

Energia Elétrica e Sustentabilidade 2

Jaqueline Oliveira Rezende
(Organizadora)



Atena
Editora

Ano 2018

JAQUELINE OLIVEIRA REZENDE

(Organizadora)

Energia Elétrica e Sustentabilidade

2

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E56	Energia elétrica e sustentabilidade 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Jaqueline Oliveira Rezende. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Energia Elétrica e Sustentabilidade; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-46-8 DOI 10.22533/at.ed.468180110 1. Desenvolvimento energético – Aspectos ambientais. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Energia elétrica. I. Rezende, Jaqueline Oliveira. CDD 338.4
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A sustentabilidade pode ser entendida como a capacidade de o ser humano utilizar os recursos naturais para satisfazer as suas necessidades sem comprometer esses recursos para atender as gerações futuras. Nesse contexto, a sustentabilidade está inter-relacionadas em diversos setores, sendo os principais o social, o ambiental e o econômico. Dessa forma, constitui um dos desafios da sociedade moderna o desenvolvimento sustentável que objetiva preservar o meio ambiente durante a realização de outras atividades.

A energia elétrica representa um dos principais pilares para o progresso econômico de uma nação e, conseqüentemente, para o atendimento de inúmeras necessidades da humanidade. Portanto, esse setor também tem se preocupado com a geração, a transmissão, a distribuição de energia elétrica e a construção de novos empreendimentos, como as usinas hidrelétricas, de maneira a preservar o meio ambiente. Logo, a Engenharia Elétrica tem apresentado significativas pesquisas e resultados de ações pautadas na sustentabilidade.

Neste ebook é possível notar que a relação da Engenharia Elétrica e a Sustentabilidade é de preocupação de diversos profissionais envolvidos nesse setor, sendo esses advindos da academia, das concessionárias de energia elétrica e do governo. Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação da preservação do meio ambiente na engenharia elétrica.

Inicialmente são apresentados artigos que discorrem sobre o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade ambiental, custos ambientais em empreendimentos de geração de energia elétrica, recuperação ambiental, conservação da fauna, políticas administrativas e direcionamento de resíduos eletrônicos.

Em seguida, são descritos estudos sobre formas de geração de energia elétrica renováveis não convencionais, sendo apresentadas a energia eólica e a energia solar fotovoltaica. Essas formas de geração contribuem para o desenvolvimento sustentável, uma vez que geram energia elétrica utilizando recursos naturais não finitos, o vento na geração eólica e o sol na geração fotovoltaica.

Além disso, neste exemplar são expostos artigos que contemplam diversas áreas da engenharia elétrica, como redes smart grids, sistema de proteção, operação remota de usinas hidrelétricas, inteligência computacional aplicada a usina termelétrica, transformadores de potência, linhas de transmissão, tarifa horária, lâmpadas led, prevenção de acidentes em redes de média tensão e eficiência energética.

Jaqueline Oliveira Rezende

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PROSPECÇÃO DE PARQUES HIDROKINÉTICOS ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROJETOS NOS RIOS IGUAÇU E PARANÁ	
<i>Marcos Aurélio de Araujo</i>	
CAPÍTULO 2	10
TROCADOR DE CALOR – INOVAÇÃO NO AQUECIMENTO DE ÁGUA, FUNCIONAMENTO, RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM TECNOLOGIAS SEMELHANTES	
<i>Odair Deters</i>	
<i>Paulo Valdocci Pereira</i>	
<i>Valério Monteiro</i>	
CAPÍTULO 3	23
SISTEMA ÓPTICO CWDM COMO PLATAFORMA DE MONITORAÇÃO DE ATIVOS E DE COMUNICAÇÃO DE DADOS PARA REDES SMART GRIDS	
<i>João Batista Rosolem</i>	
<i>Danilo César Dini</i>	
<i>Claudio Antonio Hortêncio</i>	
<i>Eduardo Ferreira da Costa</i>	
<i>Rivael Strobel Penze</i>	
<i>João Paulo Vicentini Fracarolli</i>	
<i>Carlos Alexandre Meireles Nascimento</i>	
<i>Vítor Faria Coelho</i>	
CAPÍTULO 4	37
PORTAL OPERACIONAL DE EQUIPAMENTOS ESPECIAIS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - UMA FERRAMENTA PARA GESTÃO DA CONFORMIDADE E DA CONTINUIDADE NO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA	
<i>Rafael Cassiolato de Freitas</i>	
<i>Sadi Roberto Schiavon</i>	
CAPÍTULO 5	46
MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL	
<i>Davi Carvalho Moreira</i>	
<i>Daniel Simões Pires</i>	
<i>Danilo Gomes Matias</i>	
<i>Heleno Fülber</i>	
<i>Bruno Merlin</i>	
CAPÍTULO 6	62
OPERAÇÃO REMOTA DE USINAS PELO CENTRO DE OPERAÇÃO DA GERAÇÃO DA ELETROBRAS ELETRONORTE	
<i>Davi Carvalho Moreira</i>	
<i>Daniel Simões Pires</i>	
<i>Danilo Gomes Matias</i>	
<i>Juliano Cortes de Souza</i>	
<i>Leonardo Siqueira Rodrigues</i>	
<i>Heleno Fülber</i>	
<i>Bruno Merlin</i>	
CAPÍTULO 7	70
ABORDAGEM DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL APLICADA PARA MODELAGEM PREDITIVA DE EMISSÕES DE NOX E CO DE UMA TURBINA A GÁS DE UMA USINA TERMELÉTRICA DE CICLO COMBINADO	
<i>Eduardo Massashi Yamao</i>	
<i>Juliano Pierezan</i>	

João Paulo Silva Gonçalves
Marcos Cesar Gritti
Luís Gustavo Tomal Ribas
Flávio Chiesa
Victor Manuel Lopes dos Santos
Marcos de Freitas
André da Silva Orlandi
Leandro dos Santos Coelho

CAPÍTULO 8 82

CONFIRMAÇÃO DA EFICÁCIA DO ENSAIO DE RESPOSTA DO DIELÉTRICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E BUCHAS CAPACITIVAS COMO TÉCNICA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA

Hugo Rafael Freitas Negrão
Fernando de Souza Brasil
Bárbara Medeiros Campos
Maria Emília de Lima Tostes
Jorge Augusto Siqueira Tostes
Paulo Roberto Moutinho de Vilhena

CAPÍTULO 9 96

A EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE NA IMPLANTAÇÃO DA ANÁLISE DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA PARA DIAGNÓSTICO DE REATORES E TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

Vanessa de Cássia Viana Martins Beltrão

CAPÍTULO 10 113

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA LINHA DE TRANSMISSÃO 230 KV DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE RONDÔNIA OPERANDO COM CABOS PARA-RAIOS ISOLADOS E ENERGIZADOS EM MÉDIA TENSÃO

José Ezequiel Ramos
Alexandre Piantini
Ary D'Ajuz
Valdemir Aparecido Pires
Paulo Roberto de Oliveira Borges

CAPÍTULO 11 126

ESTUDO DE APLICAÇÃO DO DISPOSITIVO SVC NA LINHA DE TRANSMISSÃO MESQUITA VIANA II

Alcebíades Rangel Bessa
Lucas Frizera Encarnação
Paulo José Mello Menegáz

CAPÍTULO 12 143

IMPLANTAÇÃO DA LINHA DE TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEA 230KV CIRCUITO DUPLO DA COPEL

Márcio Tonetti
Ilmar da Silva Moreira
João Nelson Hoffmann

CAPÍTULO 13 153

TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO: ESTUDO POR INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E ACOPLAMENTO MAGNÉTICO RESSONANTE

Guilherme Hideki Shibukawa
Eric Eduardo Goveia Pandolfo
Ricardo Andreola
Emerson Charles Martins da Silva

CAPÍTULO 14 168

TARIFAS HORÁRIAS PARA SISTEMA DE TRANSMISSÃO CONSIDERANDO O SINAL LOCACIONAL

Marcio Andrey Roselli
André Meister

*Denis Perez Jannuzzi
Robson Kuhn Yatsu
André Veiga Gimenes
Miguel Edgar Morales Udaeta*

CAPÍTULO 15..... 178

AVALIAÇÃO DAS LÂMPADAS LED NO MERCADO BRASILEIRO (ARTIGO APRESENTADO NO XXIV SNPTEE)

*Alessandra da Costa Barbosa Pires de Souza
Maurício Barreto Lisboa
Willians Felipe de Oliveira Rosa*

CAPÍTULO 16..... 185

AVALIAÇÃO DO MÉTODO INDEPENDENTE DE MEDIÇÃO DE PERTURBAÇÕES RADIADAS – ANEXO B DA CISPR 15 (ARTIGO APRESENTADO NO XXIV SNPTEE)

*Alessandra da Costa Barbosa Pires de Souza
Maurício Barreto Lisboa
Willians Felipe de Oliveira Rosa*

CAPÍTULO 17 193

PADRÕES DE QUALIDADE PARA SERVIÇOS DE PINTURA ANTICORROSIVA APLICADOS AO SETOR ELÉTRICO

*Alberto Pires Ordine
Cristina da Costa Amorim
Marcos Martins de Sá
Elber Vidigal Bendinelli*

CAPÍTULO 18..... 209

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO, PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE TECNOLOGIAS DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVA PARA ESTRUTURAS ENTERRADAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

*Cristina da Costa Amorim
Alberto Pires Ordine
Marcos Martins de Sá
Wendell Porto de Oliveira*

CAPÍTULO 19..... 221

ANÁLISE DE QUASE-ACIDENTES, OCORRIDOS NA ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE MÉDIA TENSÃO, COMO MEIO EFICAZ E PROATIVO NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES

*Cristiano José Gober
Cresencio Silvio Segura Salas*

CAPÍTULO 20..... 235

PORTAL R3E COMO FERRAMENTA INDUTORA E DISSEMINADORA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

*Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues
Marcelo Bezerra de Melo Tinoco
Aldomar Pedrini
Edison Alves Portela Junior
João Queiroz Krause
Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira
Fernando Pinto Dias Perrone*

CAPÍTULO 21..... 246

HIERARQUIA DAS NECESSIDADES E RESILIÊNCIA NO PAGAMENTO DE SERVIÇOS PÚBLICOS UTILIZADOS: UM ESTUDO DE CASO VOLTADO A ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

*Ana Lúcia Rodrigues da Silva
Fernando Amaral de Almeida Prado Jr.
Carolina Rodrigues de Almeida Prado*

CAPÍTULO 22 258

PROJETO PILOTO PARCELAMENTO PRÓ-ATIVO DE DÉBITOS DE IRREGULARIDADE

Diego Rivera Mendes

Julio Eloi Hofer

Rafael Luís de Avila

CAPÍTULO 23 267

MODELAGEM ESTRATÉGICA PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ANTECIPAÇÃO DO ATENDIMENTO AO CLIENTE PARA A MELHORIA OPERACIONAL E DE SERVIÇOS

Carlos Alberto Fróes Lima

Anderson Diego Machiaveli

Luciano E. A. Peres

Tales Neves Anarelli

SOBRE A ORGANIZADORA 287

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA LINHA DE TRANSMISSÃO 230 KV DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE RONDÔNIA OPERANDO COM CABOS PARA-RAIOS ISOLADOS E ENERGIZADOS EM MÉDIA TENSÃO

José Ezequiel Ramos

Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) e Eletrobras Distribuição Rondônia (EDRO) – Porto Velho – Rondônia

Alexandre Piantini

Instituto de Energia e Ambiente (IEE/USP)
São Paulo – São Paulo

Ary D’Ajuz

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Brasília – Distrito Federal

Valdemir Aparecido Pires

Eletrobras Distribuição Rondônia (EDRO)
Porto Velho – Rondônia

Paulo Roberto de Oliveira Borges

Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
Porto Velho - Rondônia

RESUMO: Os cabos para-raios da linha de transmissão (LT) em 230 kV do sistema de transmissão de Rondônia, no trecho entre a usina hidrelétrica (UHE) Samuel e Ji-Paraná, foram isolados e energizados em média tensão (MT). Esse procedimento foi realizado no âmbito da tecnologia cabos para-raios energizados, denominada de tecnologia PRE, aqui utilizada no esquema trifásico. Tal tecnologia consiste na energização dos dois cabos para-raios da LT, sendo a terceira fase desempenhada pelo solo. Entretanto, a implantação dessa

tecnologia em um sistema de transmissão na Amazônia pode comprometer o desempenho da LT? Essa análise é feita neste trabalho a partir de medições feitas em campo, ensaios em laboratório e levantamento das interrupções no sistema PRE verificadas no período de 1996 a 2007. Os resultados obtidos comprovam que a isolamento e energização dos cabos para-raios não deteriorou o desempenho da LT 230 kV frente a descargas atmosféricas.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia PRE, cabos para-raios isolados e energizados, descargas atmosféricas.

ABSTRACT: The two shield wires of a 230 kV transmission line (TL) of the transmission system of Rondônia, in the stretch between Samuel hydroelectric and Ji-Paraná, were isolated and energized in medium voltage (MV). This procedure was carried out in the context of shield wire line technology, called SWL technology, used here in the three-phase scheme. Such technology consists in the energization of the two shield wires of the TL, being the ground the third phase. However, the implementation of this technology in a transmission system in the Amazon can compromise the performance of TL? This analysis is done from field measurements, laboratory tests and surveys of interruptions in the SWL system verified in the period from 1996 to 2007. The results obtained

prove that the insulation and energization of the shield wires did not deteriorate the performance of the 230 kV TL against atmospheric discharges.

KEYWORDS: SWL technology, isolated and energized shield wire line, lightning discharges

1 | INTRODUÇÃO

Em 1994 a energia produzida pela usina hidrelétrica (UHE) de Samuel, além de abastecer a cidade de Porto Velho, é também utilizada para atender o interior de Rondônia, notadamente as localidades de Ariquemes e Ji-Paraná, cuja geração de energia elétrica era, em sua totalidade, através de grupos geradores diesel. A interligação entre a UHE Samuel e as referidas localidades foi realizada através de linha de transmissão (LT) em 230 kV, cujo primeiro trecho, entre a UHE Samuel e Ariquemes, foi inaugurado em 30/08/1994, e o segundo trecho, entre Ariquemes e Ji-Paraná, em 29/09/1994 (CERON, 1998).

Ao longo do trecho entre a UHE Samuel e Ji-Paraná, outras cidades localizadas próximas do corredor da LT também reivindicaram atendimento através do mesmo sistema de transmissão. Contudo, a construção de novas subestações rebaixadoras demandaria um montante de recurso não disponível naquele momento, além do fato de que, para as pequenas localidades, tal investimento seria injustificável economicamente. Para superar essas dificuldades, a alternativa técnica encontrada pelas empresas de transmissão, no caso a ELETRONORTE (atual Eletrobras Eletronorte) e de distribuição, a CERON (atual Eletrobras Distribuição Rondônia - EDRO), foi a utilização da tecnologia cabos para-raios energizados (PRE), desenvolvida pelo Prof. Francesco Iliceto, da Universidade de Roma e implantada com sucesso em Gana, na África (ILICETO et al., 1989). Entre os diferentes esquemas possíveis de instalação do PRE, foi adotada no projeto do PRE de Rondônia o esquema trifásico, que consiste na utilização dos dois cabos para-raios da LT e o solo como a terceira fase (D'AJUZ et al., 1997).

A decisão das empresas ELETRONORTE e CERON pela implantação da tecnologia PRE no estado de Rondônia foi baseada nos resultados obtidos nas instalações do PRE em Gana, na África. Entretanto, uma importante questão a ser comprovada diz respeito ao desempenho de tal tecnologia implantada em um sistema de transmissão na Amazônia, com características ambientais e potência transmitida totalmente diferentes de Gana. Em outras palavras, a implantação da tecnologia PRE em Rondônia teria comprometido o desempenho da LT 230 kV, no trecho entre a UHE Samuel e Ji-Paraná? Visando responder essa questão levantamentos de campo envolvendo medições de resistência de terra dos contrapesos das torres, medição de resistividade do solo, ensaios em laboratório foram realizados. Adicionalmente, um minucioso levantamento das causas das interrupções de todo o sistema foi realizado, compreendendo o período de 1996 a 2007. A análise das causas das interrupções são

realizadas através de simulações para determinar as correntes críticas de disrupção entre os eletrodos do dispositivo centelhador da cadeia de isoladores dos cabos para-raios.

O trabalho segue um roteiro metodológico iniciando pela caracterização da LT 230 kV que opera com os cabos para-raios isolados e energizados. Uma seção é reservada para apresentar as características da tecnologia PRE no esquema trifásico e, devido ao importante papel desempenhado pela cadeia de isoladores com o dispositivo centelhador, também é reservada uma seção especial para sua abordagem. Na sequência, na Seção 5, é feita a análise do comportamento da LT 230 kV frente às descargas atmosféricas, envolvendo a determinação das correntes críticas de descarga na cadeia de isoladores dos cabos para-raios, cálculo da estimativa do número de desligamentos por descargas atmosféricas diretas na LT. Ainda na mesma seção é feita a análise do número de interrupções verificadas no período estudado, sendo comparado tais resultados com o desempenho de LT 230 kV operando na Região Norte. Por fim são apresentadas as conclusões do trabalho.

2 | CARACTERIZAÇÃO DA LT 230 KV COM CABOS PARA-RAIOS ISOLADOS E ENERGIZADOS

A LT 230 kV entre a UHE Samuel e Ji-Paraná tem uma extensão aproximada de 316 km e um total de 816 torres. Possui uma configuração de circuito simples, trifásico, sendo constituída por um condutor por fase, dispostos horizontalmente e, dois cabos para-raios para blindagem da linha contra descargas atmosféricas. O tipo de torre predominante é a autoportante, tipo delta e, devido às características planas do terreno em grande parte do trecho, a maioria das torres são de suspensão simples tipo S21 com uma grande concentração de torres com alturas de 30 m e 33 m. O nível básico de isolamento (NBI) da LT é igual a 1.350 kV.

Inicialmente a LT foi subdividida em dois trechos: o primeiro, entre a UHE Samuel/Ariquemes, identificado como SMAQ. LT6.01.IGL.00, possui uma extensão aproximada de 151 km e um total de 384 torres; o segundo trecho, entre Ariquemes e Ji-Paraná, identificado como AQJP. LT6.01.IGL.00, possui uma extensão aproximada de 165 km e um total de 432 torres (ELETRONORTE/ORON, 1995). Posteriormente, com a construção da Subestação na cidade de Jaru, localidade situada entre Ariquemes e Ji-Paraná, a LT 230 kV foi subdividida em duas linhas, ou seja: LT Ariquemes/Jaru (AQJR), que vai da torre 001 à torre 220 e LT Jaru/Ji-Paraná (JRJP), que vai da torre 001 (antiga torre 221) à torre 212 (antiga torre 432). Portanto, o trecho de LT entre a UHE Samuel e Ji-Paraná atualmente compreende três linhas, quais sejam: a) trecho entre a UHE Samuel e Ariquemes (LT SMAQ); b) trecho entre Ariquemes e Jaru (LTAQJR); c) trecho entre Jaru e Ji-Paraná (LT JRJP) (GUEDES, 2003). Na Figura 1 é feita uma representação simplificada dessas linhas e respectivas subestações associadas.

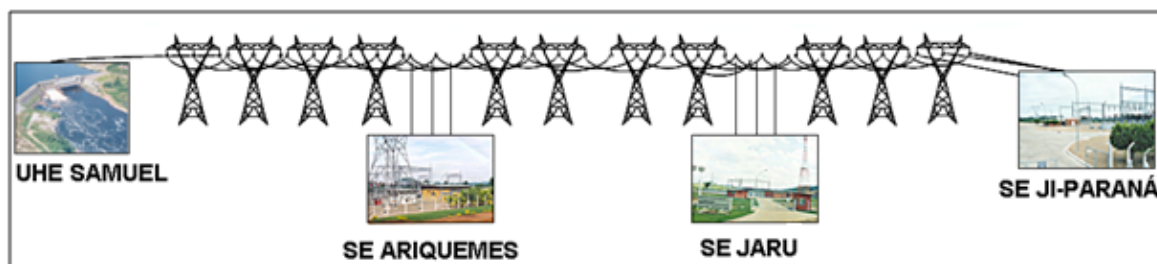


Figura 1– Representação do sistema de transmissão Rondônia, entre a UHE Samuel e Ji-Paraná

3 | CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA PRE

A Figura 2 ilustra a tecnologia PRE implantada em Rondônia

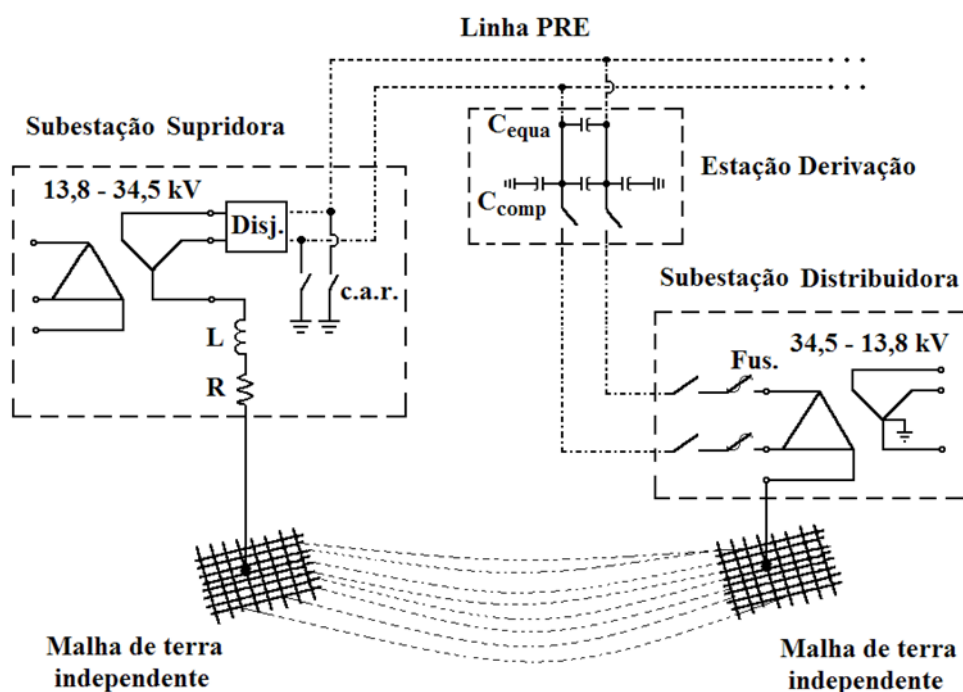


Figura 2- Desenho ilustrativo sobre a tecnologia PRE no esquema trifásico

O sistema PRE no esquema trifásico instalado para atender as localidades de Jaru e Itapuã do Oeste, no Estado de Rondônia, utiliza os dois cabos para-raios da LT 230kV UHE Samuel-Ji-Paraná, como duas fases de um sistema trifásico onde o solo é tomado como a terceira fase. A partir de uma subestação supridora de 13,8kV para 34,5kV, energizam-se os dois cabos pára-raios, conecta-se a terceira fase à terra através de uma impedância para o balanceamento das três fases e, no ponto de atendimento à carga, através de uma ligação adequada dos transformadores, energizam-se as subestações de distribuição, 34,5kV/13,8kV, para a alimentação da rede elétrica da respectiva localidade. Além disso, são instalados capacitores na derivação da torre para a subestação distribuidora, cuja finalidade é igualar as capacitâncias parasitas entre os cabos pára-raios com as capacitâncias entre estes cabos e a terra.

Portanto, o emprego da tecnologia PRE impõe a necessidade de isolar os cabos para-raios das torres; entretanto, no caso de Rondônia, quando se tomou a decisão de utilizar a referida alternativa tecnológica, as torres metálicas já tinham sido fabricadas. Desse modo, elas tiveram que sofrer modificações para atender aos critérios de isolamento, distâncias mínimas de manutenção e coordenação de isolamento para 34,5 kV fase-terra, pois esse foi o nível de tensão utilizado. Nesse sentido, para garantir a funcionalidade dos cabos para-raios na dupla função de proteção da LT e como condutor de energia elétrica, os seguintes aspectos técnicos foram levados em consideração (D'AJUZ et al., 1999):

- a) distâncias mínimas entre fase e terra;
- b) distâncias mínimas para manutenção em linha viva;
- c) ângulo de blindagem;
- d) balanço assíncrono;
- e) desempenho da LT para surtos atmosféricos.

O projeto de implantação da tecnologia PRE em Rondônia foi desenvolvido para atendimento a seis localidades próximas à LT 230 kV, entre a UHE Samuel e Ji-Paraná. Entretanto, o mesmo só foi realizado em duas localidades: Jaru, que esteve em operação no período de 1996 a 14/11/2000 (PRE Jaru) e Itapuã do Oeste (PRE Itapuã), que está em operação desde o dia 22/09/1997. Mesmo não tendo sido realizado o projeto integralmente, todas as torres previstas no escopo do mesmo foram modificadas, resultando em 533 torres em relação ao total de 816 torres.

No final de 2006 a ELETRONORTE concluiu a instalação de mais um cabo nas torres da LT 230 kV. Trata-se do cabo com fibra óptica (OPGW) utilizada para comunicação de voz e dados. No trecho entre a UHE Samuel e Itapuã do Oeste o cabo foi adicionado aos cabos já existentes. Nos demais trechos, um dos cabos para-raios foi substituído pelo OPGW. Cumpre salientar que as modificações na cabeça das torres contribuíram com a redução no ângulo de blindagem da LT. A forma final da cabeça da torre contendo os cabos para-raios isolados e o cabo OPGW é mostrada na Figura 3.

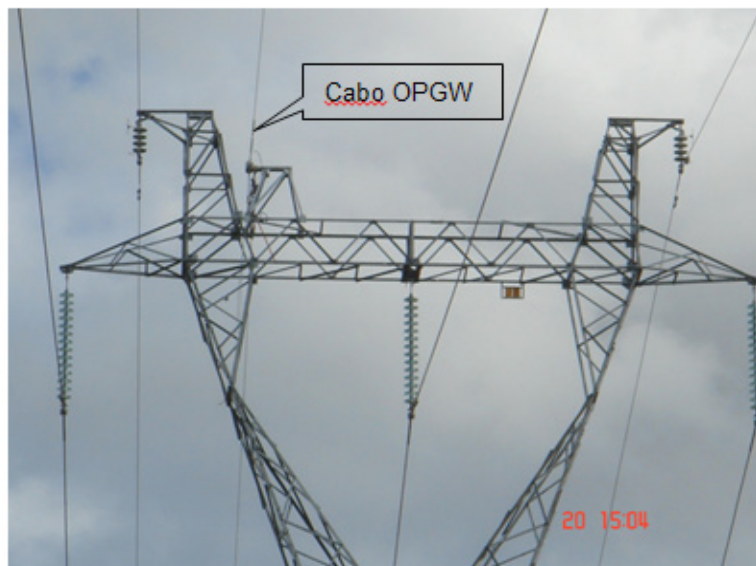


Figura 3- Cabeça da torre da LT 230 kV com os cabos para-raios isolados e o cabo OPGW

4 | CADEIA DE ISOLADORES

A isolação dos dois cabos para-raios das torres é feita através de cadeia de isoladores rígido, formada por quatro isoladores de disco, com diâmetro de 254 mm, com as seguintes características: a) tensão suportável sob impulso: 260 kV; b) tensão suportável em 60 HZ a seco: 190 kV; c) tensão suportável em 60 Hz sob chuva: 130 kV; d) distância de escoamento: 1.200 mm; e) carga mecânica de ruptura: 4.000 kgf; f) ajuste máximo e mínimo entre os eletrodos do centelhador: 360 mm e 200 mm; g) peso líquido: 16 kg. Vale ressaltar que os eletrodos foram ajustados para um espaçamento de 330 mm.

A tensão disruptiva crítica (*critical impulse flashover overvoltage*, CFO) dos isoladores utilizados no sistema PRE de Rondônia foi determinada através de ensaios em laboratório, tendo sido obtidos os valores de 278 kV e 281 kV para as polaridades negativa e positiva, respectivamente. Os testes foram realizados considerando o espaçamento de 33 cm entre os eletrodos do centelhador, sendo os valores das tensões referidos às condições atmosféricas de referência (pressão = 101,3 kPa, temperatura = 20 °C e umidade absoluta = 11 g/m³) (RAMOS, et al., 2009).

Na eventualidade de algum dos condutores do PRE ser atingido por uma descarga atmosférica, as tensões entre os terminais dos isoladores próximos ao ponto de incidência excederão a CFO da linha. Como consequência, descargas disruptivas ocorrerão na grande maioria das vezes, com consequente interrupção de fornecimento. O mesmo geralmente acontecerá se a descarga incidir na torre, pois a menos que a intensidade da corrente de descarga e a resistência de terra da torre atingida (R_t) apresentem valores muito baixos, haverá “backflashover”.

5 | A LT 230 KV FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A análise do comportamento da LT 230 kV frente a descargas atmosféricas tem por objetivo verificar se a isolação e energização dos cabos para raios não compromete o seu desempenho. De início, vale ressaltar que a aplicação de cabos para-raios isolados é bastante conhecida em linhas de extra alta tensão (EHV), porém, no caso do PRE, em que os cabos para-raios são energizados, surge a dúvida sobre como se daria o processo de disrupção entre os eletrodos do dispositivo centelhador da cadeia de isoladores. Ou seja, valores elevados de tensão para provocar a disrupção entre os eletrodos pode resultar em disrupção entre os cabos para-raios e os condutores da LT.

5.1 Determinação da Corrente Crítica de Disrupção

Nesta seção tem-se como objetivo determinar, o menor valor de corrente que faz surgir uma tensão que provoca disrupção entre os eletrodos do centelhador da cadeia de isoladores das linhas que compõe o Sistema PRE de Rondônia. Esse valor limite de corrente, é aqui denominada de corrente crítica de disrupção, cujos valores para cada situação considerada nas simulações, foi determinado utilizando-se o conceito de índice disruptivo crítico (DARVENIZA & VLASTOS, 1988) aplicado sobre os valores obtidos nos ensaios de tensão disruptiva crítica.

De início, a linha analisada é aquela entre a UHE Samuel e Ariquemes (LT SMAQ). Essa LT possui dois trechos com cabos para-raios isolados, porém somente o primeiro foi energizado e entrou em operação, resultando na linha PRE Itapuã. Esse trecho possui uma extensão aproximada de 70 km e um total de 174 torres, conforme apresentado na Figura 2 (a) e (b). A torre típica considerada é a de suspensão simples, com 33 m de altura.

Nas simulações, realizadas com o ATPDraw, a descarga atmosférica foi representada por uma onda de corrente triangular com tempo de frente igual a 2 μ s e tempo até zero igual a 160 μ s. A impedância de surto da torre foi considerada igual a 150 Ω e a velocidade de propagação da onda de corrente de descarga na torre foi considerada igual à velocidade da luz no vácuo (ANDERSON, 1987), (GATTA, ILICETO & LAURIA, 2001), (MARTINEZ & CASTRO-ARANDA, 2005). Os valores de resistência de terra das torres foram distribuídos em faixas, sendo empregada nas simulações os valores médios de cada faixa, correspondentes a 12 Ω , 19 Ω , 28 Ω , 41 Ω , 60 Ω e 96 Ω . No que diz respeito à resistividade do solo, várias medições foram realizadas ao longo da LT SMAQ no trecho até Itapuã do Oeste, sendo adotado nas simulações um valor próximo da média, igual a 5.700 Ω .m. Vale ressaltar, que nas simulações não foi considerado o efeito corona. Com efeito, isso conduz a uma análise conservativa, visto que o efeito corona provoca atenuação e distorção das sobretensões à medida que estas se propagam ao longo da LT. Por fim, as seguintes situações foram consideradas nas simulações:

- 1 - descargas diretas na torre; 1.1) sem cabo OPGW (com e sem ionização do

solo); 1.2) com cabo OPGW (com e sem ionização do solo);

2 - descargas diretas em cada um dos cabos PRE; 2.1) sem cabo OPGW; 2.2) com cabo OPGW; 2.2.1) sem ionização: a) PRE1; b) PRE2; 2.2.2) com ionização do solo: a) PRE1; b) PRE2.

Os valores de correntes críticas resultantes das simulações estão agrupados na Tabela 1. Observando-se esses resultados, verifica-se que a influência da ionização do solo é praticamente nula. Como era de se esperar, a presença do cabo OPGW está associada a correntes críticas mais elevadas, indicando que sua presença pode reduzir a possibilidade de disrupção na cadeia de isoladores e, conseqüentemente, a possibilidade de ocorrência de interrupção no PRE devido a descargas atmosféricas. De maneira oposta, altos valores de resistência de terra dos contrapesos das torres estão associados a menores valores de corrente crítica. Embora não indicados na Tabela 1, ao se considerar as descargas diretas nos cabos PRE todos os valores das correntes críticas são menores que 1,2 kA, independentemente de se considerar ou não o efeito da ionização do solo.

Local	Condição		Correntes Críticas (kA)						
			28 W	41 W	60 W	96 W			
Descarga Direta na Torre	Sem OPGW	Ionização	Sem	16,50	12,60	9,40	6,40	4,40	2,80
			Com	16,50	12,60	9,50	6,50	4,50	2,90
	Com OPGW	Ionização	Sem	23,50	18,10	14,10	10,10	7,60	5,60
			Com	23,50	18,20	14,20	10,50	7,80	5,60

Tabela 2- Correntes críticas de disrupção na cadeia de isoladores dos cabos PRE da LT SMAQ

Também foram feitas simulações de descargas diretas nos cabos para-raios energizados da linha PRE desconsiderando a presença do cabo OPGW. A corrente crítica nesse caso é igual a 0,9 kA, independentemente do valor da resistência de terra e da consideração do efeito de ionização do solo.

Adotando-se procedimento semelhante ao anteriormente descrito, também foram analisadas as correntes críticas de disrupção no trecho entre Ariquemes e Jarú, correspondente à LT AQJR, com extensão aproximada de 84 km e um total de 220 torres com alturas predominantes de 30 m e 33 m, sendo essas duas alturas

consideradas nas simulações. Em toda a extensão dessa LT os dois cabos para-raios foram isolados e energizados, compondo a linha PRE Jarú. Nessa LT a maioria dos valores de resistência de terra são menores que aqueles registrados na LT SMAQ. A resistividade do solo também é menor nesse trecho, sendo considerado nas simulações o valor médio igual a 1.700 Ω.m.

Resistência de terra (Ω)	Corrente crítica (kA) Sem ionização Torre 30 m	Corrente crítica (kA) Sem ionização Torre 33 m	Corrente crítica (kA) Com ionização Torre 30 m	Corrente crítica (kA) com ionização Torre 33 m
10	19,30	18,2	23,75	22,1
19	12,90	12,6	13,10	12,7
30	8,80	8,8	9,10	9,1
36	7,30	7,2	7,60	7,6
61	4,30	4,3	4,70	4,7

Tabela 2- Correntes críticas de interrupção na cadeia de isoladores dos cabos PRE da LT AQJR

Diferentemente do que foi verificado nas simulações da linha PRE associada à LT SMAQ, os resultados apresentados na Tabela 2 mostram claramente a influência da ionização do solo sobre os valores das correntes críticas. Nas simulações de descargas atmosféricas nos condutores da linha PRE, o valor da corrente crítica para as torres com 33 m de altura é de 910 A para qualquer valor de resistência de terra, independentemente de se considerar a ionização do solo. Quando a torre considerada é a de 30 m de altura, a amplitude da corrente crítica é de 920 A.

5.2 Estimativa do Número de Interrupções por Descargas Diretas

Na estimativa do número de interrupções por descargas diretas, o primeiro passo foi determinar o número médio estimado de descargas direta por ano incidentes sobre a LT. Para tanto, foi utilizado o método proposto pelo (IEEE, 1997). No que diz respeito à densidade média de descargas atmosféricas na região, adotou-se $N_g = 10$ descargas/km²/ano. Também foram consideradas duas alturas típicas de torre: 33 m para as torres da LT SMAQ e 30 m para as torres da LT AQJR. A largura da faixa de servidão dessas linhas é igual a 40 m. No segundo passo, a LT SMAQ e LT AQJR foram subdivididas em 6 e 5 trechos, respectivamente, de acordo com as faixas de resistência de terra medidas. À cada valor da corrente crítica de interrupção na cadeia de isoladores do PRE foi associada uma probabilidade de tal corrente ser excedida, através da seguinte equação (SCHROEDER, 2001), (SILVA, et al., 2003):

$$P(I_c) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_c}{45}\right)^{4,7}} \quad (1)$$

onde I_c é a corrente crítica expressa em kA.

O número de descargas diretas com possibilidade de causar disrupção na cadeia de isoladores é estimada através da seguinte equação:

$$\text{NIDD} = N_L \cdot P(I_c) \quad (2)$$

onde:

NIDD = número estimado de interrupções por descargas diretas;

N_L = número total de descargas diretas estimada para o trecho de linha em análise;

I_c = valor de crista da corrente crítica (corrente que causa disrupção na cadeia de isoladores);

$P(I_c)$ = probabilidade de a corrente crítica I_c ser excedida.

Como resultado da aplicação dos procedimentos acima descritos, para a LT SMAQ, no trecho da linha PRE Itapuã foram obtidos: $N_L = 167$ descargas diretas/ano e NIDD = 164 interrupções/ano. Da mesma forma, para a LT AQJR, obteve-se os seguintes resultados: $N_L = 193$ descargas diretas/ano e NIDD = 190 interrupções/ano. Adicionalmente, também foram analisados no escopo desta pesquisa o impacto das descargas atmosféricas incidindo próximas à LT, caracterizando as interrupções por descargas indiretas. Cerca de 25% das interrupções no sistema PRE são provocadas por tensões induzidas advindas das descargas indiretas. Enfim, todos esses resultados mostram que praticamente toda descarga atmosférica que atinge a LT, direta ou indiretamente, resulta em uma interrupção no sistema PRE, independentemente do valor da corrente crítica.

5.3 Número de Interrupções Verificadas

O levantamento das interrupções do sistema PRE ao tempo em que possibilita o conhecimento sobre o desempenho operacional da tecnologia, também é um importante instrumento para análise do comportamento dos cabos para-raios na sua função básica de blindar a LT 230 kV contra as descargas atmosféricas. O levantamento compreendeu o período de 1996 a 14/11/2000 para o PRE Jarú e de 22/09/1997 a 2007 para o PRE Itapuã. O seguinte roteiro metodológico foi adotado:

a) coleta de dados: realizada a partir de consultas às documentações produzidas pelas equipes de operação, tanto da CERON, quanto da ELETRONORTE;

b) análise das causas das interrupções: visando discriminar as interrupções por descargas atmosféricas foram realizadas análises da coerência entre os registros operacionais e a filosofia da proteção atuada, cruzamento de registros operacionais realizados pelas equipes de operação da ELETRONORTE e da CERON; verificação do horário das ocorrências e informações sobre as condições do tempo;

- c) classificação das interrupções: segundo a origem e segundo a causa;
- d) codificação das interrupções.

No período considerado da pesquisa, foram registradas 2.321 interrupções no sistema PRE, sendo 690 interrupções atribuídas às descargas atmosféricas. No mesmo período, a LT 230 kV com uma extensão aproximada de 316 km entre a UHE Samuel e Ji-Paraná foi desligada 87 vezes, sendo 61 vezes por descargas atmosféricas. Estratificando esses valores por 100 km de linha por ano, a taxa de desligamentos da LT em relação ao número total de desligamentos é equivalente a 2,3 desligamentos/100 km/ ano. Se forem considerados apenas os desligamentos provocados por descargas atmosféricas, resulta em uma taxa de desligamentos equivalente a 1,6 desligamento/100 km/ ano.

Levantamento feito sobre o desempenho das LTs compostas por estruturas de aço, tipo autoportante convencionais, operando em 230 kV na Região Norte, cobrindo o período de 1988 a 1998, ou seja, durante 11 anos, apresentaram um desempenho equivalente a 5,91 desligamentos/100km/ano. Em relação às descargas atmosféricas, o desempenho apresentado foi de aproximadamente 1,3 desligamentos/100km/ano (FERNANDES & MACHADO, 1999). Cumpre salientar, que a LT 230 kV entre a UHE Samuel e Ji-Paraná foram projetadas admitindo-se desempenho frente a descargas atmosféricas equivalente a 2 desligamentos/ 100 km/ ano.

6 | CONCLUSÕES

Apesar da isolação e energização dos cabos para-raios, as simulações realizadas, considerando os diversos valores de resistência de terra medidos, mostraram que praticamente todas as descargas atmosféricas diretas e parte daquelas que incidirem nas proximidades da LT resultarão em sobretensões com amplitudes superiores à tensão crítica de descarga disruptiva da linha PRE, isto é, do centelhador da cadeia de isoladores. Essa constatação está coerente com os resultados obtidos através do levantamento das interrupções no sistema PRE, realizados a partir de seus registros operacionais. Adicionalmente, vale ressaltar que as alterações na cabeça das torres para adequá-las à implantação da tecnologia PRE teve como consequência a redução no ângulo de blindagem, o que certamente contribuiu para melhorar o desempenho dos cabos para-raios na sua função principal de blindar a LT contra as descargas atmosféricas.

Comparativamente, o desempenho da LT 230 kV frente a descargas atmosféricas, equivalente a 1,6 desligamentos/100 km/ ano é relativamente próximo daquele resultante do levantamento feito nas linhas em operação na Região Norte, cujo valor é de aproximadamente 1,3 desligamentos/100 km/ ano. Outro fato importante é que a LT 230 kV aqui estudada foi concebida em projeto para um nível de desligamento por descargas atmosféricas igual a 2,0

desligamentos/100 km/ano.

A análise realizada no âmbito desta pesquisa permite concluir que a isolação e energização dos cabos para-raios da LT 230 kV do sistema de transmissão de Rondônia, de modo a permitir a operação do sistema PRE, não deteriorou o desempenho da LT frente a descargas atmosféricas. Esse resultado, ao tempo em que endossa o acerto das Empresas de Transmissão e Distribuição (atuais Eletrobras Eletronorte e Eletrobras Distribuição Rondônia) na aplicação da tecnologia PRE em Rondônia, apesar das incertezas sobre como seria seu desempenho na região, torna possível sua aplicação em outros projetos de LT.

Enfim, a tecnologia PRE oferece uma importante contribuição para o atendimento a pequenas comunidades próximas a LTs. É uma opção de compartilhamento entre a Transmissão e a Distribuição de energia elétrica, contribuindo para otimização das faixas de passagem das estruturas, bem como com o custo de implantação desses dois segmentos. Esse assunto deverá ser levado em consideração pelo planejamento elétrico (EPE) e pelos órgãos de governo (MME e ANEEL), pois, como os modelos atuais da Transmissão e da Distribuição são totalmente distintos, têm impossibilitado novos empreendimentos desse e de outros tipos com a mesma filosofia de compartilhamento. Essa dificuldade tem contribuído com a falta de produtividade do setor elétrico brasileiro, hoje tão reclamada pela sociedade.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. G. **Lightning performance of transmission lines**. In: Transmission Line Reference Book:345 kV and Above. 2.ed. Palo Alto, California, USA, Electric Power Research (EPRI), 1987. Cap. 12, p.545-597.

CERON. **Relatório de gestão 1997**. Porto Velho: CERON, 1998.

D'AJUZ, Ary; BLANCO, A. F. Pazo; LAGE, Marcos M.; MARTINEZ, Manoel L. B.; RAMOS, José Ezequiel; PIRES, Valdemir Aparecido; CRUZ, Antônio Marcelo Tavares. Implantação de cabos para-raios energizados: projeto, comissionamento e experiência operativa. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 14, 1997, Belém. **Anais**. SNTPEE. Belém, 1997. Grupo VIII: Subestações (GSU). 1 CD-ROM

D'AJUZ, Ary; ROSE, Eber Hávila; MARTINEZ, Manuel L. B.; PINTO, Wanderley S.; ARAÚJO, Marcos C.; TAKAI, Mário N.; OLIVEIRA JÚNIOR, Hélio Pessoa de; PIRES, Valdemir A.; TAVARES, Antônio Marcelo. Estudos elétricos necessários para a implantação da tecnologia de cabos pára-raios energizados. In: ENCONTRO REGIONAL IBERO-AMERICANO DA CIGRÉ, 8, 1999, Ciudad del Este, Paraguay. **Proceedings**. ERLAC. Ciudad Del Este, Paraguay, 1999.

DARVENIZA, M.; VLASTOS, A. E. The generalized integration method for predicting for non-standard wave shapes – a theoretical basis. **IEEE Transactions on Electrical Insulation**. v. 23, n. 3, p.373-381. Jun. 1988.

ELETRONORTE/ORON. **Sistema computadorizado de gestão de equipamentos: subsistema controle de equipamentos**. Porto Velho, 1995.

FERNANDES, José Henrique Machado; MACHADO, Vanderlei Guimarães. Desempenho das linhas

de transmissão da Eletronorte. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES EM LINHAS DE TRANSMISSÃO. 1999, Rio de Janeiro: abr. 1999. **CIGRÉ – SC 22**.

GATTA F.M; ILICETO F.; LAURIA, S. Lightning performance of HV transmission lines with insulated shield wire(s) energized at MV: analysis and field experience. In: SYMPOSIUM ON BEHAVIOUR OF ELECTRICAL EQUIPMENT AND COMPONENTS IN TROPICAL ENVIRONMENT, 2001, Cairns, **Proceedings**. CIGRÉ.Cairns, 2001. Paper n. 100-07, Sep. 2001.

GUEDES, Vitor Tadeu. Redução de sobretensões em cadeias de isoladores da linha de transmissão 230 kV Samuel / Ji-Paraná. In: PAINEL INTEGRADO DA QUALIDADE (PIQ) 9, 2003, Porto Velho. **Anais**. Porto Velho, 2003. 1 CD-ROM

ILICETO, F.; CINIERI, E.; CASELY-HAYFORD, L.; DOKYI, G. New concepts on MV distribution from insulated shield wires of HV lines: operation results on an experimental system and applications in Ghana. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v.4, n.4, p.2130-44, Oct. 1989.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE 1243**: IEEE guide for improving the lightning performance of transmission lines. New York, 1997.

MARTINEZ, Juan. A.; CASTRO-ARANDA, Ferley. Lightning performance analysis of overhead transmission lines using EMTP. **IEEE Transactions on Power Delivery**.v.20, n. 3, p. 2200-2210, Jul. 2005.

RAMOS, J. E.; PIANTINI A.; PIRES, V. A. ; D'AJUZ, A. The Brazilian experience with the use of the shield wire line technology (SWL) for energy distribution. **IEEE Latin America Transaction**, v.7, n.6, p.650-656, Dec. 2009.

SCHROEDER, M. A. O. **Modelo eletromagnético para descontaminação de ondas de corrente de descargas atmosféricas**: aplicação às medidas da Estação do Morro do Cachimbo. Belo Horizonte, 2001, 232f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.

SILVA, Sandro Pohl da; PIANTINI, Alexandre; DE FRANCO, Jorge Luiz; GONÇALVES, Jonas. Lightning performance studies for a 13.8 kV distribution network. In: VII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHTNING PROTECTION – VII SIPDA. Curitiba, Nov. 2003. **Proceedings**. SIPDA. São Paulo, IEE/USP, 2003. p. 137-143.

SOBRE A ORGANIZADORA

Jaqueline Oliveira Rezende Possui graduação em Engenharia Elétrica, com certificado de estudos em Engenharia de Sistemas de Energia Elétrica e mestrado em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente é aluna de doutorado em Engenharia Elétrica, no Núcleo de Dinâmica de Sistemas Elétricos, pela Universidade Federal de Uberlândia. Atuou como professora nos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação. Tem realizado pesquisas em Sistemas de Energia Elétrica, dedicando-se principalmente às seguintes áreas: Energia Solar Fotovoltaica; Curvas Características de Painéis Fotovoltaicos; Dinâmica de Sistemas Elétricos; Geração Distribuída; Simulação Computacional; Algoritmo Genético.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-46-8

