliação sobre a área de interesse da imagem realçada do satélite GOES 13, no canal infravermelho, do dia 28/11/2015 às

21h45min (horário local), com destaque (elipse branca) para a área em análise.

Na Figura 7 são apresentadas descargas atmosféricas detectadas pela RINDAT entre 21h30min e 22h30min do dia 28/11/2015 sobre a linha de transmissão de energia elétrica entre as subestações de Itaberá e de Tijuco Preto. Estas estiveram associadas à tempestade que atingiu o Estado de São Paulo naquela noite.

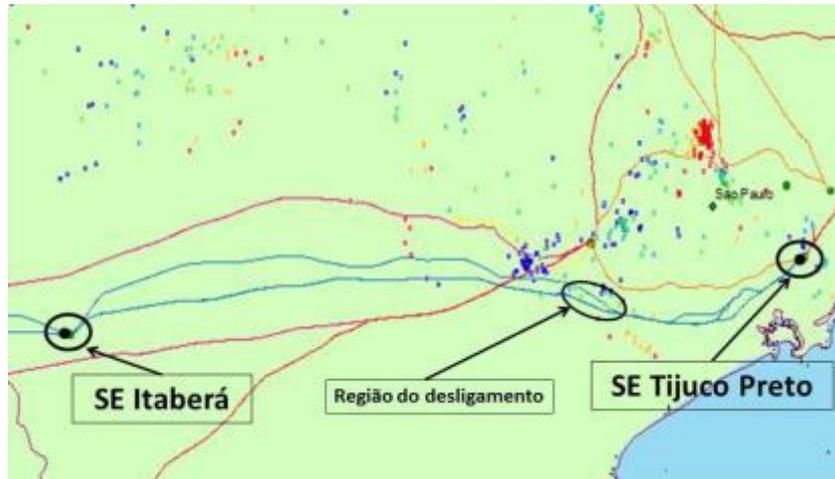


Figura 7 – descargas atmosféricas detectadas pela RINDAT (em azul), próximas à LT IATP 3, entre 21h30min e 22h30min do dia 28/11/2015

Na Figura 8 são apresentadas descargas atmosféricas detectadas pela RINDAT entre 21h30min e 22h30min do dia 28/11/2015 sobre a LT IATP3, incluindo um recorte no entorno do ponto de rompimento do cabo OPGW, no vão entre as torres 522 e 523 desta linha. A elipse vermelha representa, com 99% de confiabilidade, o local de impacto de uma descarga atmosférica, a qual deve ter atingido a LT IATP3, às 22h06min00seg, praticamente no mesmo local e horário do desligamento.



Figura 8 - descargas atmosféricas detectadas pela RINDAT (em azul) próximas à LT IATP 3, incluindo a elipse de 99% de confiança (em vermelho), entre 21h30min e 22h30min do dia 24/11/2015.

Os resultados indicam a ocorrência de descargas atmosféricas praticamente no mesmo local e horário onde foram registrados os desligamentos provocados pelo rompimento dos cabos OPGW. O mecanismo de rompimento do OPGW começa pela incidência de uma descarga atmosférica. Esta descarga resulta na geração de alta temperatura e ocorre a fusão parcial do cabo. Em seguida, a corrente persistente aumenta a temperatura do cabo e a área de fusão é rapidamente alargada. Finalmente, a temperatura excede o ponto de fusão do OPGW, ocasionando o rompimento do cabo. Uma vez rompido, este pode causar um curto-circuito tocando cabos condutores e, conseqüentemente, desligando a linha de transmissão (3).

Esta seqüência de acontecimentos e o tempo decorrente dela estão relacionados ao pequeno intervalo de tempo observado entre o horário de ocorrência da descarga atmosférica e do desligamento, de aproximadamente 2 segundos.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

O instante dos eventos – desligamento e detecção da descarga – estão associados, apresentando uma diferença de cerca de 2 segundos, compatível com a sequência dos eventos observados – descarga, ruptura do OPGW, queda sobre os cabos condutores e desligamento do respectivo circuito de transmissão.

Da mesma forma, ambos os casos analisados tiveram a localização da ruptura dos respectivos OPGW próxima da área delimitada pela elipse de 99% de confiabilidade da rede de detecção de descargas, ratificando a relação de causa e efeito existente entre a descarga e a ruptura do cabo, com o conseqüente desligamento das linhas de transmissão. Neste sentido, as informações provenientes da RINDAT são extremamente úteis para a elaboração de laudos técnicos, que são apresentados à ANEEL e ao ONS, com objetivo de esclarecer causas de ocorrências.

Os resultados ajudam a demonstrar que os dados da RINDAT são úteis não apenas para identificar e justificar a causa do desligamento, mas também para ajudar a determinar o local onde a falha ocorreu e, conseqüentemente, auxiliar o deslocamento das equipes de manutenção.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Alvim, M. G., Portela, C., Nobrega, A.R.. The Importance of Reliable Measurements of Lightning Currents to Electric Power Companies. In: 19th International Lightning Detection Conference, Arizona, Estados Unidos da América, abr. 2006.
- (2) RINDAT. Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas. [ca. 2012]. Disponível em <<http://simepar.br/rindat/internas/institucional.shtml>>. Acesso em 17 mar. 2017.
- (3) Hu, Y., Liu, K., Wang, L. N.. Mechanisms for The Breaking of OPGW by Lightning, In: Proceedings of the 16th International Symposium on High Voltage Engineering, Johannesburg, África do Sul, ago. 2009.

#### 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Pedro Jourdan

Nascido na cidade do Rio de Janeiro, RJ, em 27 de fevereiro de 1982.

Graduado (2007) e Mestre (2015) em Meteorologia pela UFRJ.

Atividade atual: Meteorologista em FURNAS Centrais Elétricas S/A desde 2015.

Daniele Rodrigues Ornelas de Lima

Nascida na cidade do Rio de Janeiro, RJ, em 25 de maio de 1976.

Graduada em Meteorologia pela UFRJ (2000) e Mestre em Ciências Atmosféricas em Engenharia pela COPPE-UFRJ (2005).

Atividade atual: Meteorologista em FURNAS Centrais Elétricas S/A desde 2000.

Joelson Rangel de Oliveira

Nascido na cidade do Rio de Janeiro, RJ, em 03 de março de 1975.

Técnico em Meteorologia pelo CEFET-RJ (1993) e graduado em Administração pela Universidade Castelo Branco (2011).

Atividade atual: Técnico em Meteorologia em FURNAS Centrais Elétricas S/A 1996.

Ricardo Fraga Abdo

Nascido na cidade do Rio de Janeiro, RJ, em 26 de outubro de 1978.

Graduado em Engenharia Elétrica pela UFRJ (2000) e pós-graduado em Engenharia de Manutenção pela UFRJ (2009), em Gestão Empresarial pela Cândido Mendes (2012) e em Liderança e Gestão de Empresas Estatais pela UNISE (2013).

Atividade atual: Gerente da Divisão de Linhas de Transmissão em FURNAS Centrais Elétricas S/A, onde iniciou carreira em 2001.

