

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 DIELETRICO 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

PROSPECÇÃO DE PARQUES HIDROKINÉTICOS ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROJETOS NOS RIOS IGUAÇU E PARANÁ

Marcos Aurélio de Araujo

Universidade Federal da Integração Latino-
Americana

Foz do Iguaçu - Paraná

RESUMO: Neste trabalho é apresentado uma análise preliminar e comparativa entre dois estudos de prospecção de parques hidrocínéticos, um no rio Iguaçu e outro no rio Paraná. Cada parque desta proposta comportará duas turbinas de 500 kW, totalizando 1 MW de potência instalada. O propósito do estudo é relacionar os pontos que influenciam na prospecção de um parque hidrocínético, fornecendo as ferramentas necessárias para fazer uma avaliação preliminar, evitando com isso investimentos desnecessários em estudos que podem ser realizados em um projeto mais detalhado. Analisando os resultados, constata-se que o empreendimento no rio Paraná aproveita melhor a capacidade das turbinas hidrocínéticas.

PALAVRAS-CHAVE: Parque Hidrocínético, Turbina Hidrocínética, Projeto Tucunaré, Rio Iguaçu, Rio Paraná.

ABSTRACT: In this work a preliminary and comparative analysis was carried out between the prospecting studies of hydrokinetic parks, in the Iguaçu river and another in the Paraná river.

Each park of this proposal will have two 500 kW turbines, totaling 1 MW of installed power. The purpose of the study is to relate the points that influence the prospecting of a hydrokinetic park, providing the tools necessary tools to carry out a preliminary evaluation, avoiding investments in projects that can be carried out in a more detailed project. Analyzing the results, it is verified that the Paraná River venture makes better use of hydrokinetic turbine capacity.

KEYWORDS: Hydrokinetic Park, Hydrokinetic Turbine, Tucunaré Project, Iguaçu River, Paraná River.

1 | INTRODUÇÃO

Para obtenção de energia elétrica de fontes renováveis e ambientalmente correta é necessário um estudo inicial, no qual verifica-se a viabilidade do potencial disponível. Os aspectos considerados para determinar a viabilidade do projeto, levam em conta os critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais. O atendimento a esses requisitos é importante, pois, mesmo havendo disponibilidade de uma fonte de energia e não havendo demanda, o projeto não alcançará os objetivos econômicos e sociais. Da mesma forma, se o projeto de alguma forma comprometer o ecossistema, prejudicará a qualidade do ar, da água ou da

vegetação, provocando mais transtornos que benefícios. A questão técnica envolve uma análise do potencial disponível e a verificação da melhor maneira de obtenção dessa energia, de forma que o aproveitamento tenha o rendimento esperado.

Neste trabalho, foi investigado o aproveitamento da energia cinética do fluxo da água e sua conversão em energia elétrica. Para essa análise foram escolhidos dois locais, em rios de diferentes portes, porém que comportavam o mesmo equipamento para a conversão de energia. Nos locais foram simulados Parques Hidrocinéticos (PHC) com potência nominal de 1 MW, contendo duas Turbinas Hidrocinéticas (THCs) de 500 kW. Os locais escolhidos para o estudo são os rios Iguaçu e Paraná, por apresentarem todas as condições necessárias para instalação de um PHC. Esses locais são ilustrados na Figura 1.

1.1 Justificativa

O estudo para determinar se um local comporta um PHC, requer as medições da profundidade do rio e da velocidade do curso d'água, porém, durante a prospecção, uma avaliação preliminar é suficiente para selecionar ou descartar prováveis locais. Este trabalho compara dois locais com características distintas, porém, em um primeiro momento, aptos a receber um PHC com o mesmo potencial. Essa análise preliminar evita investimentos desnecessários em estudos que podem ser realizados em um projeto mais detalhado.



Figura 1 - Locais escolhidos para o estudo de instalação de PHC

1.2 Projeto Tucunaré

As Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (Eletronorte) juntamente com a UnB em parceria com a Unicamp, UFPA, UFMG e UNIFEI, desenvolvem um estudo denominado Projeto Tucunaré, que visa introduzir Parques Hidrocinéticos Fluviais no Brasil. Essa parceria rendeu vários trabalhos acadêmicos, tendo em vista aumentar

o conhecimento acerca do assunto. A princípio o propósito do estudo é instalar uma unidade demonstrativa de 1 MW, usando duas turbinas de 500 kW, para aproveitamento da energia hídrica residual e já turbinada pela Usina Hidrelétrica de Tucuruí, no rio Tocantins, estado do Pará.

As características gerais da THC do Projeto Tucunaré são mostradas na Tabela 1, enquanto as condições de operação prevista para esse projeto são apresentadas na Tabela 2 e por fim, as principais dimensões são exibidas na Tabela 3:

CARACTERÍSTICAS GERAIS
Eixo horizontal e fluxo axial
Rotor com três pás
Balsa flutuante ancorada
Gerador submerso

Tabela 1 - Características gerais

GRANDEZA	VALOR PREVISTO
Potência elétrica gerada	500 kW
Velocidade de corrente do rio	1,7 a 2,5 m/s
Rotação nominal da turbina	25 rpm
Potência nominal	160 kW (1,7 m/s) e 500 kW (2,5 m/s)

Tabela 2 - Condições de operação prevista (TEIXEIRA, 2014)

GRANDEZA	VALOR PREVISTO
Diâmetro do rotor	10 m
Largura da carenagem da nacele	2 m
Comprimento total	5,3 m
Massa total	17.000 kg

Tabela 3 - Principais dimensões (TEIXEIRA, 2014)

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Escolha do local

De acordo com as características, condições de operação e dimensões da THC dimensionada para o Projeto Tucunaré, deve-se escolher um trecho no leito do rio onde obtém-se o melhor rendimento para instalar as turbinas. Foi definido para o rio Iguaçu o ponto nas coordenadas de latitude 25°36'58.98"S e longitude 54°29'44.07"O e para o rio Paraná o ponto nas coordenadas de latitude 25°32'37.81"S e longitude 54°35'37.12"O, por apresentarem largura menor que o restante do rio no trecho de interesse.

2.2 Fluviograma

O levantamento de dados de vazão foi obtido de estações fluviométricas, através do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) elaborado pela Agência Nacional de Águas (BRASÍLIA, 2016), que possibilitou a caracterização do regime hidrológico ao longo do ano. Foram escolhidos o posto fluviométrico Salto Cataratas (Código ANA 65993000) no rio Iguaçu e o posto fluviométrico Itaipu R-2 (Código ANA 64903000) no rio Paraná, para servirem de base para a obtenção da série de vazões utilizadas para dimensionamento do PHC. Com as informações das estações fluviométricas, foram obtidos os dados das vazões para o rio Iguaçu no período entre janeiro de 1998 a dezembro de 2007 e para o rio Paraná no período entre janeiro de 2003 a dezembro de 2012.

2.3 Área hidráulica

A área hidráulica, necessária para estimar a velocidade do rio em qualquer altura de cota, é determinada através do cálculo de polígonos irregulares pelo método do Produto em Cruz (ROMERO, 2016), conforme equação abaixo:

$$A = \frac{1}{2} * \left\{ \left[\sum_{i=1}^{i=n-1} \left((x_i * y_{i+1}) - (y_i * x_{i+1}) \right) \right] + \left[(x_n * y_1) - (y_n * x_1) \right] \right\} [m^2] \quad (1)$$

Onde:

A : área do polígono irregular [m²]

x e y : coordenadas dos vértices do polígono

2.4 Secção transversal do rio

A secção transversal do rio Iguaçu foi obtida com dados fornecidos pela Itaipu Binacional (OPSH.DT, 2016), enquanto que a secção transversal do rio Paraná, foi obtido de Gamaro (GAMARO, 2012). Com base no perfil transversal dos rios Iguaçu e Paraná, foram montadas tabelas, a partir desses dados foram traçadas as linhas de tendência e as respectivas equações para largura, perímetro e área, as quais são utilizadas para o cálculo da energia produzida pela THC. Os perfis transversais gerados pela planilha do Microsoft Office Excel são mostrados nas Figuras 2 e 3.

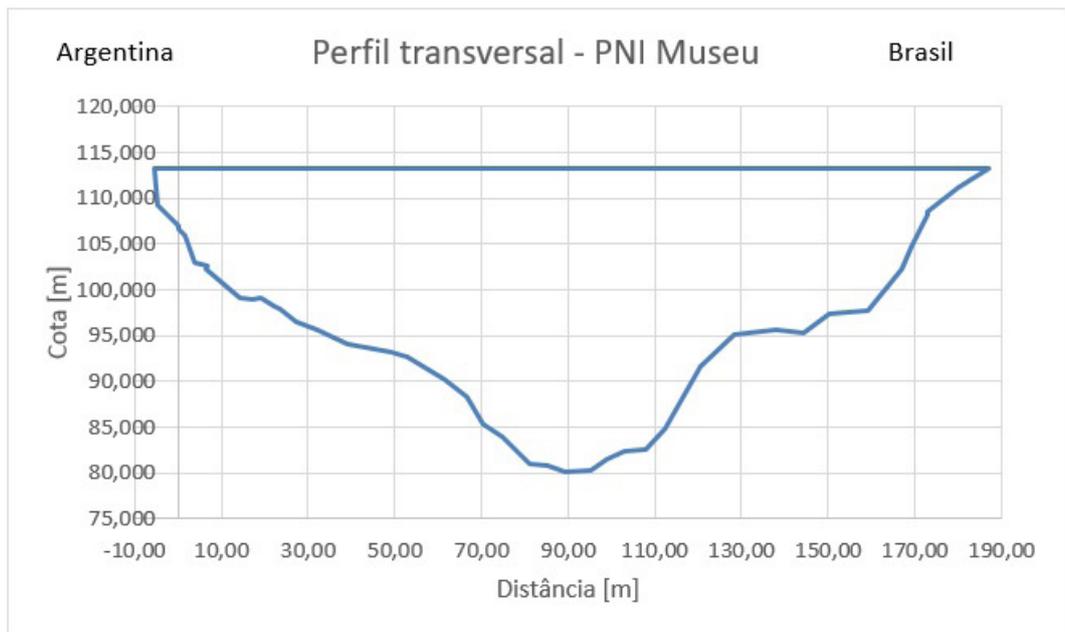


Figura 2 - Perfil transversal do rio Iguaçu no posto fluviométrico PNI Museu

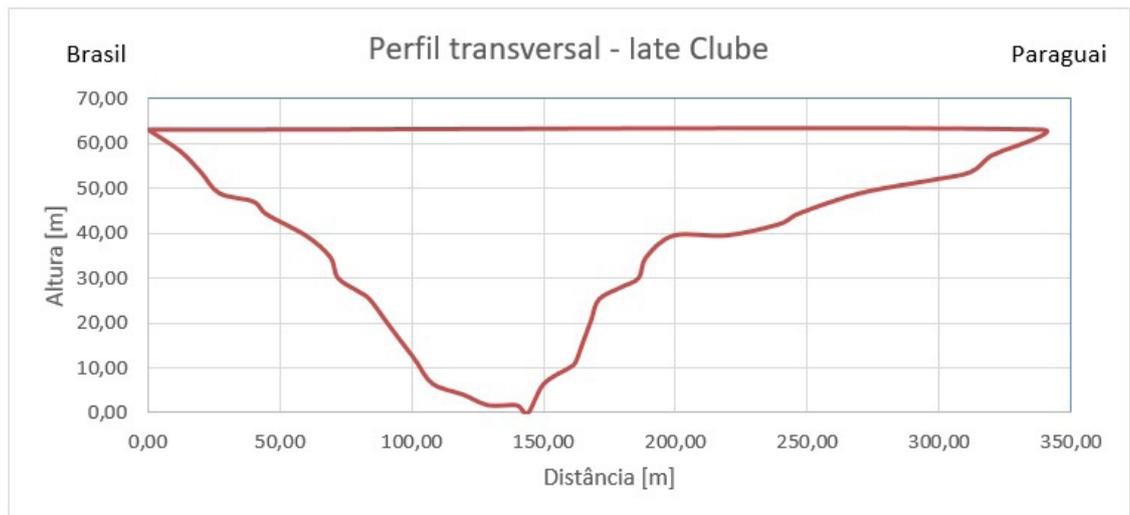


Figura 3 - Perfil transversal do rio Paraná no posto fluviométrico late Clube

2.5 Estimativa da energia gerada

Para estimar a energia anual gerada pelos PHCs, foi usado a vazão média relativa aos meses. Para obtenção dos valores da Área (A), Perímetro (P) e Raio hidráulico (Rh) da secção transversal onde será instalado as THCs, foram utilizadas as equações obtidas através das curvas Vazão versus Altura, Largura, Área e Perímetro. As demais equações são apresentadas abaixo:

Vazão:

$$Q \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2)$$

Velocidade média:

$$v = \frac{Q}{A} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3)$$

Número de Froude:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \frac{A}{B}}} \quad (4)$$

Número de voltas:

$$n = 12 \cdot v \left[\frac{rev}{m} \right] \quad (5)$$

Velocidade angular:

$$\omega = n \cdot \frac{2\pi}{60} \left[\frac{rad}{s} \right] \quad (6)$$

Razão de velocidade de ponta:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v} \quad (7)$$

Coefficiente de potência:

$$C_p = 0,0019 \cdot \lambda^3 - 0,0582 \cdot \lambda^2 + 0,5956 \cdot \lambda - 0,995 \quad (8)$$

Potência hidrocínética:

$$P_{hc} = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v^3 [W] \quad (9)$$

Potência elétrica:

$$P_{el} = \frac{\eta_g \cdot C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v^3}{1000} [kW] \quad (10)$$

Energia produzida:

$$EP(m\hat{e}s) = \frac{P_{el} \cdot (n^\circ \text{ dia } m\hat{e}s) \cdot 24h}{1000} [MWh] \quad (11)$$

Onde:

g : Aceleração da gravidade, igual a 9,81 [m/s²]

R : Raio do rotor da turbina, igual a 5 [m]

ρ : massa específica da água, igual a 998 [kg/m³]

D : diâmetro do rotor, igual a 10 [m]

v : velocidade média do curso d'água [m/s]

η_g : Rendimento geral

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As planilhas com os valores já calculados, para as THCs instaladas nos rios Iguazu e Paraná, são apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Mês	Q Vazão [m³/s]	Área da secção molhada [m²]	v Velocidade média [m/s]	n N° de voltas [rev/m]	ω Velocidade angular [rad/s]	λ Razão de velocidade de ponta	Potência elétrica [kW]	Energia produzida [MWh/mês]
jan	1260,97	1669,87	0,76	9,06	0,95	6,28	13,99	10,41
fev	1721,06	2091,31	0,82	9,88	1,03	6,28	18,10	12,17
mar	1388,05	1799,97	0,77	9,25	0,97	6,28	14,90	11,08
abr	1888,31	2216,95	0,85	10,22	1,07	6,28	20,07	14,45
maio	1880,69	2211,47	0,85	10,21	1,07	6,28	19,98	14,86
jun	1348,95	1761,25	0,77	9,19	0,96	6,28	14,59	10,51
jul	1510,06	1914,11	0,79	9,47	0,99	6,28	15,95	11,87
ago	1427,98	1838,39	0,78	9,32	0,98	6,28	15,22	11,33
set	1913,30	2234,76	0,86	10,27	1,08	6,28	20,38	14,68
out	2669,86	2686,17	0,99	11,93	1,25	6,28	31,89	23,73
nov	1789,19	2143,90	0,83	10,01	1,05	6,28	18,88	13,59
dez	1410,70	1821,89	0,77	9,29	0,97	6,28	15,08	11,22
Energia anual gerada [MWh/ano]								159,89

Tabela 4 - Energia anual produzida no rio Iguazu

Mês	Q Vazão [m³/s]	Área da secção molhada [m²]	v Velocidade média [m/s]	n N° de voltas [rev/m]	ω Velocidade angular [rad/s]	λ Razão de velocidade de ponta	Potência elétrica [kW]	Energia produzida [MWh/mês]
jan	13009	9269,33	1,40	16,84	1,76	6,28	89,80	66,81
fev	13974	9645,41	1,45	17,38	1,82	6,28	98,77	66,37
mar	12719	9148,98	1,39	16,68	1,75	6,28	87,28	64,94
abr	12045	8856,02	1,36	16,32	1,71	6,28	81,73	58,84
maio	10473	8102,69	1,29	15,51	1,62	6,28	70,15	52,19
jun	10571	8152,18	1,30	15,56	1,63	6,28	70,82	50,99
jul	10315	8021,21	1,29	15,43	1,62	6,28	69,08	51,39
ago	10339	8033,84	1,29	15,44	1,62	6,28	69,24	51,51
set	9946	7827,57	1,27	15,25	1,60	6,28	66,63	47,97
out	11294	8508,20	1,33	15,93	1,67	6,28	75,97	56,52
nov	11094	8412,06	1,32	15,83	1,66	6,28	74,51	53,65
dez	11746	8720,50	1,35	16,16	1,69	6,28	79,39	59,06
Energia anual gerada [MWh/ano]								680,26

Tabela 5 - Energia anual produzida no rio Paraná

A energia produzida anualmente por cada THC no rio Iguazu é de 159,89 MWh, como o PHC possui duas THCs, a produção fica em 319,78 MWh. Quanto a energia produzida por cada THC no rio Paraná, o valor é de 680,26 MWh, com uma produção anual de 1.360,52 MWh para as duas turbinas. Constata-se que o rio Paraná possui um potencial energético maior que o rio Iguazu, cerca de 4 vezes, com isso, aproveitando melhor a capacidade das THCs. Para verificação da viabilidade técnica, foi calculado

e comparado o Fator de Capacidade (FC) do PHC em ambos os rios. O cálculo do FC, considerando o período de 1 ano, usa a seguinte equação:

$$FC = \frac{EAG}{\Delta t * P_n} \quad (12)$$

Onde:

FC = Fator de capacidade

EAG = Energia anual gerada [MWh/ano]

$\Delta t = 24h * 365 \text{ dias} = 8760 \text{ [h]}$

$P_n = \text{Potência nominal do PHC} = (2 * 500 \text{ kW})/1000 = 1 \text{ [MWh]}$

Para o parque no rio Iguaçu o FC fica:

$$FC = \frac{319,78}{8760 * 1} = 0,0365 \text{ ou } 3,65 \%$$

Para parque no rio Paraná o FC fica:

$$FC = \frac{1360,52}{8760 * 1} = 0,1553 \text{ ou } 15,53 \%$$

O FC de 3,65 %, inviabiliza o PHC no rio Iguaçu, quanto ao PHC no rio Paraná, para que seja viável sua instalação, há necessidade de melhorar no FC, por exemplo, posicionando as turbinas em pontos de maior velocidade do rio.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que independente do porte do rio, após os estudos preliminares, o trecho escolhido para instalação, deve ainda ser submetido a batimetria, para comprovação de seu perfil transversal e uma aferição da velocidade do rio com equipamentos, como por exemplo ADCP. Isso é necessário para que se possa posicionar a THC no local onde a velocidade do rio é mais alta, conseqüentemente melhorando o Fator de Capacidade.

REFERÊNCIAS

BRASÍLIA. Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. Agência Nacional das Águas (Ed.). **Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas**. 2016. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 1 jun. 2016.

GAMARO, P. E. **Medidores Acústicos Doppler de Vazão**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2012. 164 p.

OPSH.DT, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Itaipu Binacional. **Hidrologia do Rio**

Iguaçu após Cataratas [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <glaucio.roloff@unila.edu.br> em 12 ago.2016.

ROMERO, I. **Cálculo en Excel del área de un polígono irregular - producto en cruz.** 2012. Disponível em: <<http://exclforo.blogspot.com.br/2012/10/calculo-en-excel-del-area-de-un.html>>. Acesso em: 1 jun. 2016.

TEIXEIRA, R. A. G. **Montagem e Instalação de Turbinas Hidrocinéticas.** 2014. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

TROCADOR DE CALOR – INOVAÇÃO NO AQUECIMENTO DE ÁGUA, FUNCIONAMENTO, RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM TECNOLOGIAS SEMELHANTES

Odair Deters

Rio Grande Energia

Caxias do Sul – Rio Grande do Sul

Paulo Valdoci Pereira

5EC Engenharia.

São Leopoldo – Rio Grande do Sul

Valério Monteiro

QBanho Ltda.

São Leopoldo – Rio Grande do Sul

RESUMO: O Programa de Eficiência Energética (PEE) das distribuidoras de energia elétrica pode apresentar-se como uma oportunidade para a implantação de soluções inovadoras. Contudo soluções que surgem precisam de implantações em projetos-piloto e medição dos resultados. Este trabalho versa sobre a implantação do aparelho chamado Trocador de Calor, tecnologia de reaproveitamento de calor que apresentou-se como uma alternativa de relevância para atuar em um dos maiores vilões do consumo residencial, o chuveiro elétrico. Apresenta-se neste trabalho o resultado da aplicação de 3500 trocadores de calor em cinco municípios e os resultados das medições decorrentes destas aplicações, onde constatou-se uma alternativa viável para aplicação em comunidades de baixa renda.

PALAVRAS-CHAVE: Trocador de Calor; Aquecimento de água; Comunidades de

Baixa Renda; Economia de Energia; Qbanho; Programa de Eficiência Energética

SUMMARY: The Energy Efficiency Program (PEE) of electricity distributors can present itself as an opportunity for the implementation of innovative solutions. However solutions that emerge need deployments in pilot projects and measurement of results. This work is about the implantation of the apparatus called Heat Exchanger, heat reuse technology that presented itself as a relevant alternative to act in one of the biggest villains of residential consumption, the electric shower. The results of the application of 3,500 heat exchangers in five municipalities and the results of the measurements resulting from these applications are presented, where a viable alternative for application in low-income communities was found.

KEY WORDS: Heat Exchanger; Water heating; Low Income Communities; Energy saving; Qbanho; Energy Efficiency Program

1 | INTRODUÇÃO

Dentre as diversas tipologias de projetos previstas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) existe a obrigatoriedade de investimento mínimo de 60% no segmento de consumidores enquadrados na subclasse residencial baixa renda. Dentre as ações

principais nesta tipologia pode-se citar: substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas e mais recentemente por lâmpadas LED; troca de refrigeradores ineficientes por modelos que consomem menos energia; e a substituição de chuveiros de alta potência de até 7.5 kW por chuveiros de potência menor com a utilização de base recuperadora de calor ou sistemas solares (PRADO & GONAÇALVES, 1998).

Para as concessionárias, a redução no consumo e demanda de energia, obtida dentro dos Programas de Eficiência Energética (PEE), posterga a necessidade de investimentos na expansão da capacidade instalada, sem comprometer a qualidade dos serviços prestados aos usuários finais, promovendo o equilíbrio tarifário e a competitividade do setor (GOLDEMBERG & LUCON, 2007).

Ainda, sabe-se que energia demandada pelo setor residencial no período de ponta do sistema elétrico é verificada, pelas concessionárias e pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), por meio da demanda (maior potência média em cada intervalo de 15 min) (Melo, 2003) durante o período do dia. Entretanto, a carga elétrica não é identificada por tipo de uso, ou seja, a carga não é identificada pelos diversos aparelhos que utilizam energia elétrica.

Estudos apontam que o chuveiro elétrico típico usa menos de 5% da disponibilidade energética que consome, e o resto desperdiça-se (Nogueira, 2007). Apesar da importância deste aparelho na demanda no horário de pico e no consumo residencial, poucos estudos foram dedicados à verificação de resultados desta ação de eficiência energética (MELO, 2003).

Outro ponto observado é que a reutilização de água de descarte de processo para realizar pré-aquecimento, pode fornecer ganhos entre 30% a 55% no aquecimento de água (Proskiw, 2013). Ainda, conforme resultados apresentados pelo laboratório de ensaios de equipamentos solares (Geen-Puc, 2000), segundo norma NBR 12089, como vazão de 3,0 L/min, e temperatura de saída do chuveiro de 40,0°C foi possível evidenciar uma eficiência de aproximadamente 50% para uma base recuperadora estudada, similar ao trocador objeto deste estudo.

O Trocador de calor é o dispositivo usado para realizar o processo da troca térmica entre dois fluidos em diferentes temperaturas. Pode-se utilizá-los no aquecimento e resfriamento de ambientes, no condicionamento de ar, na produção de energia, na recuperação de calor e nos processos químicos (SIPPEL, 2014).

O produto (trocador de calor) aplicado tem como princípio de funcionamento o reaproveitamento de calor gerado pela água utilizada no banho, através de uma placa estruturada de aço inoxidável cuja água que irá atender o chuveiro circula internamente nesta, ou seja, a parede de metal transfere calor da água do banho, externo ao corpo da placa estruturada (que seria desperdiçada), e com isso, permitindo, com que a temperatura inicial de admissão ganhe de 6 a 12°C.

Portanto, o objetivo deste trabalho apresenta-se pela inovação, e absorve-se seu funcionamento, resultados e comparações com outras tecnologias similares.

Justificando-se a importância do estudo com a legislação de programa de eficiência energética da ANEEL que tornou a aplicação deste sistema viável e atrativo para as concessionárias, as quais várias incorporaram em seus projetos de eficiência energética a ação de *retrofit* de chuveiros.

2 | DESENVOLVIMENTO

2.1 O Trocador de Calor

A aplicação desta tecnologia de reaproveitamento de calor apresentou-se como uma alternativa de relevância para que as ações dos programas de eficiência energética da ANEEL atuem em um dos maiores vilões do consumo residencial, o chuveiro elétrico, principalmente na Região Sul e Sudeste. Permitindo uma atuação na redução da potência do chuveiro e do consumo de energia elétrica em comunidades de baixo poder aquisitivo.

De maneira a contribuir com este cenário, observa-se que a Rio Grande Energia (RGE) realiza diversas ações de eficiência energética em seus clientes tendo como objetivo a redução do consumo de energia. Uma destas ações é a substituição do aquecimento de água tradicional (chuveiro elétrico), patente do ano de 1950 (Nogueira, 2007), por um modelo mais eficiente. Estudos mostram que o chuveiro elétrico é responsável por quase 26% da energia elétrica consumida nas residências brasileiras (Nogueira, 2007) e consumindo cerca de 180 kWh por ano (LINS & SILVA, 1998 apud. GELLER & JANNUZZI, 1996).

O modelo que considera-se neste estudo mais eficiente trata-se do trocador de calor, produto patenteado pela empresa *Qbanho Industrial Ltda*. Trata-se de chuveiros equipados com trocadores de energia térmica, com o reaproveitamento de energia térmica.

O sistema de funcionamento do trocador dá-se da seguinte forma: Ao ser aberto o registro, a água (fria) é conduzida por uma mangueira até a plataforma de Plástico de Engenharia com o Trocador de Calor de placas de aço inoxidável (hermético), onde ocorre a troca térmica, a plataforma em formato retangular inicialmente estando com a mesma temperatura da água de admissão do trocador. A água sai do trocador com temperatura de saída igual à de admissão chegando ao chuveiro. Iniciando assim o funcionamento do chuveiro elétrico de potência reduzida (fonte de aquecimento), o trocador de calor fica posicionado no piso abaixo do chuveiro, onde a água aquecida oriunda do chuveiro cai e escorre para o ralo, ao entrar em contato com a placa de aço inoxidável, inicia o processo de transferência do calor residual contido na água usada para a água limpa (diferencial de temperatura) de forma indireta.

A partir daí a água de admissão (limpa) passa a percorrer o interior da placa de aço inoxidável, permitindo a eficiente troca térmica entre a água usada que cai aquecida pelo chuveiro e a água com temperatura menor no interior. A água é levada

até o chuveiro com uma temperatura de saída da placa de aço inoxidável maior que a temperatura de admissão, sendo aquecida no chuveiro por resistência elétrica (efeito *Joule*). O trocador de calor estando abaixo do chuveiro começa a entrar em contato com a água do banho (quente) e passa a ser aquecido absorvendo a energia térmica da água, que antes era desperdiçada e jogada no ralo. Transmite-se então o calor para a água que entra na plataforma, realizando um pré-aquecimento antes de entrar no chuveiro com uma temperatura maior que a temperatura de admissão do trocador, conforme evidencia-se na Figura 1.



Figura 1: Sistema de troca térmica do Trocador de Calor

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Observa-se ainda que a água que cai do chuveiro está em contra fluxo em relação à água de admissão no trocador, caso este de maior troca térmica (ÇENGEL & GHAJAR, 2012). Ainda nota-se que é considerada como temperatura da água que cai sobre a base recuperadora, a temperatura de saída do chuveiro onde é desprezando a perda térmica neste percurso do chuveiro até a base recuperadora de calor (LOPES, *et. Al.*, 2008).

Na Figura 2 apresenta-se o modelo de trocador de calor utilizado para recuperar calor junto ao chuveiro elétrico.



Figura 2: Modelo de Trocador de Calor

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.



Figura 3: Plataforma de aço inoxidável do trocador

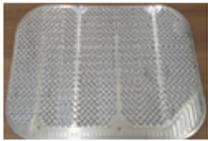
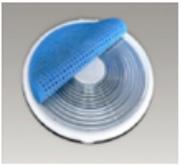
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O Trocador de calor como alternativa de aplicação nos Programas de Eficiência Energética, idealizado com materiais nobres e duráveis, tendo como objetivo desenvolver um produto viável que funcionasse como sistema de banho, o produto ganhou e a empresa fabricante ganharam o nome de *QBanho*. A *QBanho* foi fundada em 2015 para produzir o trocador de calor, suas operações foram iniciadas na cidade de São Leopoldo/RS, de forma a encontrar-se próxima a dois polos de tecnologia,

em metalurgia e polímeros. Permitindo a apresentação de um produto inovador e que atendesse as demandas dos PEE. Logo o produto apresentou o resultados de seus primeiros testes, um deles desenvolvido pelo Instituto Senai de Inovação, o produto foi apresentado a RGE, distribuidora do Grupo CPFL, que prontamente conferiu a viabilidade da aplicação do produto no PEE ao comprovar-se de redução de consumos em amostra significativa com continuidade e ainda pela redução de demanda e fator de coincidência no horário de ponta da utilização do sistema, realizando-se uma aplicação de um lote inicial de 3500 unidades em cinco municípios de sua área de concessão. (SENAI, 2015)

A RGE empenha-se em aplicar soluções no PEE, e uma das soluções aplicadas concorre com o trocador de calor, trata-se do Recuperador de Calor, tecnologia já empregada por muitas distribuidoras em seus PEE, inclusive na RGE. O Recuperador de Calor foi desenvolvido no ano de 1999, trata-se de um sistema similar de aproveitamento do calor da água que sai do chuveiro. O produto foi apresentado a CEMIG em 2000 e imediatamente inserido no programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da CEMIG¹ - P&D 004 que ensaiou e avaliou o ganho energético da tecnologia. Onde se observou os excelentes resultados obtidos no P&D, surgindo a partir de então a empresa *REWATT* que desenvolveu o sistema recuperador de calor ao qual em 2005 tornou-se comercial com a designação *KIT Rewatt*. (DETERS & SIPPEL, 2015)

Neste sentido, compara-se o Trocador de Calor com o Recuperador de Calor, em três grupos comparativos: Base (Quadro 1), Acessórios (Quadro 2) e Ducha (Quadro 3).

TROCADOR DE CALOR		RECUPERADOR DE CALOR	
<ul style="list-style-type: none"> • Placa de aço Inox; • Solda Moderna e segura; • Não retém sujeiras, fácil limpeza; • Fixada com Poliuretano. 		<ul style="list-style-type: none"> • Serpentina de Alumínio; • Solda Química; • Retém sujidades de difícil remoção; • Fixado com abraçadeiras. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma em Plástico de Engenharia virgem; • Resistente a ataque químico; • Longa Durabilidade; • Tapete de Plástico de Engenharia virgem; 		<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma em ABS Comum; • Material suscetível à higroscopia e ataque químico; • Tapete de Borracha. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Alta estruturação mecânica; • Distribuição uniforme do peso do usuário; • Longa durabilidade. 		<ul style="list-style-type: none"> • Média estruturação mecânica; • Apoio somente no perímetro; • Engate comum; • Média durabilidade. 	

Quadro 1: Comparações entre as bases do Trocador e do Recuperador de Calor.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

¹ Companhia Energética de Minas Gerais S.A. é uma concessionária de energia elétrica, tendo sede na cidade de Belo Horizonte/MG.

Ao apresentar uma estrutura de aço inox de fácil limpeza e uma plataforma em plástico resistente a ataque químico (oriundo principalmente dos produtos usados para o banho) o trocador de calor tende a apresenta-se como um produto de maior durabilidade.

TROCADOR DE CALOR		RECUPERADOR DE CALOR	
<ul style="list-style-type: none"> • Pés Reguláveis em plástico de engenharia; • Sapatas de Borrachas antiderrapante fixadas, garantindo segurança e estabilidade para o usuário. 		<ul style="list-style-type: none"> • Não possui regulagem de nível; • Perfil antiderrapante apenas encaixado, oferece pouca segurança e estabilidade ao usuário. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Produzido em Policarbonato; • Regulador de Vazão Lateral; • Engates rápidos especiais e com trava; • Estruturado mecanicamente para capa de acabamento; 		<ul style="list-style-type: none"> • Produzido em Polipropileno; • Regulador de Vazão acima; • Engates lisos e comuns; • Depende do apoio da parede e não possui capa de acabamento; 	

Quadro 2: Comparações entre os acessórios do Trocador e do Recuperador de Calor.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nos itens aqui definidos como “acessórios”, nota-se no trocador uma capacidade de fixação junto ao chão, ou seja, estrutura com pés antiderrapantes e os engates possuem uma capa de acabamento que os esconde tornando os arquitetonicamente mais condizentes.

TROCADOR DE CALOR		RECUPERADOR DE CALOR	
<ul style="list-style-type: none"> • Ducha Eletrônica com Indicador de potência LED. • Válvula de Ajuste de vazão lateral. • Capa de acabamento. • Engates Rápidos com trava; • Resistência de mercado, fácil reposição. 		<ul style="list-style-type: none"> • Ducha Mecânica 8 Temperaturas; • Ajuste de Vazão acima (risco de contato com os fios Elétricos); • Sem capa de acabamento; • Engates comuns. • Resistência Personalizada, difícil reposição. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Pressurizador de fácil acoplamento na parede; • Dispositivo Termo-protetor; • Engates rápidos e embutidos com fixação das mangueiras na saída para a plataforma. 		<ul style="list-style-type: none"> • Pressurizador sem conexão centralizada, sem visão de acoplamento; • Não possui termo protetor; • Engates lisos e aparentes sem fixação das mangueiras 	

Quadro 3: Comparações entre as duchas do Trocador e do Recuperador de Calor.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao analisar-se o comparativo das duchas empregadas, evidencia-se que no caso do trocador de calor, a ducha é um modelo eletrônico com sinalizador em LED que apresenta a potência em uso, bem como a resistência - considerado um item que tende a apresentar problemas - neste caso emprega-se uma resistência de mercado, permitindo no caso da queima a fácil e rápida substituição.

Ainda pode-se, através da análise comparativa simples, identificar que o aparelho trocador de calor frente ao recuperador de calor, dispõe de recursos e diferenciais que o apontam como equipamento mais eficiente e com diferenciais relevantes como: Durabilidade; facilidade de limpeza; resistência mecânica e química; uso e manuseio simples e didático; facilidade de manutenção e checagem de Vazão e Pressão.

2.2 Resultados da Aplicação

Aplicou-se o trocador em um total de 3.500 clientes em cinco municípios da área de concessão da RGE, junto realizou-se uma pesquisa estatística que atingiu em 100% dos beneficiados.

Porém antes da aplicação imbuu-se de verificar a efetividade do produto, onde na Figura 4, apresenta-se os valores de temperatura e potência da ducha eletrônica ao trocador de calor. No ensaio a potência nominal de 4600 Watts(W) e potência real média de 4659 W. O gradiente de temperatura entre a entrada e saída do trocador foi de 16°C (Celsius). A temperatura máxima obtida na saída do chuveiro foi de 61,4°C, sendo que o gradiente entre a saída do chuveiro e a saída do trocador foi de 22,6°C. O gradiente entre as temperaturas de saída do trocador e a temperatura de nuca, a 50 centímetros foi de 17°C. Além destes outros ensaios (testes) foram realizados. (SENAI, 2015)

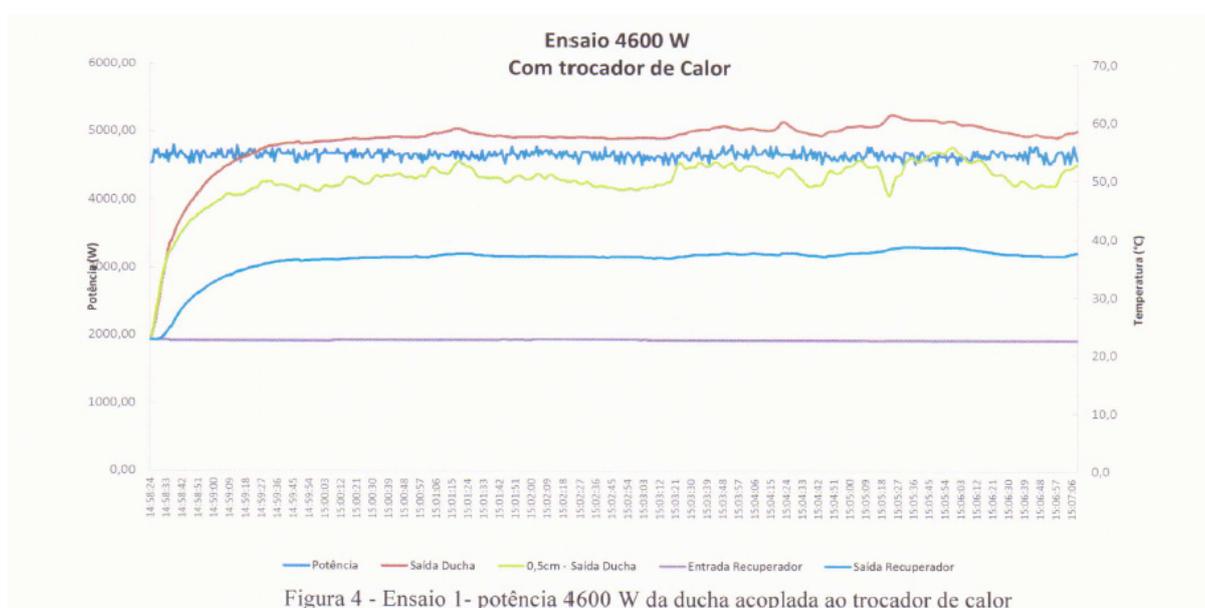


Figura 4 - Ensaio 1- potência 4600 W da ducha acoplada ao trocador de calor

Figura 4: Ensaio na potência 4600W da ducha acoplada ao trocador de calor.

Fonte: SENAI (2015)

Observa-se, no entanto que existe a necessidade de comprovação destes resultados quando aplicado aos usuários finais. Assim, campanhas de medição em projetos de eficiência energética desempenham um papel fundamental na avaliação das reais reduções de consumo conseguidas com cada projeto (ANEEL, 2008).

Esta comprovação deve-se ao fato de que um domicílio seja afetado por mudanças em pelo menos cinco conjuntos de parâmetros os quais se pode citar como mais relevantes: a população (refletida no número de banhos e tempo de banho), condição de uso (refletida em termos da vazão e aumento da potência) e as variáveis climáticas (AGAMI *et al.*, 1997). Segundo (LAMBERTS *et al.*, 2007) existe diferenças significativas no uso da eletricidade nas zonas bioclimáticas do Brasil sendo mais significativa para o chuveiro e ar condicionado.

Percebe-se assim que atendeu-se mais de 13 mil pessoas e que cada residência utiliza em média 45 minutos de chuveiro ao dia, conforme Tabela 1.

Medição & Verificação 2015					
Município	Contagem de Residências	Soma de Pessoas Total	Média de BanhosPorDia	Média de TempoBanho	Média de Chuveiro_Ligado
Santo Ângelo	1352	5133	4,015	10,22	42,76
Bento Gonçalves	304	1223	4,161	12,95	57,17
Lagoa Vermelha	654	2540	3,910	11,75	48,11
São Luiz Gonzaga	1073	3826	3,776	11,42	44,25
São José do Ouro	117	422	3,855	9,40	36,36
Total Geral	3500	13144	3,929	11,08	45,25

Tabela 1: Compilação da pesquisa para Medição & Verificação da etapa 2015.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para a relação de clientes aplicou-se o processo de Medição e Verificação (IPMVP, 2012), apresenta-se que das 80 unidades consumidoras (clientes) selecionados para o cálculo da energia, foram descartadas sete medições que apresentavam com alguma inconsistência ou distorção em relação ao conjunto, e o resultado das medições apresenta-se no Quadro 4.

Outros				Realizado
Premissas do cálculo do tempo de utilização	Fora Ponta	Minutos/Banho:		4,49
		Banhos/Dia:		4,72
	Ponta	Minutos/Banho:		4,70
		Banhos/Dia:		1,98
Dias/Ano:				365
Horas/ano trabalhadas:			t	129,00
Fator de Coincidência de Ponta:			FCP	5,17%
Sistema Atual				
Tipo de equipamento / Tecnologia				Chuveiros
Chuveiro	Potência	(W)	C ₁	4.433
	Potência Ponta	(W)		4.241
	Quantidade		NC ₁	3.500
Periférico	Perdas	(W)	P ₁	-
	Quantidade		NP ₁	-
Potencia Instalada		(kW)		15.516,03
Energia Consumida		(MWh/ano)		2.001,63
Sistema Proposto				
Tipo de equipamento / Tecnologia				Trocadores
Chuveiro	Potência	(W)	C ₂	2.891
	Potência Ponta	(W)		2.690
	Quantidade		NC ₂	3.500
Periférico	Perdas	(W)	P ₂	-
	Quantidade		NP ₂	-
Potencia Instalada		(kW)		10.119,06
Energia Consumida		(MWh/ano)		1.305,40
Resultados Esperados				
Redução de potência (kW)			RDP	280,42
Energia Conservada (MWh/ano)			EE	696,23
Economia (%)				34,78%
CEE: 228,5	CED: 444,85		B	283.813,22

Quadro 1: Resultado de Medição e Verificação dos trocadores instalados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que com a aplicação da tecnologia proposta, diante dos resultados medidos se aplicados para todo o grupo de clientes beneficiados, tem-se uma redução de potência no horário de ponta de 280,42 kW e uma energia economizada de 696,23 MWh/ano, constatando-se assim uma alternativa viável e com resultados considerados excelentes para aplicação dentro do Programa de Eficiência Energética das distribuidoras de energia elétrica.

Como forma de medir qualitativamente os resultados, a RGE realizou ainda uma pesquisa, onde do universo de 3500 clientes atendidos com o trocador de calor, conseguiu-se entrevistas 1872 (53,49%), realizaram-se 08 perguntas, onde constatou-

se conforme se observa na Figura 5, que 93% dos clientes beneficiados encontram-se satisfeitos com o produto.

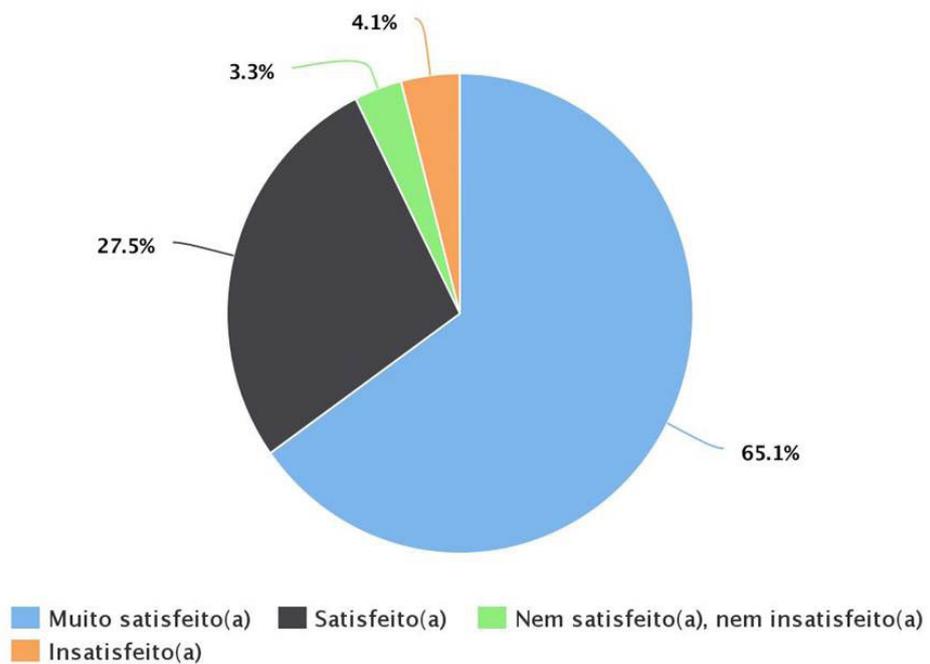


Figura 5: Qual foi seu nível de satisfação com o seu novo equipamento?

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa realizada

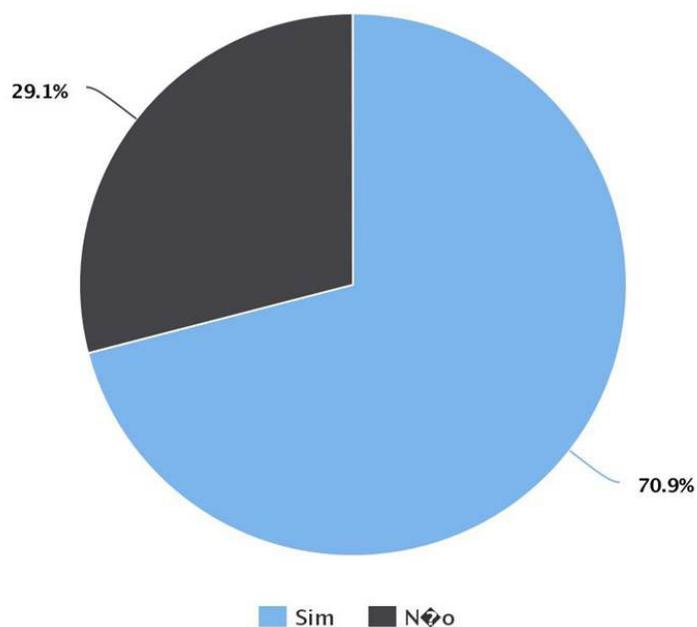


Figura 6: Notou se sua conta de luz diminuiu com o uso do equipamento?

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa realizada

Ademais, registrou-se conforme Figura 6 que dos clientes entrevistados, 71% dos beneficiados identificou uma redução do consumo de energia elétrica após a

implantação do equipamento, o que mostra-se relevante, dado que a fatura de energia elétrica mensal destas consumidoras registra o consumo integral da residência e suscetível a múltiplas variáveis, evidenciando-se assim a aceitabilidade e o resultado diante da instalação do trocador de calor.

3 | CONCLUSÕES

Na busca por alternativas inovadoras e viáveis dentro do Programa de Eficiência Energética das distribuidoras apresenta-se o aparelho denominado trocador de calor, uma aplicação que mostrou-se atender todos os objetivos dos projetos, como a redução de demanda no horário de ponta, a economia de energia, e um produto com excelentes características técnicas e arquitetônicas para a aplicação em comunidades de baixa renda.

Nota-se no presente trabalho que as medições e identificações constatarem que o chuveiro elétrico representa-se como um dos vilões do consumo doméstico, principalmente em residências de baixo poder aquisitivo, onde aplicou-se o trocador de calor, como alternativa para a economia de energia, manutenção ou ampliação do conforto do banho, entre outros desdobramentos de aspectos sociais que decorrem dos projetos desenvolvidos dentro do PEE. Ao ter-se a relevância do consumo de energia elétrica do chuveiro, uma alternativa que impacte na redução do consumo torna-se relevantes nas comunidades atendidas.

A proposta aqui apresentada no entanto possui algumas limitações, especialmente relacionada à dificuldade em se encontrar trabalhos disponíveis na literatura na área de recuperação de calor e que pudesse servir de parâmetro comparativo, o que efetivamente enriqueceria sobremaneira a discussão dos resultados apresentados. Portanto ocorreu unicamente a comparação entre dois produtos disponíveis no mercado dos PEE. Contudo, mantêm-se a proposta para continuidade do estudo, criação de novas comparações e de aplicações em outras regiões climáticas.

REFERÊNCIAS

ABNT - NBR 12089. Normas Técnicas NBR 12089. Chuveiros elétricos - Determinação do consumo de energia elétrica - Método de ensaio. ABNT.1991.

AGAMI T. et al. *Baselining Methodology for Facility - Level Monthly Energy Use - Part 1: Theoretical Aspects*. Ashrae. 1997

ANEEL. Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética. Brasília: SPE – Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética. 2008.

ÇENGEL, A. Y.; GHAJAR, A. J. Transferência de calor e massa. 4º ed. Editora McGraw-Hill, 2012

DETERS, Odair; SIPPEL, Cristian. Sistema de Reaproveitamento de Calor para Utilização em Banhos, Funcionamento, Resultados e Comprovação Pro Medição e Verificação. – Seminário de

Eficiência Energética no Setor Elétrico (SEENEL). Costa do Sauípe/BA. 2015, p. 02.

GEEN-PUC. Recuperadores de calor para chuveiros elétricos. 2000.

GELLER, H., & JANNUZZI, G. D. *The efficient use of electricity in Brazil: progress and opportunities. Energy Policy* Vol.26. 1998, p. 859-872.

GOLDEMBERG, J., & LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*. 2007, p. 7-20.

IPMVP (Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance). 2012, Volume I, EVO 10000-1:2012

LAMBERTS et al., R. Electricity end uses in the residential sector of Brazil. *Energy Policy* vol.35. 2007 p. 4107-4120.

LOPES, Rafael S.; PAVIANI, Vinícius A.; SILVA, Bruno A. Estudo de um recuperador de calor para chuveiro. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Acesso em: 22/04/2016 Disponível em: <http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2008/recuperadordecadorparachuveiro.pdf> . 2008.

MELO, J. P.. Comparando alternativas para uso do gás canalizado: centrais térmicas ou aquecedores de água. Dissertação de Pós-Graduação - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá/MG. 2003

NOGUEIRA, L. A. Uso racional: a fonte energética oculta. *Estudos Avançados*. 2007, p. 91-95.

PRADO, R. T., & GONAÇALVES, O. M. (1998). *Water heating though eletric shower and energy demand. Energy and Buildings* vol.29. 1998, p. 77-82.

PROPEE – Procedimentos do Programa de Eficiência Energética. Resolução Normativa 556, de 02/07/2013. ANEEL, 2013.

PROSKIW, G. *The Original GFX*. Acesso 29/07/2013, disponível em <http://www.gfxstar.ca/ProskiwNRCan.pdf>

SENAI – Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial. Relatório de Ensaio de Trocador de Calor Acoplado a Ducha com Controle Eletrônico de Temperatura. Instituto Senai de Inovação. Laboratório de Ensaios e Calibração. 2015, p. 1-13.

SIPPEL, Cristian. Avaliação do Projeto de Eficiência Energética com Utilização de Chuveiros Elétricos com Base Recuperadora de Calor Aplicados em Populações de Baixo Poder Aquisitivo. Tese de Mestrado. Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul/RS. 2014, p. 11.

SISTEMA ÓPTICO CWDM COMO PLATAFORMA DE MONITORAÇÃO DE ATIVOS E DE COMUNICAÇÃO DE DADOS PARA REDES *SMART GRIDS*

João Batista Rosolem

Fundação CPqD

Danilo César Dini

Fundação CPqD

Claudio Antonio Hortêncio

Fundação CPqD

Eduardo Ferreira da Costa

Fundação CPqD

Rivael Strobel Penze

Fundação CPqD

João Paulo Vicentini Fracarolli

Fundação CPqD

Carlos Alexandre Meireles Nascimento

Cemig Distribuição

Vítor Faria Coelho

Cemig Telecom

RESUMO: Apresentamos neste trabalho um sistema óptico inovador que utiliza a tecnologia CWDM como plataforma de monitoração e comunicação de dados em banda larga para redes Smart Grids. O trabalho descreve a concepção, o desenvolvimento, os testes em laboratório do sistema que foram demonstrados em 50 km de fibra óptica monomodo com 4 canais CWDM transmitindo dados e vídeo em 1,25 GbE simultaneamente ao processo de monitoração e posteriormente a implantação e operação em campo do sistema em um enlace de 17 km de comprimento instalado na UniverCemig, em Sete Lagoas/MG.

1 | INTRODUÇÃO

A mais de três décadas as empresas de energia elétrica têm utilizado a tecnologia de fibras ópticas em aplicações distintas tais como telemetria, comunicação de dados, aluguel para as empresas de telecomunicações ou para sensoriamento de ativos diversos, tais como, transformadores, linhas de transmissão aéreas e subterrâneas, chaves seccionadoras, etc. Do ponto de vista de telecomunicações em longa distância as empresas de energia elétrica, sobretudo as empresas transmissoras, usam poucas fibras (em geral dois pares) instaladas em cabos OPGW (Optical Ground Wire) para telemetria/transmissão de dados. Se o restante das fibras do cabo é alugado para as empresas de telecomunicações outras eventuais aplicações que necessitam de fibras ópticas podem não ser possíveis.

Por outro lado, as empresas do setor elétrico têm interesses diversos na monitoração dos seus ativos, como por exemplo, na monitoração das faixas de segurança ou servidão de linhas aéreas de transmissão (LTs) de energia elétrica que são locais que possuem restrições quanto as suas utilizações. Estas restrições se dão por motivos de projeto eletromecânico, segurança e para garantir o acesso das equipes de manutenção às estruturas que sustentam os

condutores das LTs.

Tendo em vista os problemas decorrentes da invasão das faixas de segurança, oriundas da construção de habitações irregulares, principalmente nas áreas próximas aos grandes centros urbanos, a CEMIG em parceria com o CPqD, no âmbito do programa de P&D da ANEEL, desenvolveram uma solução inovadora com a adaptação da tecnologia CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) para o monitoramento da integridade física dos condutores das LTs nos trechos críticos, ou seja, nos trechos invadidos fazendo uso de fibras ópticas compartilhadas com aplicações de comunicações de dados em banda larga.

Uma vantagem e ao mesmo tempo uma premissa do sistema óptico CWDM é o compartilhamento de uma mesma fibra óptica com diversos canais independentes, que podem ser utilizados em diversas funções e aplicações para automatizar os ativos de GTD (Geração, Transmissão e Distribuição). Mas manter a função primordial da fibra óptica que é comunicações em banda larga também foi premissa para definição do projeto, formando assim uma plataforma tecnológica óptica muito robusta para Smart Grids do setor de GTD. Por último, mas não menos importante para atender as premissas definidas no projeto o sistema de monitoração utilizou a tecnologia CWDM que é largamente utilizada em comunicações de dados e que tem um custo de aquisição bem mais competitivo em relação às tecnologias convencionais.

O sistema CWDM desenvolvido tem disponível 16 canais ópticos operando de 1310 nm até 1610 nm, que podem ser divididos para monitoração dos diversos ativos de GTD e para comunicações em banda larga. Tanto a monitoração como a transmissão para comunicações de dados são feitas em apenas uma fibra óptica de forma bidirecional. O sistema de monitoração é baseado na detecção de sinais refletidos por dispositivos ópticos (espelhos em fibra óptica). Estes espelhos são colocados estrategicamente no final de cada segmento de enlace óptico monitorado. A presença dos sinais refletidos ópticos no equipamento de transmissão CWDM indica que o enlace está íntegro e a ausência indica que o cabo foi rompido. Redundâncias são utilizadas para garantir que o sinal detectado seja realmente do cabo rompido nos vãos críticos. O sistema foi desenvolvido com dispositivos de fibra óptica comerciais, tais como, transceivers SFP (Small Form-Factor Pluggable), add/drops CWDM e espelhos em fibra. Transceivers SFP possuem custo muito atraente no mercado além de propiciarem tempo de resposta na recepção abaixo do tempo dos relés tradicionais do mercado. Um cabo condutor e isoladores especiais com fibras ópticas embutidas foram especialmente desenvolvidos para o projeto para serem usados no vão crítico.

Neste trabalho são apresentados: a descrição do sistema óptico inovador que utilizou a tecnologia CWDM como plataforma de monitoração e comunicação de dados em banda larga para redes smart grids, o desenvolvimento e os testes em laboratório do sistema que foram validados e demonstrados em 50 km de fibra óptica monomodo com 4 canais CWDM transmitindo dados e vídeo em 1,25 GbE simultaneamente ao processo de monitoração e posteriormente a implantação e operação em campo do

sistema em um enlace de 17 km de comprimento instalado na UniverCemig, em Sete Lagoas/MG.

2 | PLATAFORMA DE MONITORAÇÃO E COMUNICAÇÃO DE DADOS EM BANDA LARGA PARA REDES SMART GRIDS

As premissas definidas para o projeto foram: o sistema deve ser rápido o suficiente para atuar antes do relé de proteção evitando o religamento automático indesejável da LT (com condutor rompido) e deverá ser previsto o compartilhamento da fibra utilizada no sistema de monitoramento com sistemas de telecomunicações de banda larga tradicionais. Considerando estas premissas foi proposto o sistema de monitoramento inovador utilizando a tecnologia CWDM¹ que é largamente utilizada em telecomunicações.

2.1 Arquitetura Genérica do Sistema

O sistema de monitoramento será composto por: cabo condutor com fibra sensora (OPPC – OPTical Phase Conductor), dispositivos de interligação (isolador), cabo com fibra de transmissão (ex. OPGW) e a unidade óptica de transmissão/detecção (Transponder CWDM) conforme mostrado na Figura 1. O princípio de funcionamento do sistema baseia-se no fato de que dispositivos reflexivos colocados ao longo da linha de transmissão interrompam a reflexão de luz caso algum dano ocorra ao longo da linha, em particular na seção da fibra sensora, que deve ser instalada nos vãos críticos.

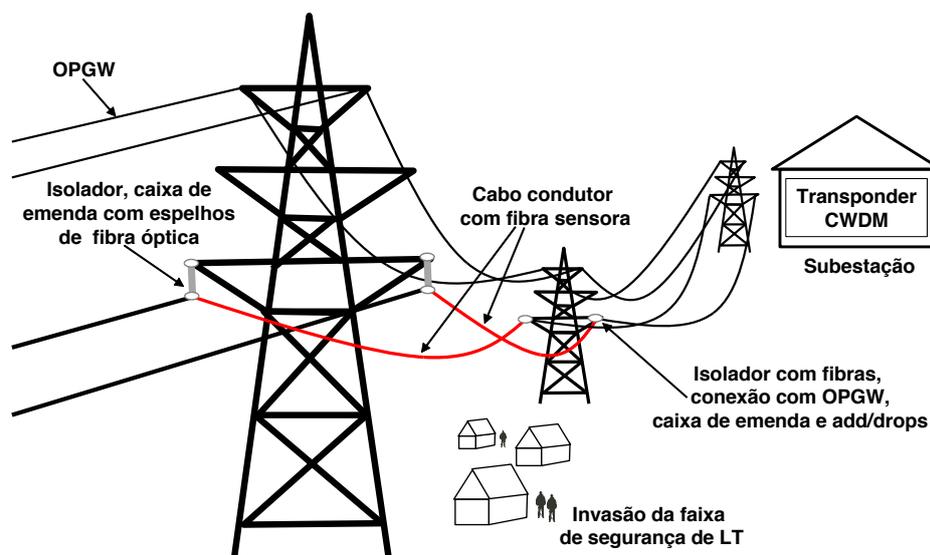


FIGURA 1 – Composição do sistema de monitoramento.

Para que o sistema proposto tenha alta confiabilidade e um tempo de resposta suficientemente rápido, imagina-se que a fibra óptica sensora deva ser conectada diretamente à subestação através de uma fibra óptica de transmissão. A fibra óptica

de interligação entre o cabo sensor e a subestação poderá ser uma fibra de um cabo OPGW ou de um cabo aéreo. Em relação aos isoladores elétricos a serem utilizados para conectar o sinal óptico da baixa tensão para a alta tensão foi desenvolvida uma técnica para passar a fibra óptica pelo núcleo do bastão de fibra de vidro dos isoladores poliméricos, inclusive foram disponibilizados vários protótipos para instalações experimentais no projeto. Entretanto ainda existe a necessidade de adequação dos terminais metálicos dos isoladores para permitir o acoplamento com o cabo de fibra óptica. A adequação dos terminais deve ser realizada de acordo com as necessidades das aplicações específicas e também devem ser considerados os aspectos relativos aos requisitos mecânicos e ópticos para a terminação do cabo no terminal do isolador.

O sistema de detecção utilizará a tecnologia CWDM como mostra a Figura 2(a). Nesta técnica diversos sinais ópticos em comprimentos de onda diferentes são conectados em uma única fibra usando dispositivos conhecidos como multiplexadores (mux). Ao longo de um enlace óptico alguns destes sinais podem ser removidos ou inseridos novamente no enlace por meio do uso de dispositivos conhecidos como add-drops ópticos. Os transmissores são os responsáveis pelas interfaces de transmissão do sistema óptico, tanto para transmitir os sinais de forma apropriada em comprimentos de onda específicos, mas com taxas de transmissão adequadas. Os receptores são os responsáveis pela detecção do sinal de forma adequada.

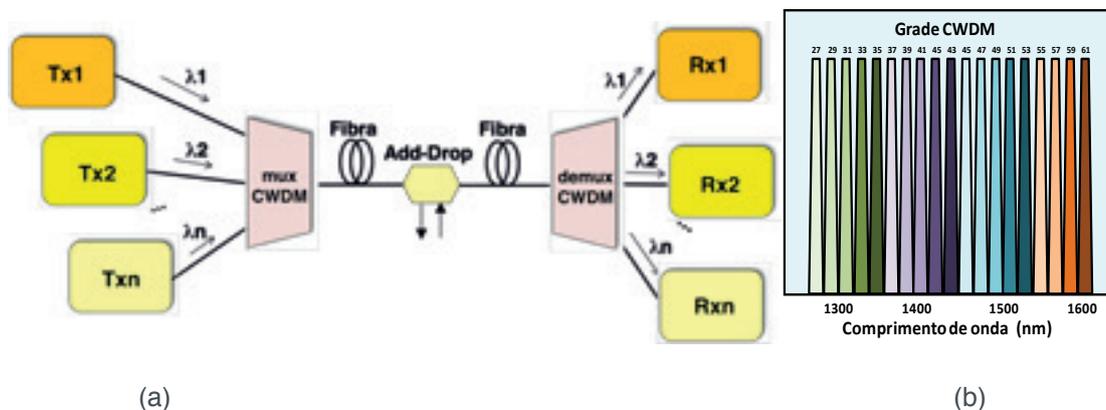


FIGURA 2 – (a) Diagrama genérico da técnica WDM e (b) distribuição espectral do CWDM.

Atualmente transmissores e receptores são integrados em um formato mecânico padronizado que permite uma grande redução do espaço ocupado em estações. Um destes formatos é o SFP².

O espaçamento espectral CWDM é mostrado na Figura 2(b) e foi padronizado pela norma ITU-T G.694.2³. Basicamente 18 canais separados por 20 nm são distribuídos entre 1270 a 1610 nm, que é a faixa de transmissão com baixa atenuação na fibra óptica. Uma das grandes vantagens do CWDM é que o mesmo tem custo reduzido em relação a outros sistemas WDM.

2.2 Transponder CWDM para Uso em Monitoração e Comunicação de Dados

Para usar a monitoração da LT e simultaneamente permitir o uso de comunicação entre subestações na mesma fibra utilizamos a arquitetura de rede mostrada na Figura 3 que é uma topologia CWDM em barramento. Neste caso são utilizados dois elementos de transmissão/recepção denominados de transponders CWDM em cada subestação. O sinal vindo de qualquer equipamento de transmissão com saída óptica genérica é conectado na entrada (Rx) de um dado transceiver SFP do transponder. O transceiver providencia a adaptação deste sinal no comprimento de onda correto para transmissão no transponder CWDM. Outro transponder situado na estação oposta providencia a entrega deste sinal ao equipamento de transmissão associado.

A unidade Transponder de transmissão tem por função converter os sinais ópticos de até 16 clientes recebidos em suas entradas em até 16 sinais CWDM padronizados na sua saída. A conversão é realizada por unidades transceivers SFP “plugáveis”. Os sinais de entrada chegam ao Transponder de transmissão por meio de cordões ópticos com conectores LC/PC provenientes de equipamentos de transmissão genéricos.

A unidade Transponder de transmissão é composta de uma placa principal (placa mãe) na qual são acopladas duas placas de fonte de alimentação uma placa de supervisão e 16 transceivers SFP CWDM com os seguintes comprimentos de onda 1310, 1330, 1350, 1370, 1390, 1410, 1430, 1450, 1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590 e 1610 nm. As interfaces elétricas de entrada e saída de cada transceiver do tipo SFP são internamente e eletricamente conectadas de tal forma a formar um circuito tipo 2R (amplificação e reformatação, mas não de regeneração do sinal). Trilhas de circuito levam informações dos transceivers até a placa de supervisão. Os alarmes de falha de transmissão e ausência de sinal de recepção e comandos para desabilitar o funcionamento do laser são do tipo “0” e “1” TTL. A placa de supervisão exterioriza estes dados via Ethernet 10/100 Base-T/TX.

O transceiver do tipo SFP é um transceptor compacto, hot-pluggable usado tanto para aplicações de telecomunicações como de dados. O fator de forma e interface elétrica é especificado por um acordo multi-source (MSA)². Transceivers SFP são projetados para suportar SDH, SONET, gigabit Ethernet, Fibre Channel, e outros padrões de comunicação.

Cada SFP possui internamente tanto os componentes optoeletrônicos de transmissão como de recepção, bem como circuitos eletrônicos de amplificação de sinal e de detecção de falhas, exteriorização de alarmes e diagnósticos digitais de desempenho dos módulos. Destes alarmes os que são importantes para o sistema de monitoração são de falha do laser (Tx Fault) e perda de sinal de recepção (LOS).

Como pode ser observado na Figura 3 foram adicionados na saída do Transponder dispositivos circuladores ópticos cuja função é permitir o retorno ao receptor de cada transceiver a potência óptica refletida pelos elementos reflexivos (add-drops com espelhos de fibra óptica) instalados ao longo da linha de transmissão.

Os sinais refletidos para os transceivers são a base para a detecção de rompimento do cabo de energia nos vãos críticos ou onde os condutores OPPC estiverem disponíveis nas linhas aéreas. Estes sinais são detectados pelos receptores dos transceivers e um circuito eletrônico interno dos transceivers exterioriza uma saída de nível “1” TTL quando estes sinais não estão presentes, ou seja, quando os elementos refletores por motivo de rompimento do cabo passam a não refletir este sinal. Cada saída TTL de alarmes de cada transceiver é levada a placa de supervisão do Transponder onde por meio de um circuito eletrônico apropriado é verificado se os alarmes correspondem à queda do cabo condutor ou se trata de uma falha de outra natureza. Em caso de confirmação de sinais de queda do cabo condutor esta placa aciona outro sinal usando uma interface elétrica apropriada e que comunica com o relê de proteção da linha de proteção, de forma a evitar o religamento da linha.

Como os sinais de reflexão podem ter sua potência reduzida drasticamente devido a outros fatores, tais como degradação do laser do transceiver e rompimento do enlace óptico da fibra transmissora, prévia ao vão crítico, outros sinais de saída são levados à placa de supervisão para garantir a informação correta dos fenômenos ocorridos. Na topologia da Figura 3 o comprimento de onda de 1470 nm monitora a situação do enlace antes do vão crítico.

Na Figura 3 ainda é mostrado o multiplexador óptico MUX2. Este elemento tem a função de conectar no enlace o sinal de um equipamento OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) que tem como função também de monitoração do enlace óptico principal. Essa funcionalidade do sistema, usando o OTDR, é muito útil na avaliação precisa na localização da ocorrência de qualquer defeito na fibra óptica (ou na integridade do condutor em outras topologias de monitoração), sem a necessidade de uma inspeção terrestre de todo o trecho da linha aérea pela equipe de manutenção. Esta inspeção geralmente demanda várias horas e tem um elevado custo operacional com penalizações regulatórias para a Cemig pela indisponibilidade do ativo.

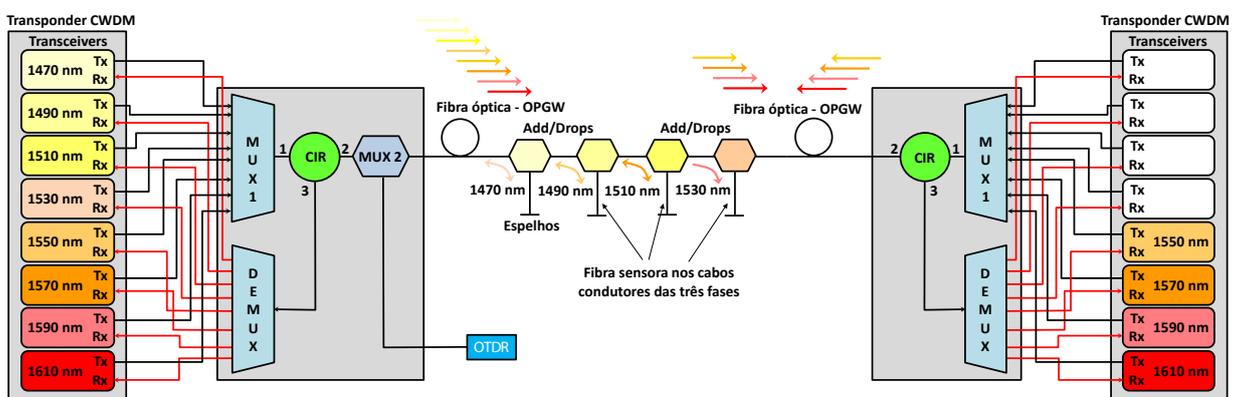


FIGURA 3 - Diagrama de uso do Sistema CWDM para a monitoração do vão crítico e para comunicação de dados.

Existem várias formas e arranjos de dispositivos reflexivos para monitorar um vão crítico de linha aérea de transmissão considerando as três fases. Mostramos na

Figura 3 de forma simplificada um arranjo para monitoração paralela das três fases de um vão crítico. Nesta concepção os comprimentos de onda de 1470 a 1610 nm são transmitidos no enlace óptico, mas somente os comprimentos de onda de 1470 a 1530 nm se destinam a monitoração do vão crítico em questão. Estes comprimentos de onda são enviados para as três fases condutoras A, B e C a partir de add-drops posicionados no enlace óptico. Neste caso cada comprimento de onda refletido no final de cada cabo condutor, em cada fase, retorna pelo mesmo caminho até o Transponder CWDM. A ausência de um destes sinais vincula então o rompimento dos cabos sensores pela queda com rompimento do cabo condutor. O comprimento de onda de 1470 nm é refletido antes dos cabos sensores para sinalizar que a fibra transmissora antes dos cabos sensores se encontra funcionando normalmente. Os outros comprimentos de onda 1550 a 1610 nm podem ser usados para serviços de telecomunicações ou para monitorar outros vãos críticos passam integralmente pelos add-drops e são recebidos na estação oposta independentemente se ocorrer o rompimento do cabo condutor uma vez que estes comprimentos de onda não são derivados para o vão crítico.

3 | TESTES EM LABORATÓRIO

O sistema proposto foi submetido a testes de laboratório no CPqD antes da instalação em campo. O sistema apresentado na Figura 3 foi montado com 50 km de fibra monomodo. O valor de 50 km representa o limite de operação do sistema de monitoração com os elementos especificados para o sistema atual. Foram utilizados transceivers com sensibilidade de -35 dBm. Para valores de potência recebida abaixo ou igual a -35 dBm o parâmetro Loss é ativado.

O primeiro teste realizado refere-se ao tempo de resposta do sistema para o comprimento do enlace de 50 km. No diagrama mostrado na Figura 3 o sinal do laser de um transceiver SFP modulado com um pulso elétrico é injetado no enlace de fibras ópticas de 50 km. Para uso no sistema de monitoração que funciona por reflexão o tempo de trânsito do sinal deve ser multiplicado por 2, uma vez que o sinal percorre duas vezes a distância do transceiver até o add-drop/espelho. O sinal é detectado na volta pelo receptor óptico do transceiver SFP sendo processado por seu circuito eletrônico e o sinal de saída elétrico correspondente ao alarme Loss é enviado para a supervisão.

A resposta temporal do sistema de monitoração depende do tempo de propagação do sinal por diversos elementos, sendo que os que mais contribuem com este tempo são: o enlace de fibra óptica, o circuito eletrônico dos transceivers SFP e a placa supervisão que será a unidade interface com o sistema de desligamento/religamento da linha de transmissão da concessionária. A Figura 4(a) mostra os resultados do tempo de resposta do sistema de monitoração com um enlace de fibras ópticas de 50 km. Pode se observar que o tempo de resposta do transceiver mais fibra é da ordem

de 0,52 ms. Já para o tempo de resposta de sistema incluindo a placa de supervisão o valor do atraso seria da ordem de 3,58 ms. Este tempo é mais rápido do que o sistema de atuação do sistema elétrico de proteção⁴.

O sistema foi também testado em termos de desempenho sistêmico do sistema de comunicação de dados. Para tanto cada canal destinado a comunicações de dados foi avaliado pela taxa de erros de bits (BER) usando um gerador e medidor de taxa de erros em 1 Gbit/s. A Figura 4(b) mostra o desempenho livre de erros do sistema (BER < 10⁻⁹) para os canais de 1550 a 1610 nm).

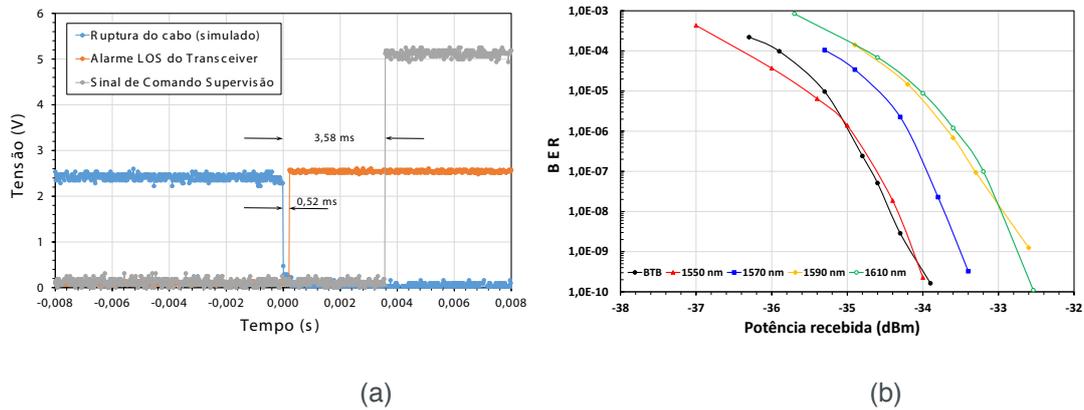


FIGURA 4 – (a) Tempo de resposta para os elementos do sistema de monitoração e (b) taxa de erros de bits dos canais nos testes sistêmicos.

Conforme já relatado o sinal de um OTDR pode ser também transmitido pelo enlace por meio do multiplexador óptico MUX2. O OTDR neste caso tem função complementar de monitoração do enlace óptico principal. No entanto o mesmo não pode ser utilizado na função de monitoração dos vãos críticos em tempo real uma vez que seu tempo de resposta é demasiado lento (> 60 s) devido à necessidade de realização de médias. A Figura 5 mostra o traço do OTDR operando de forma simultânea com o sistema de monitoração de vãos críticos. O OTDR opera na faixa espectral de 1310 nm, onde nenhum canal escolhido para este projeto CWDM opera.

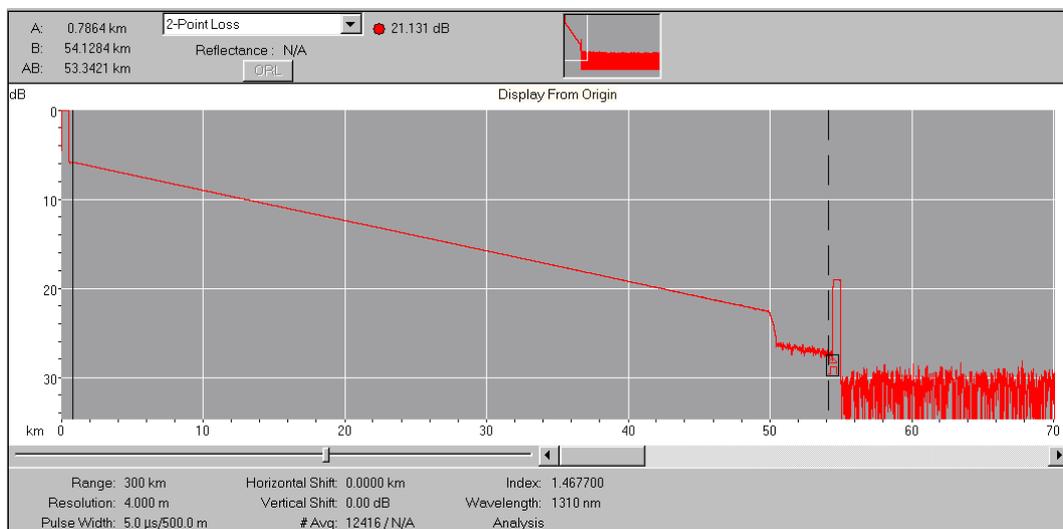


FIGURA 5 - Traço do OTDR operando de forma simultânea com o sistema de monitoração de vãos críticos.

4 | IMPLANTAÇÃO EM CAMPO E RESULTADOS

A UniverCemig na cidade de Sete Lagoas em MG foi o local escolhido para instalação e testes das diversas partes que compõe o sistema detalhado nas seções anteriores. A UniverCemig é a universidade corporativa da Cemig que tem como finalidade integrar empregados e esforços em torno do provimento e compartilhamento de conhecimento. Os conhecimentos consolidados e desenvolvidos na UniverCemig são baseados em experiências e tecnologias empregadas na empresa, proporcionando um processo contínuo de aprendizagem e aumento do desempenho no trabalho.

A instalação do sistema compreendeu todos os elementos mostrados na Figura 3 inclusive o cabo sensor que foi especialmente desenvolvido pela Furukawa para esta aplicação, bem como os isoladores elétricos com fibras embutidas desenvolvidos pela Balestro e CPqD. A Figura 6(a) mostra uma foto da realização das emendas na base do isolador com fibras. A Figura 6(b) mostra uma foto da instalação do cabo sensor e dos isoladores em uma das torres de transmissão existentes na UniverCemig. Na Figura 6(c) é mostrado o rack com todos os elementos do sistema CWDM detalhados na Figura 3. Este rack foi instalado na sala de controle.



FIGURA 6 - Instalação na UniverCemig do sistema de monitoração e transmissão de dados: (a) realização das emendas na base do isolador, (b) instalação do cabo sensor e (b) rack do equipamento CWDM.

A Figura 7 ilustra uma foto aérea mostrando a disposição da rede óptica e dos elementos instalados na UniverCemig. Após a implantação da rede de monitoramento, todas as fibras ópticas foram caracterizadas com OTDR para verificação da atenuação óptica ao longo dos enlaces, e foi observado que todas as emendas e a atenuação da fibra óptica ao longo dos enlaces estavam de acordo com os requisitos de operação para o teste de campo. Os dispositivos add-drops e espelhos ficaram instalados na sala de controle no DGO para possibilitar a configuração de diversas topologias de redes ópticas de monitoramento e também permitem simular falhas em pontos distintos do

enlace, bem como as combinações de diferentes tipos de falhas. Em uma aplicação real ficarão instalados em caixas de emendas usadas nos vãos críticos da linha aérea a ser monitorada, como por exemplo a caixa mostrada na Figura 6(a).



FIGURA 7 - Foto aérea mostrando a disposição da rede óptica e dos elementos instalados.

No campo de teste na UniverCemig o cabo sensor foi suportado por duas torres metálicas e um pórtico de madeira (Figura 6(b)). Para validação do sistema de monitoramento de vãos críticos foi adotada uma configuração de rede de cabos ópticos conforme apresentada no esquemático da Figura 7. Foram implantados dois lances de cabos OPPC. Para interligação do OPPC terminado na torre B ao DGO na sala de controle, localizada na sala 70 da UniverCemig, foi implantado um microcabo em duto enterrado. O cabo OPPC terminado na torre A foi interligado ao DGO utilizando um cabo óptico aéreo autossustentado de 12 FO. Algumas fibras saem também da torre A pelo cabo OPPC até a torre C e retornam a torre A pelo mesmo cabo. No DGO foram adicionadas duas bobinas de fibras monomodo de 5 km cada uma. Desta forma o enlace total apresenta 17 km de comprimento. A Figura 8 mostra uma foto da tela do OTDR do sistema com o traço de atenuação do enlace óptico. Os três pontos de reflexão na tela correspondem a reflexão dos add/drops espelhos em 1470, 1490 e 1510 nm. A fase C da linha de transmissão não foi monitorada num primeiro momento.

A partir da aceitação do sistema instalado foram repetidos os testes sistêmicos e de desempenho do sistema de monitoração feitos anteriormente em laboratório.

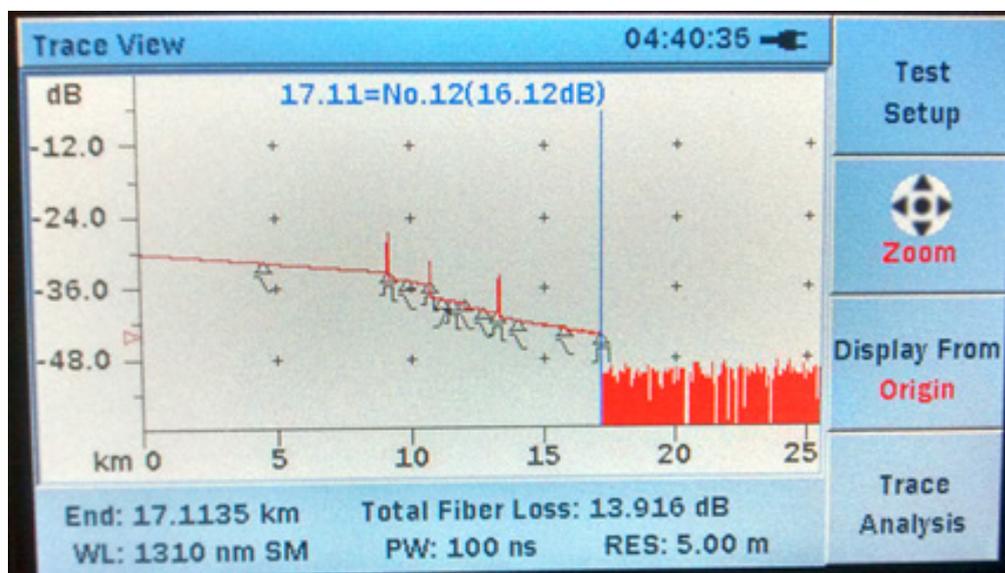


FIGURA 8 - Tela do OTDR do sistema com o traço de atenuação do enlace óptico.

Os testes de monitoração foram realizados basicamente simulando uma ruptura do cabo sensor. Neste primeiro momento isto é feito desconectando no DGO a conexão óptica do add-drop com o espelho, provocando desta forma uma ausência de sinal no transceiver correspondente. Isso foi feito para todas as fases monitoradas e para a simulação de uma eventual falha do cabo AS ou microcabo. Posteriormente deve ser desenvolvido um estudo para simular a atenuação mais realística provocada na queda de um cabo de transmissão.

A Figura 9 mostra as telas do sistema de supervisão para cada falha simulada. A Figura 9(a) indica que o sistema e a rede estão em condições normais de operação (sem falhas), na Figura 9(b) indica que o cabo sensor e a fase B estão com falhas, neste caso não foi indicado alarme do sistema porque a falha ocorreu antes do vão crítico. A Figura 9(c) indica que ocorreu falha no cabo sensor no vão crítico, neste caso foi indicado alarme e o sistema atuará no relê de proteção da linha. Na Figura 9(d) existe a indicação de falha em duas fases e no cabo OPPC antes do vão crítico, neste caso não foi indicado alarme do sistema porque a falha ocorreu antes do vão crítico.

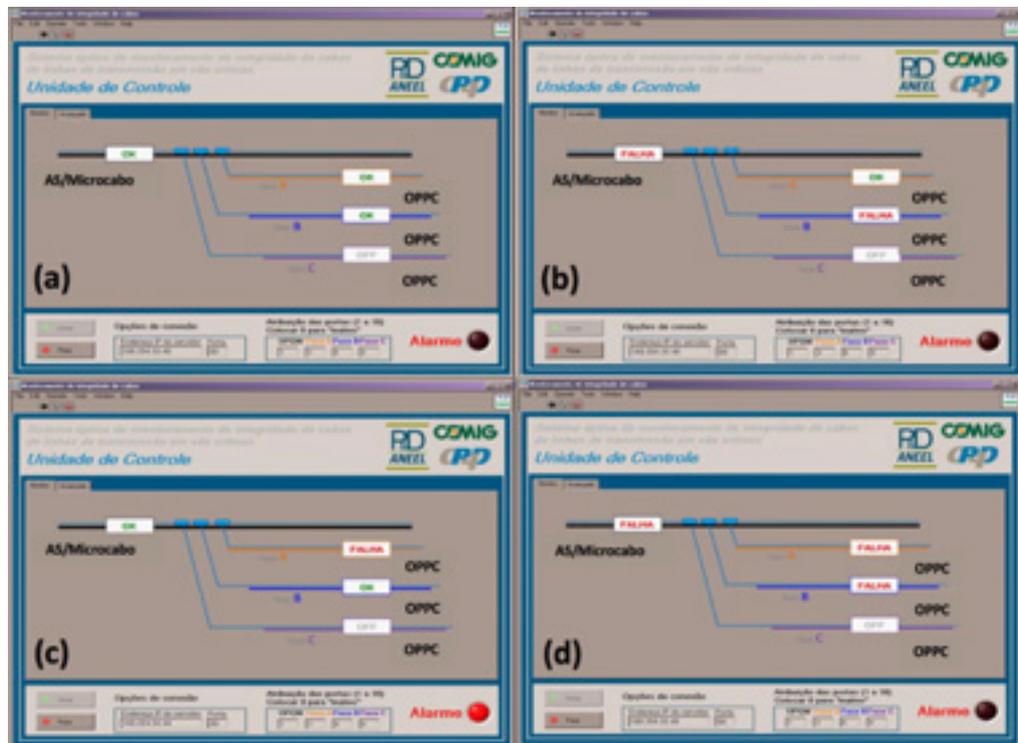


FIGURA 9 - Telas do sistema de monitoração indicando as falhas simuladas.

Os testes do sistema de comunicação de dados foram realizados simultaneamente com a operação do sistema de monitoração. Para a realização dos testes de validação foi utilizado o analisador de redes (modelo Convergente Service Analyzer-CSA) para gerar um tráfego de dados. O tráfego de dados em 1,25 GbE foi inserido em um dos canais de comunicação de dados, e simultaneamente foram transmitidos vídeos de alta resolução em ambos os sentidos do enlace óptico. A Figura 10(a) mostra fotos das telas dos monitores com o sistema de monitoração e os vídeos em andamento e a Figura 10(b) mostra o analisador de dados medindo a taxa de erros no sistema.

O tráfego gerado em ambos os sentidos, downstream e upstream, foi de 100%, 95%, 93%, e 90%, respectivamente. Nos testes executados verificou-se que cada sistema (sistema de monitoração e o de transmissão de dados de telecomunicações) funcionou adequadamente e de forma independente.

Portanto os resultados obtidos demonstraram a viabilidade da utilização simultânea de uma rede de fibras óptica para operação conjunta do sistema de monitoramento e de transmissão de dados em banda larga. Um vídeo do teste de campo é disponível em⁵.

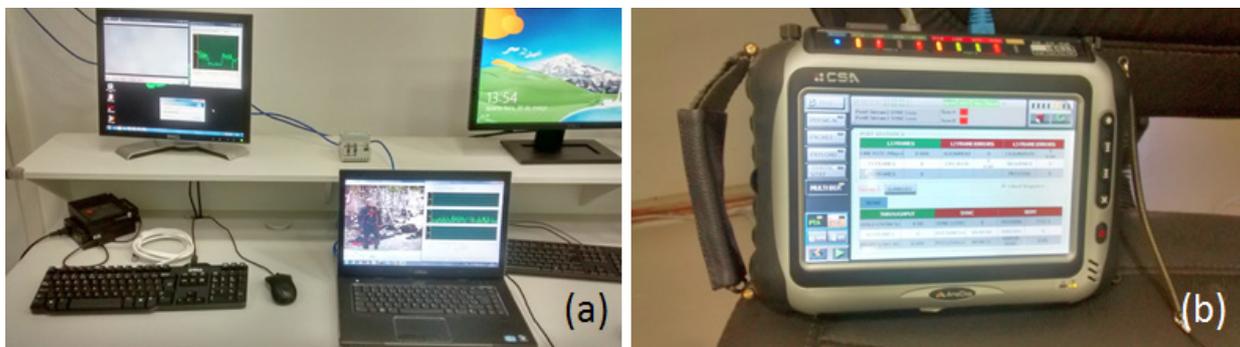


FIGURA 10 - (a) fotos das telas dos monitores com o sistema de monitoração e os vídeos em andamento e (b) analisador de dados medindo a taxa de erros no sistema.

5 | CONCLUSÃO

Tendo em vista os problemas decorrentes da invasão das faixas de segurança, oriundas da construção de habitações irregulares, principalmente nas áreas próximas aos grandes centros urbanos, a CEMIG em parceria com o CPqD, no âmbito do programa de P&D da ANEEL, desenvolveram uma solução inovadora com a adaptação da tecnologia CWDM para o monitoramento da integridade física dos condutores das LTs nos trechos críticos, ou seja, nos trechos invadidos fazendo uso de fibras ópticas compartilhadas com aplicações de comunicações de dados em banda larga.

Neste trabalho foram apresentados: a descrição do sistema óptico inovador que utilizou a tecnologia CWDM como plataforma de monitoração e comunicação de dados em banda larga para redes smart grids; o desenvolvimento e os testes em laboratório do sistema que foram validados e demonstrados em 50 km de fibra óptica monomodo com 4 canais CWDM transmitindo dados e vídeo em 1,25 GbE simultaneamente ao processo de monitoração e posteriormente a implantação e operação em campo do sistema em um enlace de 17 km de comprimento instalado na UniverCemig, em Sete Lagoas/MG.

Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade da utilização simultânea de uma rede de fibras óptica para operação conjunta do sistema de monitoramento e de transmissão de dados em banda larga. Além disso deve-se salientar que outros tipos de sensoriamento ou medição das LTs podem ser integrados ao sistema CWDM, tais como, de corrente, tensão, ou de parâmetros ambientais (temperatura, velocidade do vento, pluviometria etc).

REFERÊNCIAS

1 ROSOLEM. J. B. et al., Arquiteturas baseadas em WDM para as próximas redes PON, Cad. CPqD Tecnologia, Campinas, v. 6, n. 1, p. 65-76, jan./jun. 2010. Disponível em: http://comunidade.cpqd.com.br/cadernosdetecnologia/Vol6_N1_jan_jun_2010/pdf/artigo6.pdf. Acesso em: 20 maio 2018.

2 SFF Committee, INF-8074i Specification for SFP (Small Form factor Pluggable) Transceiver, Rev

1.0, Maio, 2001.

3 ITU-T, G.694.2: Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid, dezembro de 2003.

4 SILVA, M. G. M., Avaliação de Desempenho de Relés de Proteção Digitais, Monografia de Graduação, Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

5 NASCIMENTO, C. A. M.. Redes Sinérgicas: Sistema óptico de monitoração de linhas de transmissão e comunicação de dados, Vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2LqW1XYYH6M>. Acesso em: 20 maio 2018.

PORTAL OPERACIONAL DE EQUIPAMENTOS ESPECIAIS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - UMA FERRAMENTA PARA GESTÃO DA CONFORMIDADE E DA CONTINUIDADE NO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Rafael Cassiolato de Freitas

Copel Geração e Transmissão

Ponta Grossa – PR

Sadi Roberto Schiavon

Copel Distribuição

Ponta Grossa - PR

RESUMO: Existe a obrigatoriedade regulatória das concessionárias de energia elétrica em manter controle apurado de seus diversos equipamentos instalados nas redes de distribuição, onde além de representarem parte da base de remuneração desempenham importante papel na qualidade do serviço prestado. Considerando esta situação o presente trabalho tem por objetivo apresentar a ferramenta do Portal Operacional de Equipamentos Especiais da Rede de Distribuição, o qual auxilia na gestão da disponibilidade operacional de equipamentos imprescindíveis para conformidade e a continuidade no fornecimento de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Conformidade de Energia Elétrica, Continuidade de Energia Elétrica, Gestão de Ativos, Manutenção de Equipamentos, Redes de Distribuição de Energia Elétrica.

ABSTRACT: There is a regulatory obligation for electric power concessionaires to maintain

accurate control of their various equipment installed in distribution networks, where they represent part of the remuneration base and play an important role in the quality of the service provided. Considering this situation, the present work has the objective of presenting the Operational Portal of Special Equipment of the Distribution Network, which assists in the management of the operational availability of essential equipment for compliance and the continuity in the electric power supply.

KEYWORDS: Electrical Energy Conformity, Electrical Energy Continuity, Asset Management, Equipment Maintenance, Electric Energy Distribution Networks.

1 | INTRODUÇÃO

É cada vez maior a exigência por parte da Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL, de que as concessionárias de distribuição possuam um controle apurado do cadastro dos ativos que compõe sua base de remuneração, uma vez que na precisão dessas informações também se baseia o reajuste aplicado nas revisões tarifárias das concessionárias.

Além da questão financeira, outro fator de extrema importância para as concessionárias, está na disponibilidade operacional dos equipamentos instalados nas redes de

distribuição tais como, religadores automáticos, reguladores de tensão e bancos de capacitores, para a segurança, continuidade e conformidade na prestação do serviço. Estes equipamentos serão aqui denominados Equipamentos Especiais de Rede (EER).

O objetivo deste trabalho é apresentar a ferramenta de acompanhamento adotada no âmbito da Divisão do Controle de Qualidade Centro Sul, da Copel Distribuição S.A, de forma a auxiliar as áreas de Operação e Manutenção a ter uma visão atualizada da condição operacional dos EER e apoiar na tomada de decisões operacionais.

2 | DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisões Tarifárias Periódicas

No Brasil, a partir da publicação da Lei Federal 9.427/96 que instituiu a ANEEL como agência reguladora para o setor elétrico brasileiro, dentre diversas responsabilidades assumidas por esse órgão, uma das mais importantes e de grande impacto nas concessionárias e na economia do país é a condução do processo de revisão tarifária periódica, que ocorre em ciclos de quatro anos para as distribuidoras de energia elétrica.

O processo de revisão tarifária periódica permite que as distribuidoras de energia elétrica possam manter a qualidade na prestação de seus serviços e o equilíbrio econômico-financeiro da concessão, sejam remuneradas pelos investimentos efetuados na melhoria e expansão do sistema de energia elétrica e ainda ter garantida a modicidade tarifária (ANEEL, 2007).

Um dos itens considerados nesse processo são os equipamentos que compõe a Base de Remuneração Regulatória, onde se avaliam todos os ativos imobilizados em serviço pela concessionária, conforme definem os Procedimentos de Regulação Tarifária, PRORET, em seu módulo 2, submódulo 2.3 – Base de Remuneração Regulatória:

“A Base de Remuneração Regulatória (BRR) é composta pelos valores dos seguintes itens: I – Ativo Imobilizado em Serviço (AIS), avaliado e depreciado (ou amortizado, conforme caso específico), considerando os seguintes grupos de contas de ativos:

- i) Terrenos – Distribuição, Geração;
- ii) Reservatórios, barragens e adutoras;
- iii) Edificações, obras civis e benfeitorias – Distribuição, Geração; e
- iv) Máquinas e equipamentos – Distribuição, Geração”

Com isso é possível observar a importância de manter atualizado e operacional todo parque de ERR que compõe a base de remuneração da concessionária, para que

esta não seja penalizada na revisão tarifária periódica.

2.2 Equipamentos Especiais de Rede

2.2.1 Religadores Automáticos

Os religadores automáticos, também nominados RA's, são equipamentos que por décadas tem sido largamente utilizados nas redes de distribuição de energia elétrica por todo mundo.

Ao longo do tempo passaram por significativa evolução desde os modelos com controle hidráulico, até os mais modernos que possuem controles microprocessados, com câmara de extinção de arco elétrico a vácuo ou gás SF₆, e que podem ser telecomandados a partir de um centro de operação remoto ou automatizados, atuando nas chamadas Smart Grids ou Redes Inteligentes.

Os RA's, em sua essência, operam como disjuntores nas redes de distribuição de energia elétrica, possuindo a funcionalidade de auto religamento configurável, de forma a manter maior continuidade no fornecimento de energia quando ocorrem defeitos transitórios nas redes, sendo, portanto, um equipamento de proteção e de confiabilidade.



(a)



(b)

Figura 1 - Religador automático com controle hidráulico (a) e religador automático com controle microprocessado (b). (Fonte: Cooper e ABB)

2.2.2 Reguladores de Tensão

Os reguladores de tensão, também chamados de RT's, são equipamentos eletromecânicos que operam baseados no princípio do autotransformador, podendo ser montados individualmente ou em bancos de até três elementos.

Sua função nas redes de distribuição é corrigir os níveis de tensão ao longo dos circuitos, atuando na conformidade da tensão entregue aos consumidores e possibilitando ainda a postergação de investimentos em troca de cabos ou novos circuitos.

Os RT's possuem controles automáticos que monitoram a tensão à montante dos mesmos e, de acordo com ajuste pré-determinados, comandam a variação dos tap's

do autotransformador interno para regular a tensão à jusante, dentro dos limites do equipamento.

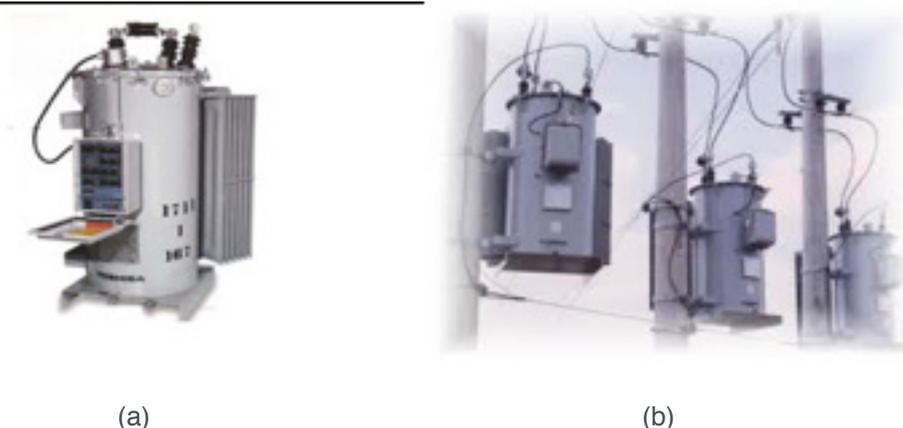


Figura 2 – (a) Elemento RT e (b) Banco de reguladores de tensão montados em rede de distribuição. (Fonte: Toshiba)

2.2.3 Bancos de Capacitores

Os bancos de capacitores, também chamados de BC's, são compostos pelo agrupamento de elementos capacitivos fixos, podendo assumir diversos valores dependendo do tipo e quantidade de capacitores utilizados, e cuja principal função nas redes de distribuição de energia elétrica é o de reduzir a demanda de potência reativa indutiva.

Essa redução da potência reativa indutiva traz como consequências diretas menor carregamento dos cabos dos alimentadores, reduz as perdas técnicas, aumenta o fator de potência para as subestações fonte e melhora os níveis de tensão, podendo ainda possibilitar com esses benefícios a postergação investimentos de infraestrutura do sistema elétrico.

De forma indireta os BC's, quando associados a controles automáticos programáveis, podem também executar a função de controle de tensão nas redes de distribuição.



Figura 3 – Banco de capacitores montado em rede de distribuição. (Fonte: Copel Distribuição)

2.3 Impedimentos de EER

Por impedimento em um EER, considera-se a condição em que o ativo está impossibilitado de executar sua função específica.

Durante seu o ciclo de vida, são diversos os motivos que podem levar ao impedimento de um EER. Dentre os mais comuns podemos citar:

- Manutenção preventiva;
- Manutenção corretiva;
- Contingência operacional;
- Alteração de posição na rede;
- Furto ou vandalismo;
- Alteração de ajustes;
- Atualização tecnológica.

Dependendo do tipo de evento gerador do impedimento de um ERR, este pode durar desde algumas horas até muitos dias, considerando por exemplo que tenha sido causado por ato de vandalismo ou furto e que não haja em estoque peças ou equipamento de backup para reposição.

A condição de impedimento de um EER acarreta impacto direto e imediato na confiabilidade da operação das redes de distribuição ou na conformidade da tensão entregue aos consumidores, além do impacto financeiro no período de revisão tarifária periódica conforme explicado anteriormente.

Dessa forma percebeu-se a necessidade de criar uma ferramenta para auxiliar a monitorar os equipamentos nessas condições de impedimento, e acompanhar em qual etapa das ações para seu retorno à operação normal eles se encontram.

2.4 Portal de Relatórios de Impedimentos em EER

No âmbito da Copel Distribuição, no Sistema de Operação da Distribuição (SOD), existe uma funcionalidade que os operadores podem utilizar para sinalizar que um determinado EER se encontra em condição de impedimento. A partir desse registro é possível a qualquer momento emitir relatórios, sendo esta informação o ponto de partida para elaborar o acompanhamento do trâmite dos EER, desde o momento do registro do seu impedimento até a liberação para operar novamente.

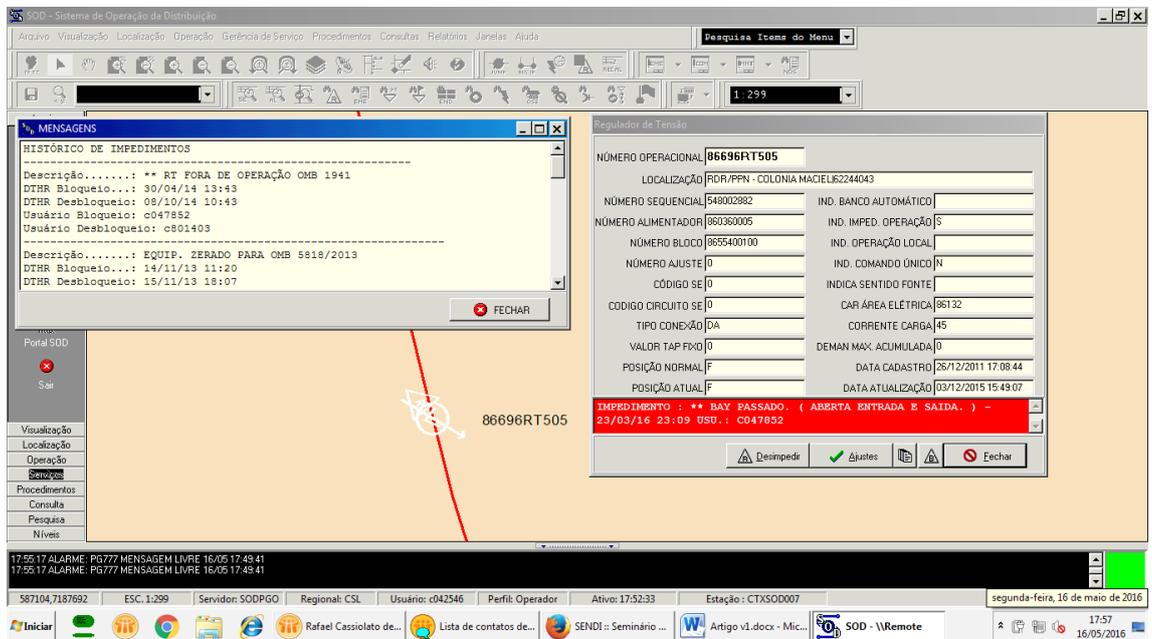


Figura 4 – Tela do SOD e janela de registro de impedimento dos EER. (Fonte: Copel Distribuição)

Equipamento	Usu Imped	DTHR Imped	Usu Desimp	DTHR Desimp	Descrição
R 86696RT505	c047852	23/03/16 23:09			** BAY PASSADO. (ABERTA ENTRADA E SAIDA.)
R 86696RT356	c025262	10/04/16 05:15			NDS 155502 - RT ROUBADO ESTÁ BY-PASSADO
R 89432RT001	c051940	12/04/16 18:09			RT BY PASSADO - ABERTURA ACIDENTAL AL. SVA
R 89432RT014	c047852	20/04/16 08:54			** BAY PASSADO OMB 1835-2016
R 83972RT339	c043180	21/04/16 07:02			bypassado p/ omb 1801
R 86696RT501	c018707	13/05/16 08:30			ESTA COM DEFEITO NO CONTROLE A MEE ESTA CIENTE JA ESTEVE
R 86696RT555	c043180	14/05/16 16:26			zerado e desligado o painel p/ OMB 2232
R 86696RT114	c043180	17/05/16 08:32			zerado e desligado o painel p/ OMB 2347
R 83972RT022	c018707	17/05/16 10:47			NÃO PASSA PARA AUTOMÁTICO, ESTÁ ZERADO NO LOCAL, GERADO

Figura 5 – Relatório de equipamentos impedidos emitido pelo SOD. (Fonte: Copel Distribuição)

De posse do relatório de impedimentos, a área que controla os ativos do tipo EER, atualiza um painel segmentado por tipo de equipamento: RA, RT e BC; e este painel é enviado periodicamente através de um portal de comunicação disponível no sistema de correio eletrônico corporativo, a todas áreas do Departamento de Manutenção e à Divisão de Operação.

- Após entrar numa pagina, basta clicar "Esc" para retornar a este menu

PAINEL OPERATIVO VCQCSL 2016			
EQUIPAMENTOS ESPECIAIS			
Tipo	Clic no Link abaixo para Visualizar	Última Atualização	Mês/Ano Referência
Renovação Tecnológica - VEE		08/09/15	2015
Equip. Impedidos (RT/BC) - VCQ		16/05/16	2016
Equip. Impedidos (RA) - VCQ		16/05/16	2016
Automação de Chaves e RA's de trecho - VEE		08/09/15	2015
Manutenção Preventiva (EE) - VCQ		12/06/15	2015

Figura 6 – Painel principal do Portal de EER. (Fonte: Copel Distribuição)

Religador Automático - Equipamentos Impedidos - Rede e SE's

TEL IRT PGO UVI SE's																		
2016																		
Seccional	Alimentador	Local	PAT	Nº Operacional	Data inicio impedim. (SOD)	Data solicit. retirada no campo (NDS - GSDSM)	Data retirada no campo (emissão MBI)	1º MBI	Data entrada oficina (aceite MBI)	Data liberação oficina (Emissão MBI)	outras MBFs	Data término impedim. (SOD)	- dias - do imped. até oficina	- dias - na of. Campo	- dias - de outra área de impedimento	Nº NDS OSM	GDMSE Nº SDS ou OS	Responsável
PAJGI	714800789 - SERTAO	TRECHO - LANÇAS, (CHAPADA-18168922	311288	86696LAN01	12/04/16										34	455515		SMATEI

Figura 7 – Portal com as informações dos EER. (Fonte: Copel Distribuição)

Esse mesmo painel é atualizado não somente nas etapas de início e fim do impedimento de cada equipamento, mas também agrega informações das etapas intermediárias: retirada da rede de distribuição, envio à oficina, aguardando peças de substituição, aguardando reinstalação na rede, entre outros, além de indicar os responsáveis e datas de cada um dos trâmites.

3 | RESULTADOS

Com essas informações disponíveis, todas as áreas que são afetadas pela disponibilidade ou não dos EER podem tomar decisões ou priorizar atividades em virtude da condição operacional dos equipamentos.

Podemos citar como exemplo real a situação onde uma equipe de manutenção

que necessitava de desligamento programado para executar uma atividade de manutenção preventiva, contudo a área de programação indicou serem necessárias manobras na rede que dependiam de um banco de RT's impedido no momento da solicitação da programação.

O prazo de retorno do banco de RT's necessitava de peça de reposição não disponível de imediato em estoque, de forma que a equipe de manutenção repriorizou sua agenda de programação de modo a não ficar ociosa e não atrasar outras manutenções necessárias.

A ausência de um banco de RT's que atende uma unidade consumidora industrial ligada em média tensão, cujo Encargo de Uso do Sistema de Distribuição (EUSD) seja de R\$ 100.000,00, poderia causar um desvio de tensão na faixa precária da ordem de 10% e isso resultaria, por exemplo, no pagamento de compensação por parte da concessionária da ordem de R\$ 21.000,00 ao mês, até que o equipamento fosse desimpedido e a conformidade do fornecimento regularizada.

Dados de Entrada		Valores Regulatórios	
DRP Verificado	10,00%	DRP Limite	3,00%
DRC Verificado	0,00%	DRC Limite	0,50%
Tensão UC	MT		
EUSD	R\$ 100.000,00		
Valor Compensação Mensal			
R\$ 21.000,00			

Tabela 1 – Simulação de compensação paga dor desvio de tensão.

Outro exemplo registrado foi o caso discutido em uma análise de desempenho em determinado alimentador que indicou problemas de continuidade afetando indicadores de continuidade. Constatou-se durante a análise que no alimentador existe um RA que se encontrava impedido e na oficina, aguardando prazo pré-determinado em uma fila para receber manutenção.

Baseado na análise de desempenho da continuidade, definiu-se que o retorno do RA seria prioritário em relação às outras manutenções na oficina devido ao impacto nos indicadores de continuidade, custo com deslocamento de eletricitas para fechar chaves fusíveis e compensações pagas por descontinuidade no fornecimento de energia elétrica, de modo que foi abreviado seu tempo de impedimento.

A tabela 2 mostra uma simulação de multa baseada no EUSD, que seria paga a duas unidades consumidoras de um mesmo cliente do Grupo A, atendido na tensão de 34,5 kV pelo RA que se encontrava na oficina, no caso de uma violação no indicador

DMIC.

A esse valor se somariam as multas pagas a todas unidades consumidoras baseadas em seus respectivos EUSD, ligados no mesmo RA e que tivessem seus limites de continuidade individuais extrapolados, dando assim uma dimensão dos valores que podem ser imputados à concessionária pelo impedimento de um RA.

Nome Cliente	Cód. Grupo Tensão	Dmic apurado	Meta Dmic	EUSD	Valor Previsto da Multa
UC 1-a	A	13,00	2,91	R\$ 98.911,86	R\$ 27.343,03
UC 1-b	A	13,00	2,91	R\$ 830,31	R\$ 229,53
				Total	R\$ 27.572,56

Tabela 2 – Simulação de multa paga por DMIC a cliente do Grupo A.

São inúmeros os exemplos que poderiam ser citados exemplificando a utilização do painel e mostrando o auxílio na agilidade e na tomada de decisões quando as informações estão completas e todas disponíveis em um único local de consulta irrestrita.

4 | CONCLUSÕES

Foi apresentado neste trabalho a ferramenta da Divisão de Controle de Qualidade Centro Sul disponibilizada às áreas de Operação e Manutenção em um portal com informações atualizadas e pertinentes quanto ao impedimento dos EER.

A manutenção dos EER em plenas condições operacionais representa parte da base de remuneração da tarifa da concessionária, possuindo importância no aspecto financeiro e impacta fortemente nos indicadores de qualidade de continuidade.

A gama de informações periféricas concentradas em um único portal, integrando dados oriundos de outros sistemas corporativos e não interligados, constitui uma fonte prática e simples de consulta que auxilia na tomada de decisão e direciona os esforços das áreas envolvidas para os objetivos de manter a continuidade e a conformidade no fornecimento de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

Por dentro da conta de energia: informação de utilidade pública, Agência Nacional de Energia Elétrica. 4. ed. - Brasília: ANEEL, 2011.

PRORET – Procedimentos de Regulação Tarifária, Módulo 2, Submódulo 2.3 – Disponível em <http://www.aneel.gov.br>, acessado em 10/05/2016.

Reguladores de Tensão Monofásicos Toshiba, Rev.3, Junho/2012 – Disponível em <https://www.toshiba-bhz.com.br>, acessado em 13/05/2016.

MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL

Davi Carvalho Moreira

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Tucuruí – Pará

Daniel Simões Pires

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Porto Velho – Rondônia

Danilo Gomes Matias

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Brasília – Distrito Federal

Heleno Fülber

Universidade Federal do Pará – UFPA
Tucuruí – Pará

Bruno Merlin

Universidade Federal do Pará – UFPA
Tucuruí – Pará

RESUMO: este artigo apresenta a desafios, nas fases de projeto, inspeção e comissionamento, enfrentados pela Eletrobras Eletronorte na modernização dos Sistemas de Proteção e Controle da Usina Hidrelétrica de Samuel, incluindo um sistema de supervisão local e remoto. Apresenta também a solução de engenharia implementada para realizar integração entre sistemas de tecnologia digital com sistemas de tecnologia convencional (eletromecânica e eletrônica) de forma simples e de baixo custo. Neste artigo é abordada

a busca por soluções de engenharia que não causam dependência tecnológica e ainda possibilitam a interoperabilidade dos sistemas digitais. O projeto de modernização foi concluído dentro dos prazos estabelecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico se mostrou vantajoso financeiramente com retorno dos investimentos observados em médio prazo. **PALAVRAS-CHAVE:** Modernização, Proteção, Controle, Supervisão, Hidrelétrica.

ABSTRACT: This paper presents the challenges faced by Eletrobras Eletronorte during project, inspection and commissioning phases, in the modernization of the Protection and Control Systems of Samuel Hydroelectric Power Plant, including a local and remote supervision system. It also presents the engineering solution implemented to integrate digital technology systems with systems of conventional (electromechanical and electronic) technology in a simple and low-cost way. In this paper, the search for engineering solutions that do not cause technological dependence and, still, allow the interoperability of the digital systems, is approached. The modernization project was completed within the deadlines established by the National Operator of the Electric System proved to be financially profitable with medium-term return on investments.

KEYWORDS: Modernization, Protection,

1 | INTRODUÇÃO

A Eletrobras Eletronorte (ELB/ELN) possui a concessão da Usina Hidrelétrica de Samuel (UHE Samuel), com 216MW de potência nominal, teve seu início operacional das unidades geradoras no ano de 1989 e foi conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) em 2012. Esta interligação exigiu diversas adequações da instalação aos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), principalmente no que se refere aos requisitos de telessupervisão descritos no submódulo 2.7.

Em um cenário com restrições orçamentárias, medidas de governo com redução de receita e ainda num ambiente competitivo, a ELB/ELN buscou uma solução estratégica para: (i) minimizar os investimentos; (ii) atender os requisitos dos procedimentos de rede do ONS; (iii) realizar a operação remota; (iv) reduzir os custos de operação e manutenção da usina e (v) manter a disponibilidade das unidades geradoras.

Os desafios encontrados para a realização deste projeto estão relacionados aos prazos curtos estabelecidos pelo ONS após a interligação da usina com o SIN e a busca por soluções de engenharia que não causam dependência tecnológica, principalmente relacionada aos protocolos e padrões proprietários, e ainda garantam a interoperabilidade dos sistemas. Destacam-se também as dificuldades encontradas devido à complexidade do empreendimento, sendo que não foi apenas a instalação de novos equipamentos e sim a integração dos sistemas de proteção e controle digitais com vários sistemas ainda eletromecânicos e eletrônicos.

A solução adotada pela ELB/ELN foi a modernização dos sistemas de proteção e controle, incluindo um sistema de supervisão local e remoto, havendo a integração destes sistemas digitais com o sistema de regulação de velocidade, sistema regulação de tensão, sistema de excitação, sincronismo, sistemas de lubrificação entre outros sistemas que também possuem uma tecnologia convencional.

Serão descritos neste trabalho as principais atividades das fases de inspeção em fábrica e comissionamento, bem como examinadas as características e fragilidades da convivência com diferentes gerações tecnológicas.

2 | PROJETO

O projeto de modernização da UHE Samuel foi elaborado de acordo com o padrão da ELB/ELN, diretrizes do ONS e inclusões de melhorias relatadas nas experiências anteriores (Modernização do SPCS da UHE Curuá-Una, UHE Coaracy Nunes e UHE Tucuruí). Neste projeto, a ELB/ELN optou por elaborar uma única especificação contendo a contratação dos serviços de projeto, fornecimento de equipamentos e serviços de montagens.

Antes da modernização, em cada função geração, a proteção do gerador,

transformador elevador, linha curta e transformador de excitação eram compostos de proteções convencionais eletromecânicas e eletrônicas de diversos fabricantes, sem redundância de funções, como mostrado na Figura 1.

Um dos benefícios oriundo desse projeto foi o aumento da confiabilidade do sistema de proteção, devido à redundância de funções de proteção através de apenas dois relés e o fato de haver um único modelo de relé digital que pode ser intercambiável entre unidades geradoras ou entre função primária e secundária, como mostrado na Figura 2.

Algumas proteções permaneceram com tecnologia convencional, como foi o caso das proteções elétricas 87NT, 51BF e 27-3 que ficaram para serem modernizadas no projeto da equipe de transmissão da ELB/ELN.

Os relés de proteção que foram instalados são micro processados, possui lógica programável, comunicação por diversos protocolos encontrando-se no estado atual da arte de tecnologia digital.

Optou-se pela utilização de protocolo baseado na Norma IEC61850 para a rede de proteção, sem que haja nenhum equipamento intermediário entre o relé digital e a estação de operação, com exceção dos switches para realizar a rede de comunicação em anel, conforme mostrado na Figura 3.

A utilização da Norma IEC61850 é uma tendência no setor elétrico que tem se mostrado vantajosa por possuir um conjunto de requisitos técnicos necessários para permitir que sistemas e equipamentos de diferentes fabricantes e gerações tecnológicas possam se comunicar.

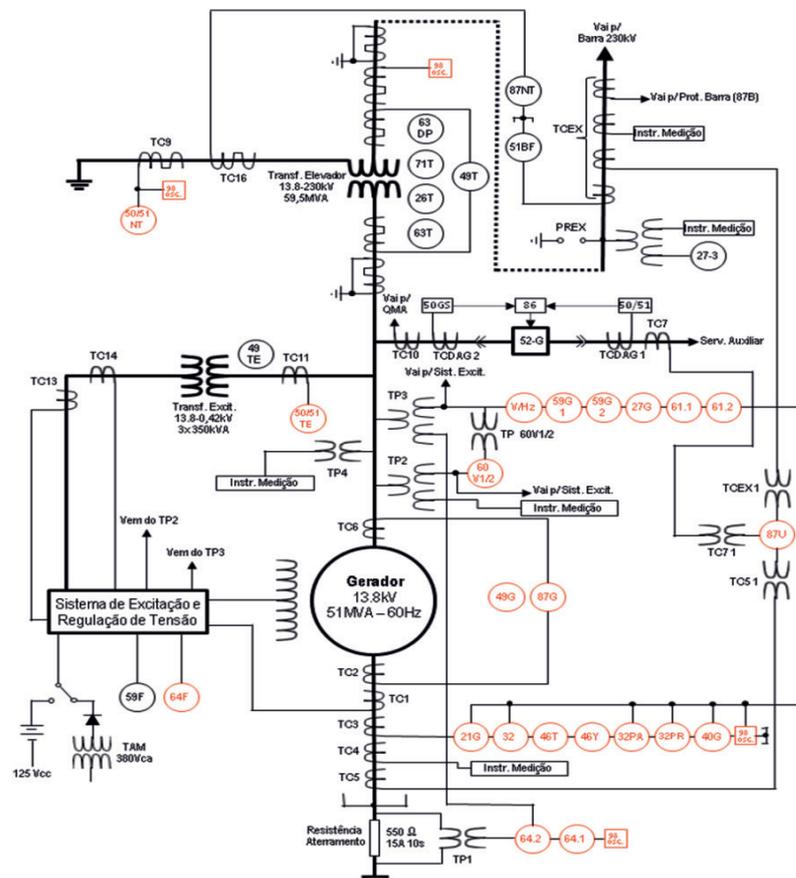


Figura 1: Diagrama Unifilar do Sistema de Proteção (Antes da Modernização)

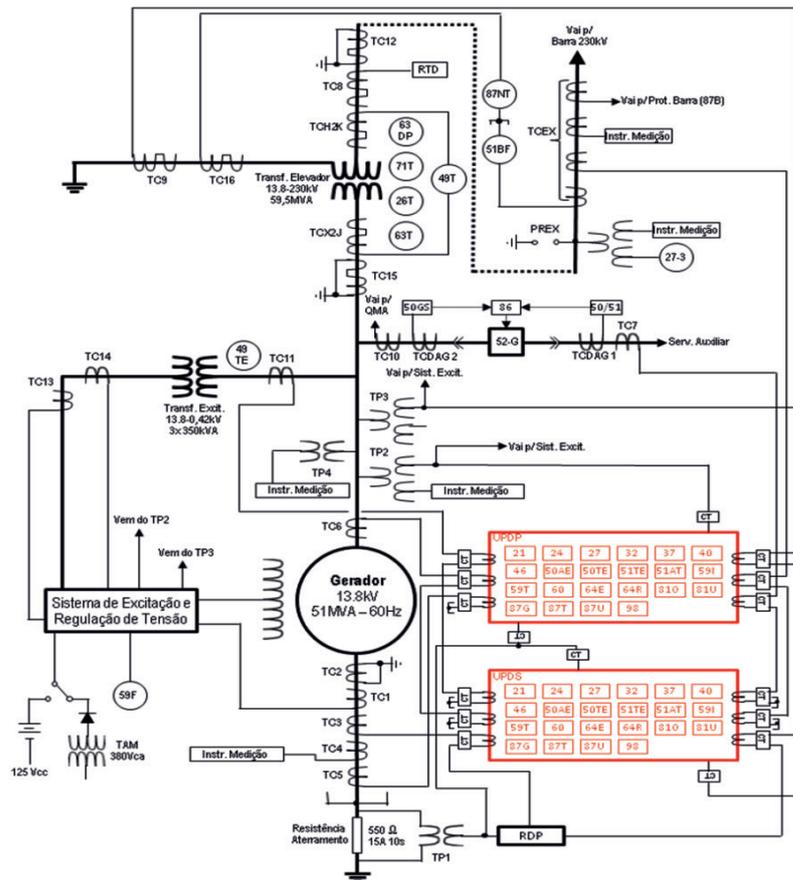


Figura 2: Diagrama Unifilar do Sistema de Proteção (Após a Modernização)

No sistema de controle, antes da modernização, havia apenas uma Unidade Terminal Remota (UTR) que imprimia os eventos da respectiva unidade geradora e um Controlador Lógico Programável (CLP) que não dispunha de canal de comunicação e realizava basicamente a partida da unidade geradora pelo centro de comando da usina.

Com a modernização dos controladores lógicos programáveis e a implantação de sistema supervisorio, também no estado atual da arte de tecnologia digital, foi possível obter dados de supervisão, controle e proteção, níveis de alarmes diferenciados, interfaces gráficas de alta definição, imagens e comandos customizados conforme necessidade da ELB/ELN, atualização da lógica de partida e parada, implementação de várias outras lógicas inclusive controle conjunto de tensão e de potência, uma grande capacidade de armazenamento de dados históricos para análise pós-operação e consulta ao banco de dados históricos via intranet, facilidade na reposição dos equipamentos e ainda o controle remoto da UHE Samuel através do Centro de Operação da Geração (COG) localizado na UHE Tucuruí.

Na fase de desenvolvimento do projeto, para as definições dos equipamentos e arquitetura de rede, buscou-se uma solução de engenharia de forma a possibilitar a interoperabilidade dos sistemas de proteção e controle tendo em vista uma futura modernização dos demais sistemas da usina com tecnologia convencional.

Uma das dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto foi na definição da arquitetura de rede dos sistemas de proteção e controle, para possibilitar uma integração com diferentes sistemas e com diferentes gerações tecnológicas destes sistemas. Baseado na experiência da ELB/ELN buscou-se uma arquitetura de rede dos sistemas de proteção e controle sem equipamentos, do tipo *front-end* e/ou *gateway* e/ou *Redbox* outro algum outro equipamento que seja intermediário entre a *Intelligent Electronic Device* (IED) e o sistema supervisor. Importante ressaltar que deve-se exigir a utilização de protocolos abertos a fim de resguardar a empresa de uma dependência tecnológica de um determinado fabricante. Verifica-se na Figura 3, uma rede de *switch* em anel simples e cada IED (proteção e controle) ligada em dois *switches*.

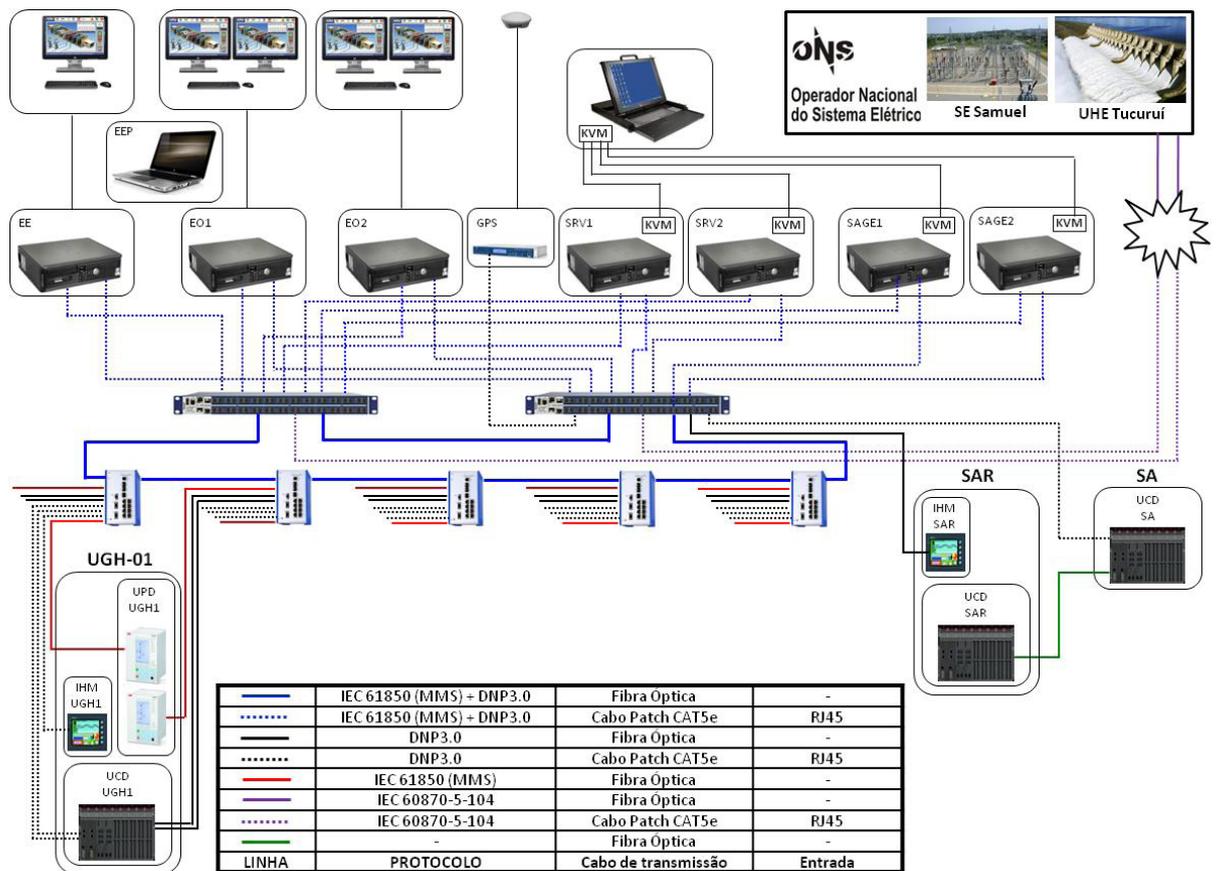


Figura 3: Arquitetura de Rede

Para a rede de proteção foi utilizado a Norma IEC 61850 com os protocolos *Manufacturing Message Specification* (MMS) para comunicação com o sistema supervisor e o protocolo *Generic Object Oriented Substation Event* (GOOSE) para comunicação com o oscilógrafo. Ressalta-se que padronização do modelo de dados dos atributos e funções do relé digital (REG670 – ABB) foi baseada na Norma IEC 61850 com os seus agrupamentos em dispositivo lógico, nó lógico e objeto de dados.

Para a rede de controle foi utilizado o protocolo *Distributed Network Protocol Version 3.0* (DNP 3.0) para comunicação com o sistema supervisor, devido o CLP fornecido (Série Hadron XTORM – Altus) estar em fase de validação da Norma

IEC61850.

Neste projeto, até o presente momento, toda a comunicação dos sinais advindos do campo com o sistema supervisor é realizada pelos sistemas de controle e proteção, os demais sistemas com tecnologia convencional utilizam estes *hardwares* para possibilitar processamento de lógica e/ou visualização de grandezas analógicas e/ou sinais digitais nas telas do supervisor.

Ainda na fase de projeto, para cada sistema que permanecerá com tecnologia convencional, foi realizado o levantamento dos sinais de entrada/saída analógica e digital, este levantamento se fez necessário e foi condição básica para possibilitar a integração entre os sistemas. A ELB/ELN tem como padrão prever uma quantidade 10% de entrada/saída analógica e digital reserva cabeada para implementação de melhorias e/ou eventuais necessidades.

3 | INSPEÇÃO EM FÁBRICA

Nas inspeções em fábrica dos sistemas de proteção e controle, o padrão da ELB/ELN é realizar testes elétricos, testes de subsistemas e testes de sistemas.

Nos testes elétricos de todos os painéis e placas de montagem foram realizados: (i) inspeção visual e dimensional; (ii) ensaio de pintura (espessura e aderência); (iii) verificação das plaquetas, disposição dos componentes e placa de identificação; (iv) verificação das anilhas; (v) ensaio de continuidade e fiação; (vi) funcionamento dos equipamentos. Os ensaios de tensão aplicada e resistência de isolamento foram realizados apenas nos painéis fornecidos, pois para as placas de montagem a instalação completa com todas as fiações nas canaletas e borneiras ocorreu no comissionamento. Nesta etapa da inspeção houve retrabalhos, por parte do fornecedor, relacionados à identificação de anilhas e fiação invertida, sendo normalizadas todas as não conformidades durante o período de inspeção. Uma das principais preocupações da ELB/ELN foram as verificações dos desenhos dimensionais das placas de montagem, para que não houvesse modificações quando da instalação nos painéis existentes.

Os testes de subsistemas foram realizados em todas as UCD e UPD das unidades geradoras e na UCD do serviço auxiliar, compreendendo: (i) testes de subida de pontos, incluindo diagnósticos e falhas; (ii) testes de comando; (iii) testes de lógicas; (iv) verificação de comunicação, inicialização e energização; (v) ensaio nos circuitos de corrente e tensão. Nesta etapa da inspeção ganhou-se tempo pelo fato dos testes (i), (ii) e (iii) terem sido feito por amostragem, em torno de 25% de cada tipo sinal. A ELB/ELN concordou com os testes por amostragem, devido ter sido realizado em fábrica antes da inspeção, em uma UCD de unidade geradora e na UCD do serviço auxiliar, a subida de todos os pontos de entrada digital e analógica, inclusive verificando sua respectiva sinalização no sistema supervisor e simulação de todos os comandos e lógicas dos sistemas de controle. O acompanhamento da confecção de

telas do sistema supervisor, da programação da lógica da UCD e UPD e a realização dos testes anteriores à inspeção em fábrica são atividades que aconselhamos, pois facilitou e minimizou os trabalhos, sem perda de qualidade, na fase de inspeção em fábrica e principalmente agregou conhecimento teórico e prático dos equipamentos para a equipe da ELB/ELN.



Figura 4 :Painel do Controlador Lógico Programável (antigo)



Figura 5: Placa de Montagem Painel da Unidade de Controle Digital (novo)

A última etapa da inspeção em fábrica foram os testes de sistemas, também chamado de Certificação Funcional Integrada (CFI). Foi montada em fábrica uma rede de equipamentos, muito semelhante à arquitetura da Figura 3, sendo ligadas todas as UPD, todas as UCD, todas as IHM, um GPS, duas estações de operação, dois servidores de banco de dados e dois servidores SAGE, nas Figuras 4 e 5 são apresentadas fotos do painel antigo e da nova placa de montagem da unidade de controle, respectivamente. Nas Figuras 6 e 7 são apresentadas fotos do painel antigo e da nova placa de montagem dos relés de proteção.

Os testes realizados foram: (i) teste de sincronismo; (ii) teste de redundância; (iii) teste de comunicação com centro remoto; (iv) teste de avalanche. Essa etapa da inspeção foi importante tanto para averiguar se os recursos fornecidos e a arquitetura proposta com os protocolos de comunicação atendem, na sua totalidade, aos requisitos técnicos funcionais exigidos pela ELB/ELN. Nesta etapa as dificuldades encontradas foram relacionadas a ajustes nas bases de dados para o perfeito funcionamento do sistema.



Figura 6: Painel dos Relés Proteção (antigo)



Figura 7: Painel da Unidade de Proteção Digital (novo)

4 | COMISSIONAMENTO

Com base no padrão de comissionamento da ELB/ELN, neste projeto o

comissionamento consistiu em: (i) desmontagem e montagem de painéis; (ii) lançamento de cabos de força, controle e comunicação; (iii) instalação dos equipamentos de supervisão, controle e proteção; (iv) ensaio funcional nos painéis e placas de montagens; (v) ensaio de perda de comunicação; (vi) ensaio de atuação das proteções; (vii) ensaio de subida de eventos com sincronismo de tempo; (viii) adequação das bases de dados para ONS, SE Samuel e UHE Tucuruí (Comando Remoto).

Três grandes desafios encontrados neste projeto foram a minimização do tempo de indisponibilidade da unidade geradora, a compatibilização dos cronogramas com SE Samuel, devido a subestação também estar sendo modernizada e as adequações realizadas nos painéis para conviver com diferentes gerações tecnológicas e ainda possibilitar toda a supervisão e comandos remotos necessários para o telecomando da usina.

Para a minimização do tempo de indisponibilidade, foram realizados diversos serviços com a unidade em operação. Destaca-se que os serviços executados não causaram desligamento e os riscos foram minimizados com um planejamento e análise dos desenhos funcionais adequadas. Ressalta-se que os sistemas de controle das unidades geradoras já estavam inoperantes, ou seja, a usina estava operando em modo local e a desativação do sistema de controle não causava risco de desligamento. Antes de cada parada de máquina, todos os equipamentos do sistema de controle foram retirados dos seus respectivos painéis, foi realizado o encaminhamento de cabos de comunicação e ainda foram deixadas próximo ao local todas as placas de montagens e os novos painéis.

A instalação dos equipamentos do sistema de supervisão, na sala de operação, foi realizada sem intervenção nas unidades geradoras e no início da fase de comissionamento, pois o próprio sistema supervisor foi utilizado nesta fase.

O tempo médio de indisponibilidade das unidades geradoras foi de 30 (trinta) dias, destaca-se que neste período houve aproveitamento para realização das manutenções anuais e quinquenais, conforme Programa de Manutenção Planejada (PMP) de cada unidade. Nos equipamentos proteção, a intervenção iniciou-se apenas quando da máquina parada e as condições de segurança satisfeitas.

Devido neste projeto terem sido aproveitados os cabos derivados dos sensores e equipamentos de campo, foi muito importante a fiscalização da ELB/ELN, que foi executada por técnicos da própria usina e que conheciam completamente o serviço executado, orientando a contratada na desmontagem e montagem dos painéis.

Outra dificuldade encontrada na fase do comissionamento foi a compatibilização dos cronogramas que envolveram o desligamento da função geração por parte da usina e do bay de entrada por para da subestação. O fato de haver duas empresas contratadas com prazos distintos de entrega de equipamentos, sendo que os desligamentos de uma instalação afetam a disponibilidade da outra instalação e que a gestão de cada instalação é realizada por diferentes áreas dentro da ELB/ELN, ocasionou diversas reuniões de planejamento para compatibilizar as datas de início

e fim de serviço. A área de transmissão da ELB/ELN optou por realizar os serviços nos bay de entrada da SE Samuel quando da indisponibilidade de sua respectiva unidade geradora, mesmo tendo que adequar o seu cronograma de fornecimento com a contratada.

Outro desafio superado nesta fase de comissionamento, foram os testes de cada adequação realizada nos painéis de comando dos sistemas de excitação, regulação de tensão, regulação de velocidade e sincronismo para que houvesse uma integração entre os sistemas eletromecânicos e eletrônicos com os sistemas digitais. Cabe ressaltar a importância da fase de projeto, para análise e alterações nos desenhos funcionais a fim de minimizar o tempo gasto no comissionamento em que a unidade geradora está indisponível.

O sistema de proteção e controle modernizado está em fase de garantia contratual e sendo avaliado pela equipe da ELB/ELN. Foi estabelecido um período de aproximadamente 20 (vinte) dias para estabilização dos sistemas de proteção e controle, este período foi o intervalo entre os desligamentos das unidades geradoras.

5 | INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS

A solução implementada pela ELB/ELN para integração entre os sistemas com tecnologia convencional e tecnologia digital, baseou-se na centralização das informações nos sistemas de proteção e controle de sua respectiva unidade geradora.

Destaca-se que foram previstos equipamentos e arquitetura de rede, para obter uma solução de engenharia de que garanta a interoperabilidade dos sistemas de proteção e controle, tendo em vista que futuramente poderá ser modernizado outros sistemas.

Como exemplo de integração entre sistemas, citamos 03 (três) casos: (i) sistema de excitação e regulação de tensão; (ii) sistema de regulação de velocidade; (iii) sistema de sincronismo.

5.1 Sistemas de Excitação e Regulação de Tensão

Para a integração do sistema de regulação de tensão no sistema de controle, houve a necessidade do envio de informações analógicas (tensão, corrente e temperatura) e digitais (estado de disjuntores e proteções) através de cabos de controle.

Para as grandezas digitais, utilizou-se saídas reservas dos relés auxiliares ou foram acrescentados relés multiplicadores de contatos para envio das informações ao CLP. Para as grandezas analógicas, foi-se utilizado os sinais dos medidores pertencentes ao painel local da respectiva unidade geradora, fazendo-se uma ligação em série com CLP para manter em funcionamento os medidores analógicos. Destaca-se que foi possível realizar a ligação dessa forma, pelo fato dos painéis estarem fisicamente próximos.

Neste projeto, além de toda a supervisão dos sistemas de excitação e regulação de tensão, o sistema supervisor também tem a possibilidade de executar comandos de aumento/diminuição de tensão e abertura/fechamento da contatora de excitação.

A solução implementada foi inserir no relé auxiliar que efetua o comando do equipamento uma saída digital do CLP. Esta adequação prevista no projeto foi simples, eficaz e não onerou custos ao projeto (Figuras 8 e 9).

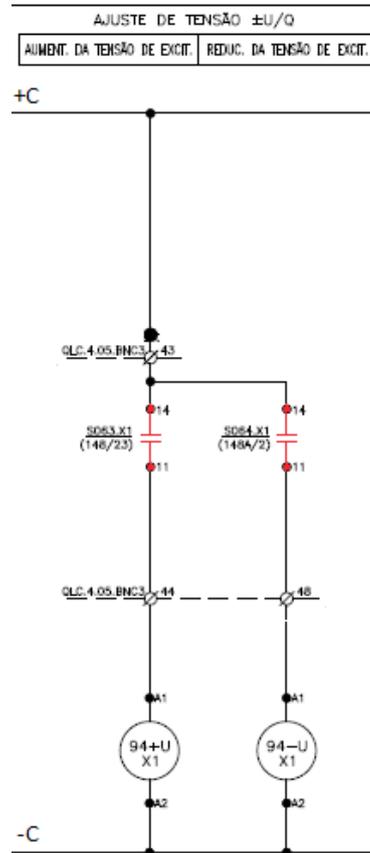


Figura 8: Ajuste de Tensão da UGH

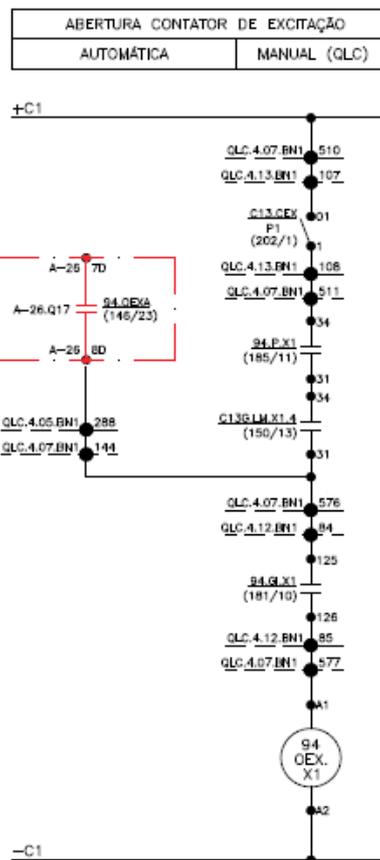


Figura 9: Abertura da Contatora de Excitação

5.2 Sistema de Sincronismo

A integração do sistema de sincronismo com os sistemas de controle e supervisão foi realizada através da habilitação da ordem de fechamento do disjuntor e da habilitação de sincronismo em barra morta. A saída digital do CLP que faz comunicação com o relé de sincronismo é disparada através de lógica interna baseada nas entradas analógicas e digitais.

A Figura 10 apresenta o diagrama funcional do relé de sincronismo, onde está destacado de vermelho as saídas digitais do CLP que habilitam ações do relé de sincronismo.

ALIMENTAÇÃO E ENTRADAS DIGITAIS DO SINCRONIZADOR – 25-G											
ALIMENTAÇÃO	DISJUNTOR		BLACK START/OP. ISOL.	CONJ. PARÂMETROS B	FREQUÊNCIA		TENSÃO		COMANDO	MESSAGE	SINCRONIZADOR
125Vcc	HABILITADO	ABERTO	HABILITADO	HABILITADO	AUMENTAR	DIMINUIR	AUMENTAR	DIMINUIR	FECHAMENTO DI.	CONNECT 2	PRONTO P/ OPERAR

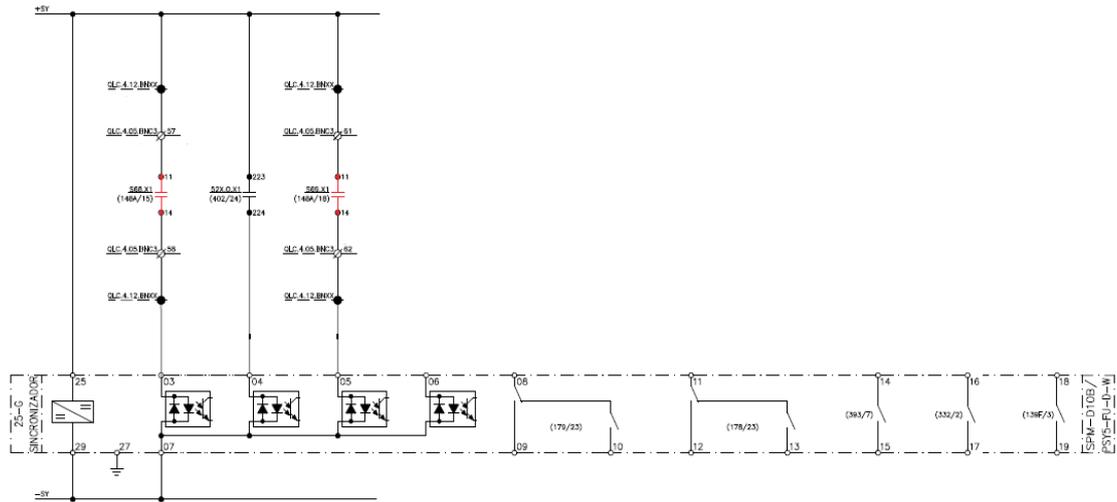


Figura 10: Comandos para Habilitar Ações no Relé de Sincronismo

5.3 Sistemas de Regulação de Velocidade

O sistema de regulação de velocidade foi integrado ao sistema de controle da mesma forma que os sistemas de excitação e regulação de tensão.

Alguns instrumentos necessitaram ser adquiridos para que o monitoramento do sistema de regulação de velocidade fosse ampliado. Para evitar que houvesse problemas de comunicação, dependência tecnológica e ainda visando custo do instrumento, não inserimos instrumentos com comunicação através de protocolos, ou seja, mantivemos a filosofia de projeto que é o envio das informações por cabo de controle, temperatura (RTD), pressão e nível (4 a 20mA).

Desta forma o sistema de regulação de velocidade ficou todo supervisionado e ainda possibilitando comando de aumento/diminuição de potência ativa, além de comandos das motobombas e eletroválvulas. Nas Figuras 11 e 12 são apresentados apenas os diagramas funcionais dos comandos de aumento/diminuição de potência ativa e comando da eletroválvula de isolamento do acumulador Ar-Óleo.

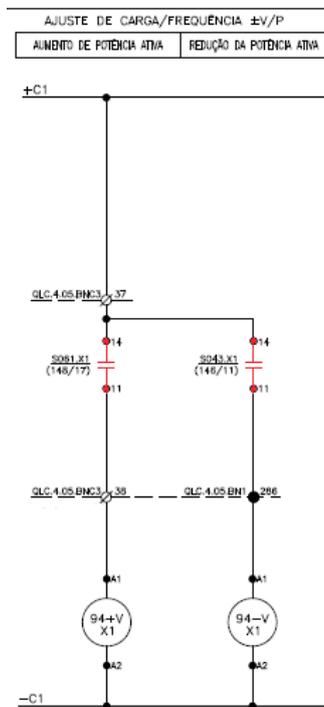


Figura 11: Comando de Potência Ativa da UGH

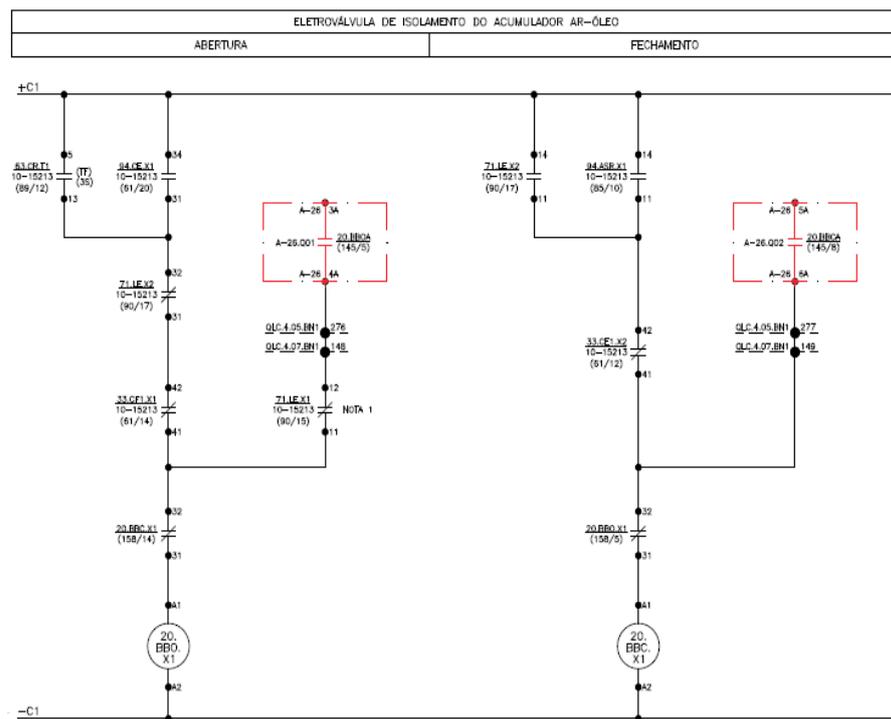


Figura 12: Comando da Eletroválvula de Isolamento do Acumulador Ar-Óleo

6 | CONCLUSÃO

O artigo abordou de forma abrangente os desafios encontrados na modernização dos sistemas de proteção e controle da usina hidrelétrica de Samuel, desde o projeto até o comissionamento, apresentando as soluções engenharia para integração dos sistemas de tecnologia digital com os sistemas de tecnologia convencional.

A arquitetura de rede dos sistemas de proteção e controle com protocolos abertos e padronizados por normas, possibilitou implementar instalar equipamentos intercambiáveis e que não causam dependência tecnológica, permitindo ainda integração com futuros sistemas que serão modernizados.

Os adiamentos dos desligamentos das unidades geradoras foram motivados basicamente pelas condições energéticas desfavoráveis do SIN, devido a UHE Samuel ser uma importante fonte de geração para o estado e Rondônia.

A integração das equipes de projeto e manutenção das áreas de geração e transmissão foi fundamental na fase do comissionamento dos sistemas de proteção, ensaio de comando de equipamentos e configuração das bases de dados.

A convivência com diferentes gerações tecnológicas se mostrou uma solução vantajosa financeiramente e não causam transtornos a operação e manutenção, desde que sejam bem projetadas.

Os gastos totais (projeto, equipamento e serviço) com a modernização dos sistemas de proteção e controle ficaram em torno de 4 milhões de reais, apesar dos consideráveis gastos iniciais, as vantagens da modernização e o retorno dos investimentos serão observados em médio.

Um dos resultados da modernização foi a supervisão local e remota de todas as grandezas analógicas/digitais e ainda possui comandos de todos os equipamentos necessários para operação comercial da instalação.

Sendo o processo de modernização um trabalho multidisciplinar e ainda havendo interação com diversos órgãos (internos e externos à ELB/ELN), conseguiu-se desenvolver e executar as diversas fases deste complexo empreendimento com bastante êxito.

REFERENCIAS

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Modernização dos Sistemas de Proteção e Controle da UHE Samuel: Desafios Encontrados**, Convivência com Diferentes Gerações Tecnológicas. XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu: CIGRÉ-Brasil. 2015.

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Solução Eletronorte para Modernização da UHE Samuel: Convivência com Diferentes Gerações Tecnológicas**, XI Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos. Campinas: Cigré-Brasil. 2015.

OPERAÇÃO REMOTA DE USINAS PELO CENTRO DE OPERAÇÃO DA GERAÇÃO DA ELETROBRAS ELETRONORTE

Davi Carvalho Moreira

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Tucuruí – Pará

Daniel Simões Pires

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Porto Velho – Rondônia

Daniilo Gomes Matias

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Brasília – Distrito Federal

Juliano Cortes de Souza

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Brasília – Distrito Federal

Leonardo Siqueira Rodrigues

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Brasília – Distrito Federal

Heleno Fülber

Universidade Federal do Pará – UFPA
Tucuruí – Pará

Bruno Merlin

Universidade Federal do Pará – UFPA
Tucuruí – Pará

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar a solução técnica e operacional implementada pela Eletrobras Eletronorte para operação remota de suas usinas hidrelétricas

conectadas ao Sistema Interligado Nacional. Neste trabalho é apresentada a forma de integração dos Sistemas de Proteção, Controle e Supervisão de cada usina para propiciar operação remota pelo Centro de Operação da Geração, destacando o baixo custo de implantação e a simplicidade da solução tecnológica baseada em relés digitais, controladores lógicos programáveis e sistema supervisorio. Por fim são apresentados os ganhos com a implantação da operação remota de um importante sistema de geração.

PALAVRAS-CHAVE: Operação Remota, Hidrelétrica, Sistema de Supervisão, Centro de Operação da Geração.

ABSTRACT: This paper aims to present the technical and operational solution implemented by Eletrobras Eletronorte for remote operation of its hydroelectric power plants connected to the National Interconnected System. The integration of the Protection, Control and Supervision Systems of each power plant to provide remote operation by the Generation Operation Center is presented, highlighting the low cost of implantation and the simplicity of the technological solution based on digital relays, programmable logical controllers and supervisory system. Finally, the gains from implanting the remote operation of an important generation system are presented.

KEYWORDS: Remote Operation, Hydroelectric, Supervision System, Generation Operation Center.

1 | INTRODUÇÃO

A Eletrobras Eletronorte (ELB/ELN), desde 2000, investe na automação de suas usinas hidrelétricas com foco principal na digitalização dos sistemas de proteção, controle e supervisão.

A partir da década de 80, foram implantadas as primeiras salas de controle dos centros de operação, das empresas de energia elétrica, que tinham foco na funcionalidade dos sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*) e tinham como principal objetivo a observação por parte dos operadores dos diagramas unifilares disponíveis nestes sistemas (FREITAS et al, 2007). Nesta época, iniciou-se a utilização dos microprocessadores, dos módulos de processamento de sinais e de lógicas e algoritmos complexos, com taxas de transmissão de dados suficientes para realização de controle e supervisão de maneira segura e confiável.

A automatização de usinas existentes é uma tendência atual, indispensável para que se atinja o máximo potencial de uma instalação. A automação deve ser entendida como um sistema integrado, que envolve não apenas o sistema de supervisão e controle, mas também os reguladores de velocidade e tensão, as proteções elétricas e mecânicas, instrumentação e atuadores (elétricos e hidráulicos) (GORGA, 2003).

Hoje em dia, em que os sistemas de supervisão e controle das usinas atingiram sua maturidade, o aproveitamento da inteligência distribuída conforme as instalações são digitalizadas, permite a operação remota além de ser uma necessidade empresarial para efficientização dos custos de operação é uma ferramenta para simplificação das atividades e aumentar a confiabilidade operacional (STRASBACH E POZAVSKI, 2010).

O Centro de Operação da Geração (COG) da ELB/ELN localiza-se na Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE Tucuruí) e realiza a operação remota de três usinas hidrelétricas (UHE Tucuruí, UHE Samuel e UHE Curuá-Una), correspondendo a 8.642 MW, quase 6,65% da capacidade instalada do sistema interligado brasileiro.

2 | REDE DE AUTOMAÇÃO DAS USINAS

A topologia da rede de automação e os protocolos de comunicação de cada usina foi estabelecida de acordo com o solução tecnológica que se tinha na época de sua respectiva modernização. Dessa forma o SPCS de cada usina da ELB/ELN possui uma topologia de rede diferente, com tipos protocolos diferente, mas não interfere na solução de engenharia adotada para operação remota.

2.1 UHE Samuel

O projeto de modernização da UHE Samuel, iniciado em 2015, teve em seu escopo a substituição dos relés de proteção eletromecânicos por relés de proteção digitais, a substituição das unidades terminais remotas por controladores lógicos programáveis e ainda a implantação de um sistema de supervisão SCADA.

A rede de automação da UHE Samuel é baseada em protocolos de comunicação Ethernet aberto e normatizado, sendo utilizado para rede de proteção o protocolo *Manufacturing Message Specification* (MMS) fundamentado na Norma IEC 61850 para comunicação com o sistema supervisor e para rede de controle foi utilizado o protocolo *Distributed Network Protocol Version 3.0* (DNP 3.0) para comunicação entre o Controlador Lógico Programável (CLP) e o sistema supervisor. Na Figura 1 é apresentada a rede de automação da UHE Samuel com topologia em anel simples de switch e as *Intelligent Electronic Device* (IED) sendo conectadas radialmente na rede em anel.

A integração entre as redes de automação da UHE Samuel e da SE Samuel é realizada por servidores SAGE e comunicação por protocolo IEC 60870-5-104, possibilitando a supervisão e o controle de toda a função geração (bays de entrada da subestação) através do sistema de supervisão da usina (MOREIRA et al, 2015).

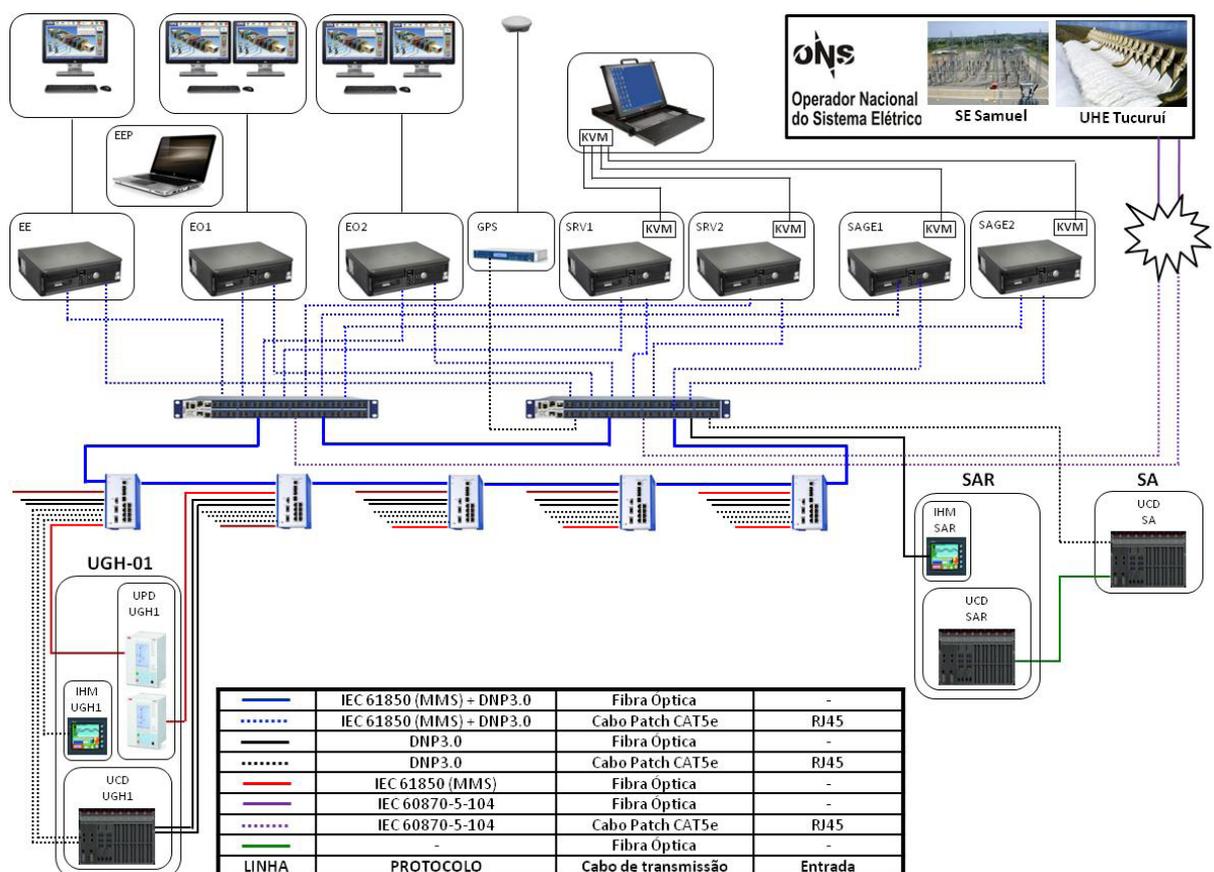


Figura 1: Arquitetura de Rede do SPCS da UHE Samuel

2.2 UHE Curuá-Una

O projeto de modernização da UHE Curuá-Una, iniciado em 2013, teve em seu

escopo a substituição da instrumentação de diversos sistemas, dos relés de proteção eletromecânicos por relés de proteção digitais, instalação de controladores lógicos programáveis, digitalização do sistema de regulação de velocidade e tensão e ainda a implantação de um sistema de supervisão SCADA.

A rede de automação da UHE Curuá-Una tem uma topologia em barra dupla com dois protocolos para comunicação com o sistema supervisor, os protocolos Modbus TCP e o IEC 60870-5-104, como pode ser observado na Figura 2.

Os relés de proteção se comunicam com o concentrador de dados da proteção por protocolo proprietário e este se integra a rede de automação da usina. Esta solução teve que ser adotada devido o modelo do relé não possuir protocolos de comunicação Ethernet aberto e normatizado.

Os módulos de aquisição de dados dos sistemas de regulação de velocidade e tensão fazem comunicação com o CLP através do protocolo CanOpen. O CLP além de processar toda a lógica do sistema de regulação de velocidade e tensão também faz a integração com a rede de automação da usina.

No sistema de controle existem módulos de aquisição de dados que se comunicam com o CLP através do protocolo CanOpen e Modbus RTU, vale destacar que a instrumentação que foi modernizada estão presentes no sistema de supervisão através do sistema de controle. O CLP além de processar toda a lógica do sistema de controle também faz a integração com a rede de automação da usina.

Os dados de supervisão e comando da SE Curuá-Una são realizados pelo sistema supervisor da usina, no entanto o meio físico de comunicação continua sendo cabos de cobre, pois a subestação ainda não passou por modernização e não possui rede de automação, Dessa forma, ainda não foi instalado servidores SAGE para realizar a interface de comunicação entre a subestação, usina e Centro de Operação Regional (COR/PA). A interface de comunicação para envio de dados para o COR/PA e Operador Nacional de Sistemas (ONS) é realizada pelos servidores SAGE da UHE Tucuruí.

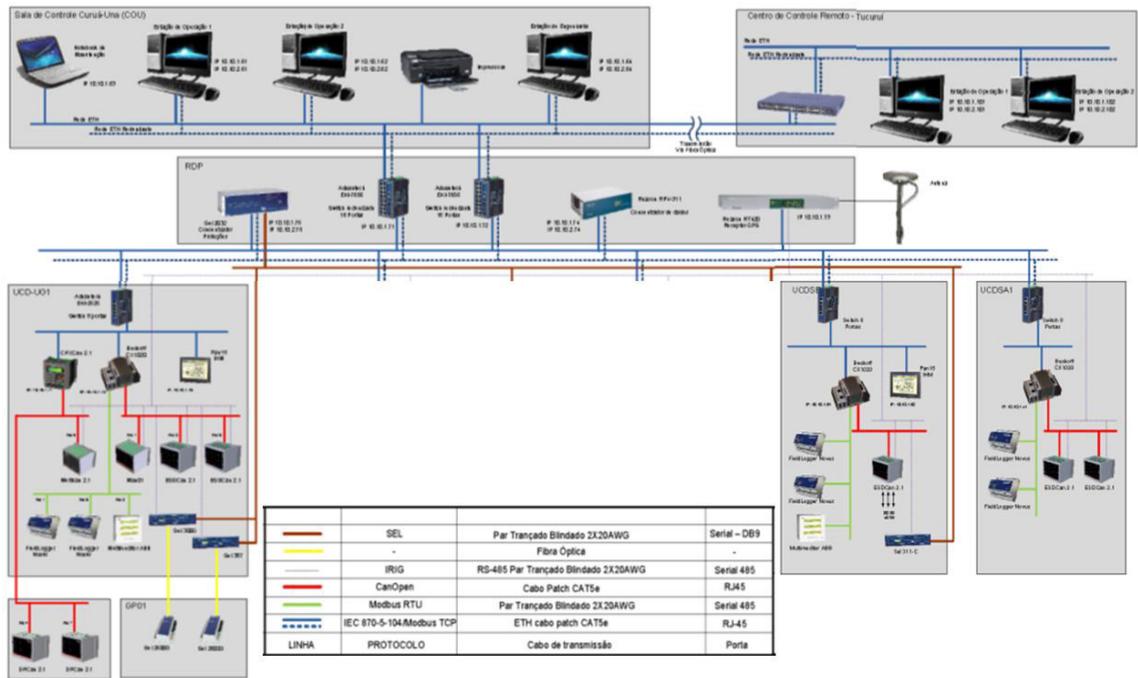


Figura 2: Arquitetura de Rede do SPCS da UHE Curuá-Una

2.3 UHE Tucuruí

Durante o processo de estudos, pesquisa de mercado e projeto para um novo sistema de proteção, controle e supervisão da 1ª Etapa, ocorreu o início do projeto para construção da 2ª Etapa da UHE Tucuruí. Este fato levou a ELB/ELN a incorporar o projeto de modernização do SPCS da 1ª Etapa com o projeto de construção da 2ª Etapa (SILVA e FARIA, 2003).

Houve a padronização de equipamentos e do projeto dos sistemas de proteção, controle e supervisão facilitando a integração entre as redes de automação da 1ª e 2ª Etapa com o sistema supervisorio da usina.

A rede de automação de cada etapa da UHE Tucuruí tem uma topologia em anel duplo no nível dos equipamentos. Para realizar a integração da rede de automação com o sistema supervisorio, houve a necessidade de utilização *Front-End* que trabalham como um *Gateway* convertendo os protocolos proprietários dos relés de proteção e CLP para o protocolo de comunicação Modbus. Segundo o fornecedor, esta era a solução de engenharia que havia em meados de 2002.

Como pode ser observado na Figura 3, as redes de automação dos equipamentos (1ª e 2ª etapa) se interligam com a rede do sistema de supervisão por *switches*, ficando as estações de operação conectadas em uma rede com topologia de barra dupla.

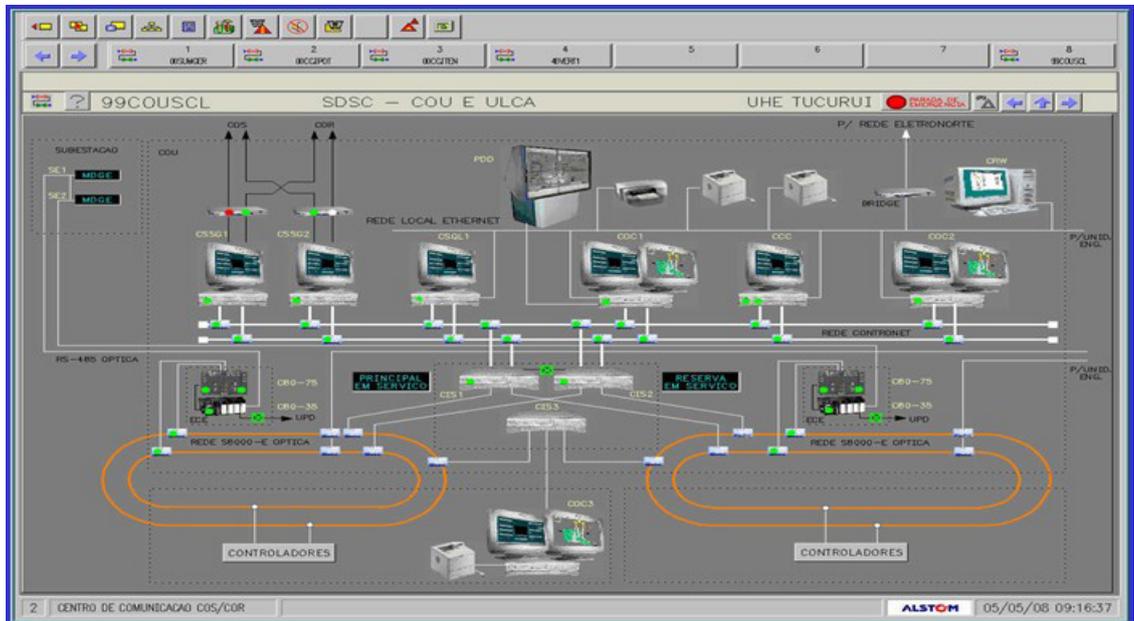


Figura 3: Arquitetura de Rede do SPCS da UHE Tucuruí

3 I REDE DE OPERAÇÃO REMOTA

A simplicidade da solução adotada pela ELB/ELN para operação remota das usinas evitou gastos significativos em infraestrutura, equipamentos e serviços de engenharia.

A comunicação entre as estações de operação do COG e os servidores de aplicação das usinas é realizada pela rede operativa da ELB/ELN, exclusiva para supervisão e controle de subestação e usinas, com uma estrutura física em fibra ótica, redundância por satélite e um link 2MB disponível para cada usina. Destaca-se que em operação normal as medições de tráfego de dados ficaram em torno de 120kbps por usina e mesmo nos ensaios de avalanche as respostas foram satisfatórias.

A supervisão e o controle de cada usina, realizado no COG, é efetuado por estações de operação independentes e que são as mesmas telas de controle da operação local, numa visão geral, as estações de operação, instaladas na sala de operação do COG, é uma extensão do sistema de controle de cada usina telecontrolada, conforme apresentado na Figura 4.

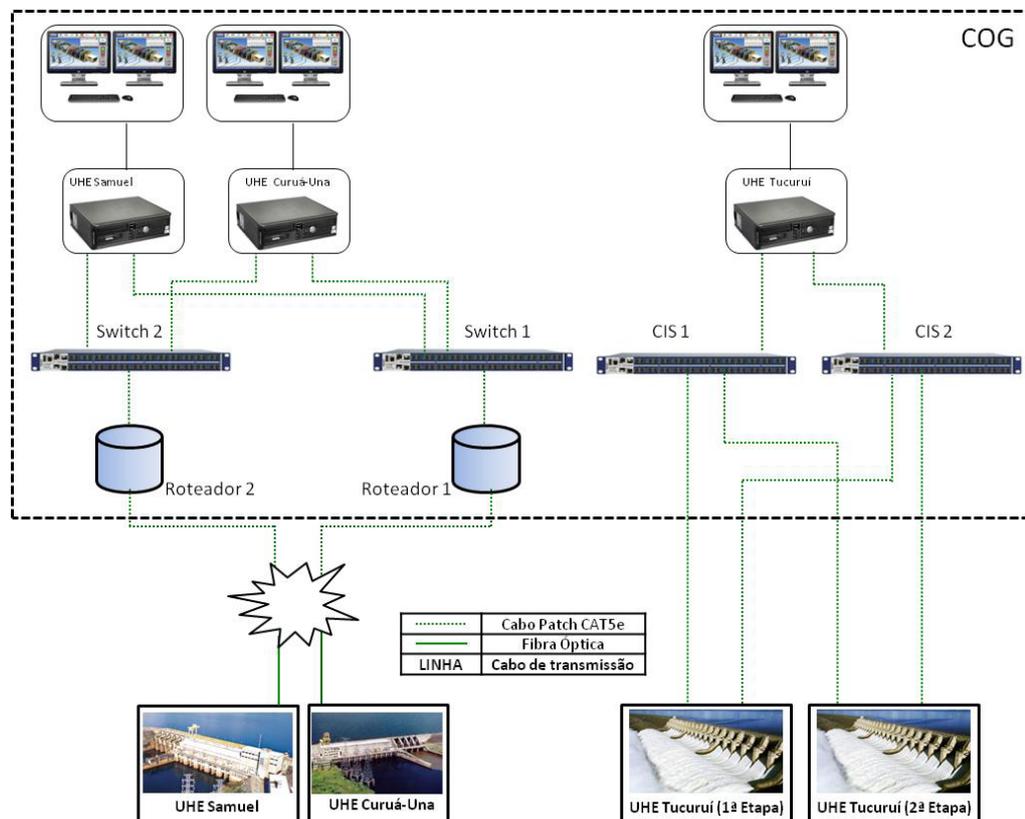


Figura 4: Arquitetura de Rede Simplificada do COG

4 | CONCLUSÃO

O principal resultado do trabalho foi a implantação do COG, com uma solução tecnológica de baixo custo.

Podemos verificar que diversas soluções técnicas de modernização de usinas, podem ser adaptadas para proporcionar operação remota, desde que não hajam funcionalidades adicionais ao que já existe na operação local. As particularidades da operação remota, que houver em cada usina, devem ser tratada de maneira isolada e poderá depender de outros recursos técnicos.

De maneira geral, esta solução tecnológica pode ser aplicada a qualquer empresa de energia elétrica e a solução do modelo funcional de operação dependerá do modelo organizacional de cada empresa e a relação hierárquica com o ONS.

Verificou-se que houve uma mudança na visão de individualidade que se tinha no passado e evoluiu para uma visão de conectividade, integração, simultaneidade, tempo real e foco no desempenho. Isso tem permitido uma prestação de serviços de operação e manutenção em nível de excelência às usinas e a clientes externos da ELB/ELN obtendo-se uma maior agilidade no controle de tensão e de geração, melhoria no desempenho geral das instalações, com implantação de automatismos locais, redução de custos operacionais, com otimização do quadro de operação de usinas, sem comprometimento da segurança operacional e uma transição mais suave para o modelo de operação de novas tecnologias.

REFERENCIAS

FREITAS, Y., AMARAL, W. F., TRAVASSOS, C. L. P. F., JUNIOR, A. B. R. M., CARDOSO, M. C., SANTOS, H. T., **Automação de Centros de Operação e de Atendimento: Aspectos a serem Considerados em Modernização de Salas de Controle e Operação**, VII Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Salvador: Cigré-Brasil, 2007.

GORGA, E. H. V., **A Experiência da Voith Siemens Hydro em Projetos de Automação de Usinas Existentes**, V Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Recife: Cigré-Brasil, 2003.

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Modernização dos Sistemas de Proteção e Controle da UHE Samuel: Desafios Encontrados**, Convivência com Diferentes Gerações Tecnológicas. XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu: Cigré-Brasil. 2015.

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Solução Eletronorte para Modernização da UHE Samuel: Convivência com Diferentes Gerações Tecnológicas**, XI Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos. Campinas: Cigré-Brasil. 2015.

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., RODRIGUES, L. S., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Operação Remota de Usinas pelo COG da Eletrobras Eletronorte**, XIV Encontro para Debates para Assuntos de Operação, São Paulo: Cigré-Brasil, 2016.

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., SOUZA, J. C., RODRIGUES, L. S., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Operação Remota de Usinas pelo COG da Eletrobras Eletronorte**, XIII Seminário Técnico de Proteção e Controle, Brasília: Cigré-Brasil, 2016.

SILVA, A. J. S., FARIA, N. P., **Modernização do Sistema de Supervisão Controle e Proteção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí**, XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Uberlândia: Cigré-Brasil, 2003.

STRASBACH, G., POZAVSKI, S. Z., **Sistema Digital de Supervisão e Controle para Usinas Hidrelétricas**, V Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Recife: Cigré-Brasil, 2003.

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

Eduardo Massashi Yamao

Lactec

Curitiba – PR

Juliano Pierezan

Lactec

Curitiba – PR

João Paulo Silva Gonçalves

Lactec

Curitiba – PR

Marcos Cesar Gritti

Lactec

Curitiba – PR

Luís Gustavo Tomal Ribas

Lactec

Curitiba – PR

Flávio Chiesa

U.E.G. Araucária

Araucária – PR

Victor Manuel Lopes dos Santos

U.E.G. Araucária

Araucária – PR

Marcos de Freitas

Companhia Paranaense de Energia - COPEL

Curitiba – PR

André da Silva Orlandi

Companhia Paranaense de Energia - COPEL

Curitiba – PR

Leandro dos Santos Coelho

Pontifícia Universidade Católica-PR e

Universidade Federal do Paraná - UFPR

Curitiba – PR

RESUMO: O tratamento adequado das emissões gasosas provenientes de processos industriais é fundamental para a preservação do meio ambiente e de seus recursos fornecidos à sociedade. Isso faz com que o termo “responsabilidade socioambiental” seja um tema relevante e que deve ser tratado com seriedade em todas as áreas do conhecimento. Na produção de energia elétrica, os insumos nem sempre são renováveis e geram gases poluentes lançados no meio ambiente. Esta pesquisa apresenta a identificação de modelos caixa-preta preditivos com estrutura de modelo MISO (*Multi-Inputs, Single-Output*) de emissões dos gases poluentes Óxidos de Nitrogênio (NOx) e Monóxido de Carbono (CO) de uma turbina a gás natural. A pesquisa utiliza uma metodologia de associação de técnicas de Inteligência Computacional com dados reais coletados diretamente da turbina. Os resultados obtidos demonstram que os modelos identificados são capazes de abstrair o processo de combustão com valores de MAPE abaixo de 10% e proporcionam a estimativa antecipada das parcelas de NOx e CO.

PALAVRAS-CHAVE: Turbina a gás, NOx, CO, Identificação não-linear, Inteligência Computacional.

ABSTRACT: Proper treatment of gaseous emissions from industrial processes is essential

for the preservation of the environment and its resources provided to society. This makes the term “socio-environmental responsibility” a relevant topic and must be treated with seriousness in all areas of knowledge. In the production of electric energy, the inputs are not always renewable and generate polluting gases released into the environment. This research presents the identification of predictive black-box models with a MISO (Multi-Inputs, Single-Output) model of emissions of the pollutant gases Nitrogen Oxides (NO_x) and Carbon Monoxide (CO) from a natural gas turbine. The research uses a methodology of association of Computational Intelligence techniques with real data collected directly from the turbine. The results show that the identified models are capable of abstracting the combustion process with MAPE values below 10% and provide the early estimation of the NO_x and CO plots.

KEYWORDS: *Gas turbine, NO_x, CO, Nonlinear identification, Computational Intelligence.*

1 | INTRODUÇÃO

Em 2016 cerca de 32,33 % do gás natural ofertado ao mercado no Brasil foi consumido para a geração de energia em usinas termelétricas [1]. Desta forma, dominar o conhecimento dos processos de combustão é extremamente importante, pois através destes processos, pode-se definir parâmetros de operação, calcular o consumo de combustíveis e quantificar as emissões de gases poluentes em turbinas a gás.

Os gases de exaustão, proveniente de turbinas a gás *Heavy Duty*, possuem em sua composição o monóxido de carbono (CO) e os óxidos de nitrogênio (NO_x) [2]. Os óxidos de nitrogênio presentes no processo de combustão das turbinas a gás são majoritariamente o óxido nítrico NO e o dióxido de nitrogênio NO₂, comumente referidos por NO_x que possuem três processos de formação sendo NO_x térmico, NO_x combustível e NO_x imediato [3]. O NO_x é um gás altamente poluente e tóxico, podendo causar danos à saúde [4] e [5]. Uma das tecnologias para reduzir as emissões de NO_x tecnologia é o *dry-low emissions*, que consiste em manter a combustão em temperaturas abaixo de 1600K, impedindo a formação do NO_x térmico. No entanto, o monóxido de carbono (CO), outro poluente resultante da combustão, aumenta sua formação em temperaturas mais baixas. O CO é um gás incolor, inodoro e tóxico formado quando a combustão é incompleta, ou seja, quando o oxigênio fornecido a combustão é insuficiente [6]. Devido a estes fatores, as emissões de NO_x e CO são regulamentadas por lei no Brasil pelo CONAMA [7]. Logo, o desenvolvimento de métodos para predição dos gases de exaustão de turbinas a gás visa auxiliar na geração de esforços para que haja uma gestão ambiental de resíduos eficiente, responsável e rentável, sendo de suma importância para o setor de geração termelétrica.

Na literatura, previsões de NO_x e CO normalmente são realizadas utilizando modelos matemáticos encontrados por princípios físicos e simulação computacional.

Uma destas abordagens é utilizar a teoria de Cadeias de Reatores Químicos (CRQ) com *softwares* de simulação como o CHEMIKIN [8] em conjunto com softwares de fluidodinâmica computacional (CFD) [9]. A simulação da combustão envolve a resolução de muitas equações diferenciais parciais advindas das leis físico-químicas do sistema como conservação de massa global, momento, cinética química etc., no entanto, isto exige um alto custo computacional. A simulação por CRQ consiste em utilizar modelos matemáticos de componentes idealizados de um processo químico contínuo como o Reator Perfeitamente Agitado (RPA) e o Reator de Escoamento Uniforme (REU). A ênfase da modelagem e simulação do processo da combustão é dado a cinética química sendo a fluidodinâmica do sistema simplificada [10]. Além de utilizar softwares de simulação que possuem *solvers* contendo o equacionamento, é necessário conhecimento de parâmetros específicos do sistema, os quais nem sempre estão disponíveis. Em identificação de sistemas esta diretriz pode ser classificada com uma modelagem do tipo caixa branca, ou seja, o modelo matemático é baseado majoritariamente nas leis físicas que regem o processo. Outra abordagem é a modelagem caixa preta que utiliza dados adquiridos diretamente da entradas e saídas do processo para encontrar modelos matemáticos que os relacione sem seguir obrigatoriamente as leis da física. Embora os modelos encontrados por esta abordagem não possam explicar as características físicas do sistema, eles conseguem representar a dinâmica da planta de forma precisa e satisfatória. A identificação de sistemas utilizando inteligência computacional é do tipo caixa preta e suas técnicas já foram utilizadas para prever emissões de turbinas a gás como máquinas de vetores suporte [11] e redes neuro-fuzzy [12] apresentando bons resultados.

A justificativa em utilizar técnicas de inteligência computacional está no fato de que a teoria clássica de identificação de sistemas é baseada em modelos lineares de entrada e saída (SISO, *single input single output*) e requerem que o sinal de entrada seja pré-determinado com a característica de excitação persistente para a estimação dos parâmetros do modelo [13]. No entanto, os fenômenos que ocorrem em uma turbina a gás são complexos (alta não linearidade), envolvendo muitas variáveis (MIMO, *Multiple Inputs Multiple Output*) e não é possível realizar testes controlados com entradas que possuem a característica de excitação persistente na turbina. Logo, o uso das técnicas de inteligência computacional é justificado, pois conseguem lidar com estas características e limitações. Além disso, a teoria por trás das técnicas de inteligência computacional como redes neurais, lógica nebulosa e otimização meta-heurística no contexto da identificação de sistemas também já está bem desenvolvida [14]. Sendo assim, o objetivo de utilizar tais técnicas era encontrar modelos matemáticos não lineares do tipo MISO (*Multiple Inputs Single Output*) que fossem capazes de reproduzir a dinâmica do sistema com o intuito de prever as emissões de NO_x e CO.

A metodologia utilizada para realizar a identificação consistiu em duas etapas principais. A primeira buscou-se encontrar as entradas mais correlacionadas com o comportamento do NO_x e CO utilizando algoritmos para extração de padrões como

regressão sequencial com mínimos quadrados ortogonal (*Forward Regression Orthogonal Least Squares*, FROLS) [14] e análise de componentes principais (*Principal Component Analysis*, PCA) [13].

O objetivo desta etapa era manter a dimensionalidade dos modelos baixa (menor número de entradas) e embora não explicitamente, tentar encontrar relações de causalidade entre as entradas selecionadas pelos algoritmos e as saídas, com base em conhecimentos prévios sobre a turbina. A segunda etapa consistiu em aplicar as técnicas de inteligência computacional para encontrar os modelos matemáticos que relacionassem as emissões de NOx e CO com as entradas selecionadas. Nesta etapa aplicou-se redes neurais como a RBF (RNA de função de base radial), redes neuro-fuzzy e otimização multiobjectivo. A qualidade dos modelos foi mensurada utilizando critérios de seleção como o MAPE (Erro absoluto médio percentual) e validação cruzada.

O trabalho está organizado da seguinte maneira. Na seção 2 é apresentada uma breve explicação sobre o comportamento da turbina e sua disposição física. Na seção 3 as técnicas de inteligência computacional são apresentadas de forma simplificada. Nas seções 4 e 5 os resultados e a conclusão são expostos respectivamente.

2 | DESCRIÇÃO FÍSICA DA TURBINA A GÁS UTILIZADA

A turbina a gás utilizada para estudo neste trabalho é do tipo *Heavy Duty* com baixa emissão de poluentes (*Dry low emissions*) e faz parte de uma usina termoeletrica composta por duas turbinas a gás e uma a vapor em ciclo combinado. Ela pode produzir 160MW de potência a 37% de eficiência em ciclo simples e 240MW com eficiência de 54% a ciclo combinado. Ela pode ser representada de forma simplificada por um compressor, câmara de combustão e turbina como mostrado na Figura 1.

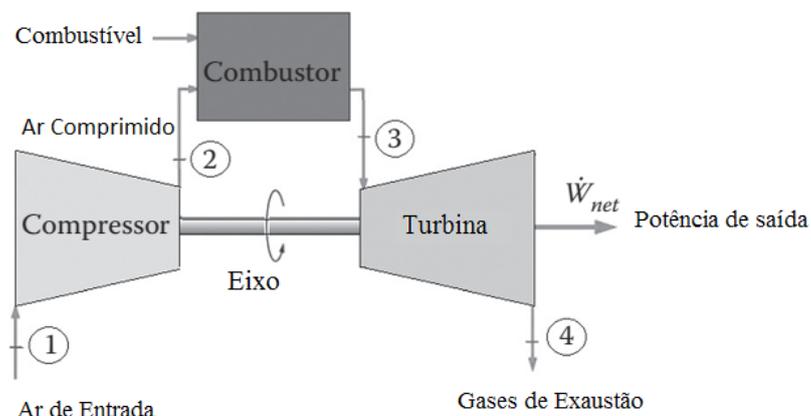


Figura 1 - Modelo físico simplificado de uma turbina a gás [15].

O compressor da turbina é do tipo axial e possui 16 estágios (conjuntos de palhetas) montados sobre um único eixo, garantindo para regimes diferentes pressões e vazões

constantes. O ar entra no compressor pelo sistema de admissão em forma de sino que possui alta eficiência aerodinâmica. Na entrada de ar, o compressor possui palhetas diretoras variáveis (*Inlet Guide Vane – IGV*) que controlam a vazão de entrada de ar impedindo perdas. Além disso, existem sangrias de ar comprimido, no sexto, décimo e décimo terceiro estágio que são utilizados na turbina para resfriamento. O ar sai do compressor e entra na descarga do compressor que então internamente direciona ao conjunto de 16 combustores. Os combustores são câmeras cilíndricas, onde a queima é realizada no bocal de entrada. Os combustores para baixa emissões de poluente utilizam um mecanismo de pré-mistura antes da ignição, fazendo assim com que a temperatura da queima seja mais baixa. Na saída dos combustores, os gases quentes são direcionados para a palhetas da turbina pela peça de transição. A expansão dos gases faz a turbina girar aplicando torque ao eixo e os gases residuais saem pelo sistema de exaustão. Mais considerações como modelagem e funcionamento sobre a turbina a gás utilizada e turbinas a gás em geral podem ser encontradas em [16].

3 | TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

O ramo da inteligência computacional é uma subárea da inteligência artificial onde um computador aprende determinados padrões e comportamentos através da análise de dados. Geralmente as técnicas utilizadas em inteligência computacional são baseadas em fenômenos naturais como a seleção natural. Elas são aplicadas para resolver problemas complexos onde a modelagem matemática tradicional se torna complicada na análise, pois os problemas podem possuir várias incertezas, possuir comportamento aleatório (estocásticos) ou pela dificuldade de colocar o comportamento do sistema em termos matemáticos precisos. As técnicas buscam utilizar maneiras semelhantes ao raciocínio humano, ou seja, conhecimento inexato e que geram decisões que se adaptam. Neste trabalho as principais técnicas utilizadas foram as redes neurais artificiais, a lógica fuzzy e a otimização meta-heurística. Nas próximas seções é apresentado de maneira simplificada o funcionamento de cada uma delas [17].

3.1 Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. Podem ser utilizadas para problemas de classificação, regressão e agrupamento de dados. A estrutura fundamental de uma rede neural é o neurônio. O neurônio em uma rede neural é um modelo matemático que busca imitar a função de um neurônio biológico. Em um neurônio biológico as informações recebidas são um somatório de entradas captadas pelos dendritos, ponderadas pelos pesos sinápticos e aplicadas a uma transformação linear ou não

linear. O resultado desta transformação (saída) é transmitido pelos axônios. Na Figura 2 uma representação do neurônio biológico e seu modelo matemático são mostrados, em que x_n são as entradas, θ_m os pesos sinápticos, $f(\cdot)$ é a função de mapeamento ou ativação e y a saída [18].

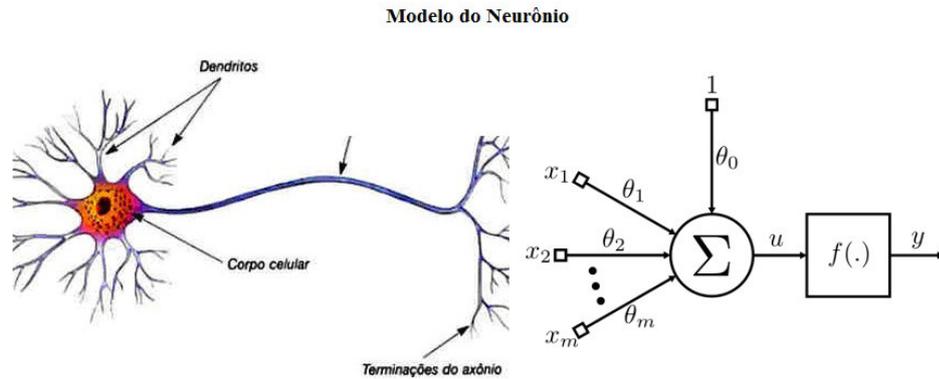


Figura 2 - Neurônio biológico e modelo matemático [18].

As RNAs são formadas por camadas de neurônios interligadas umas às outras, sendo elas a camada de entrada, camadas ocultas e camadas de saída. Elas podem ser classificadas de diversas maneiras, principalmente pelo fluxo de sinal e pelo tipo de função de ativação utilizado na rede. O fluxo de sinal da rede define se a rede é *feedforward*, onde o sinal “flui” apenas da entrada para a saída, ou se a rede é recorrente (*feedback*), onde o sinal flui tanto da entrada para a saída quanto vice-versa. Redes recorrentes são dinâmicas (dependem dos valores das entradas e saídas atuais e passadas do sistema) e redes *feedforward* são estáticas (dependem apenas dos valores atuais das entradas).

As funções de ativação também são importantes no comportamento da rede. Redes *multilayer perceptron* (MLP) majoritariamente utilizam funções sigmóides e tangente hiperbólicas para modelarem comportamentos não lineares. Redes de função de base radial utilizam funções como a Gaussiana, que podem ser caracterizadas por dois parâmetros, o centro (média na Gaussiana) e o raio (variância ou desvio padrão na Gaussiana).

3.2 Sistemas nebulosos e lógica fuzzy

A lógica Fuzzy ou lógica nebulosa é uma teoria para lidar com incertezas, diferente da teoria da probabilidade e da lógica binária. A lógica Fuzzy lida com incertezas no conceito de “meias verdades”, onde algo pode ser completamente falso ou verdadeiro, mas também possui valores intermediários. Um exemplo entre como a probabilidade e lógica Fuzzy diferem para considerar incertezas é dado abaixo:

- Probabilidade – “Grau de crença” ou o quão se acredita que algo irá ocorrer. Se $P(A) = 80\%$, logo se acredita que a cada 10 ocorrências de um experimento,

onde o espaço amostral possui A como um evento, 8 vezes o evento A ocorrerá.

- Lógica Fuzzy – “Grau de verdade” ou o quão verdadeiro é algo.

Dado a afirmação, “X é uma pessoa alta”, considerando que X possui 1.70m, o quão verdadeiro é esta afirmação.

No exemplo de lógica fuzzy, a incerteza não está na altura de X (já que ela é conhecida), mas no significado linguístico de “alto”. Sendo assim, percebe-se que a lógica fuzzy trata-se de como modelar conceitos vagos e não incertezas como na teoria da probabilidade. Como apresentado, a teoria nebulosa lida com conceitos onde seus significados não são totalmente definidos, ou seja, fazem parte de conjuntos nebulosos. As duas definições importantes da lógica nebulosa são:

- Variável linguística – Conceito a ser tratado pela lógica Fuzzy.
- Ex: Temperatura
- Termos primários – caracterizam o conceito.
- Ex: Frio e Muito Quente
- Universo de discurso – Intervalo a ser estudado.
- Ex: 10° a 40°
- Regras Nebulosas – As regras nebulosas são a base de decisão da lógica Fuzzy.
 - ◇ Representam regras para inferir sobre o fenômeno estudado. O conjunto de regras forma a base de conhecimento. Exemplo, “**Se** a temperatura está alta e continua aumentando, **então** ligue um pouco o refrigerador”. As regras nebulosas podem ser construídas pelo conhecimento de um especialista sobre o sistema ou por algoritmos que as criam automaticamente utilizando dados.

A modelagem Fuzzy é definida em três etapas a Fuzzyficação, a Inferência e a Defuzzyficação. A Fuzzyficação consiste em transformar valores numéricos em valores “linguísticos” por funções de pertinência. Existem várias funções de pertinência como triangular, *singleton*, trapezoidal entre outras. A Inferência consiste no mecanismo que define quais regras do banco de regras foram ativadas utilizando da teoria de conjuntos nebulosos. A Defuzzyficação transforma os valores gerados pela inferência em valores numéricos reais novamente, por exemplo utilizando a fórmula do centro de massa. A Figura 3 sumariza os processos de Fuzzyficação, Inferência e Defuzzyficação e apresenta a estrutura de um modelo Fuzzy, conhecido por modelo de Mamdani [19]. Para aplicações da lógica Fuzzy a modelagem de sistema e um tratamento matemático mais rigoroso o leitor é direcionado a [20].

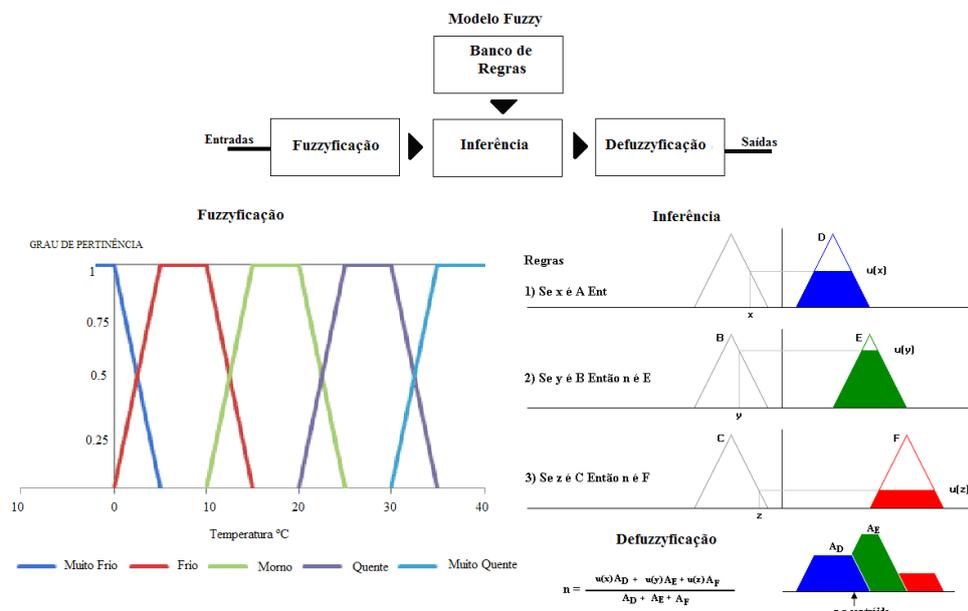


Figura 3 – Fuzzyficação, Inferência e Defuzzyficação.

4 | RESULTADOS

Nesta seção são apresentadas as técnicas de identificação aplicadas ao problema, bem como seus respectivos parâmetros, a configuração experimental e os modelos caixa-preta obtidos no processo.

4.1 Parametrização da identificação

Os modelos caixa-preta obtidos na presente pesquisa podem ser definidos como *Multi-Input Single-Output* (MISO) preditivos e não auto regressivos, uma vez que os valores estimados não dependem de seus próprios valores estimados anteriormente e o atraso mínimo permitido para as entradas é 60 (um minuto). Os regressores são re-amostrados a cada cinco segundos e o número máximo de atrasos permitido para as entradas é igual a 20. Portanto, as amostras das entradas consideradas para os modelos variam de $k-60$ até $k-160$.

As entradas dos modelos foram selecionadas de acordo com o algoritmo de regressão sequencial com mínimos quadrados ortogonal (FROLS). Os FROLS é uma técnica utilizada em regressão linear e não linear capaz de selecionar os regressores (entradas) que mais influenciam a saída. A ideia do FROLS é transformar um conjunto de dados de entradas em uma base ortogonal, ou seja, o produto interno entre dois vetores diferentes da base é igual zero. Se dois regressores são ortogonais, eles não possuem correlação (interdependência nula), logo o algoritmo descarta regressores redundantes automaticamente. Além disso o algoritmo conta com critérios de parada que dão maior peso de importância a modelos de ordem reduzida. Desta maneira, mantém-se a parcimônia (baixa dimensionalidade) e maior capacidade de generalização do modelo, evitando *overfitting* [14].

Para a avaliação dos resultados foram empregados o Erro Médio Quadrado (MSE – *Mean Squared Error*) e o Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE – *Mean Absolute Percentual Error*), bem como o tempo de treinamento das técnicas. Vale observar que a máquina usada para as simulações estava sendo usada para outras tarefas durante o processo e as configurações da mesma são processador Intel Core i7 2.93GHz, 10GB de RAM, 1333MHz e sistema operacional 64 bits.

4.2 Parametrização das técnicas

Na presente pesquisa foram empregadas as Redes Neurais Artificiais (RNA) Perceptron Multicamadas (MLP – *Multi-Layer Perceptron*) com função de ativação tangente sigmoide e treinamento por meio do algoritmo Levenberg-Marquardt (LM) [21], Mínimos Quadrados (MQ) e uma rede neural nebulosa Fuzzy clusterizada usando Fuzzy *c-means* [22] e com pesos treinados por meio da pseudo-inversa de Moore-Penrose [23]. As redes MLP e Fuzzy foram configuradas com cinco neurônios, sendo que foram executadas 100 iterações com $Mu = 1e-3$ para o algoritmo LM e 50 iterações com critério de parada $1e-3$ para a rede Fuzzy. O treinamento e validação das técnicas foi realizado utilizando 90% dos dados para treinamento e 10 % para validação (A partir da amostra 13500).

4.3 Modelos caixa-preta obtidos

A Figura 4 é o comportamento da potência fornecida pela turbina. Analisando a Figura 4 e as Figuras 5 e 6, percebe-se a influência da potência nas emissões, especialmente que as emissões possuem os maiores valores na faixa de maior potência.

O comportamento do NOX e do CO encontrados pelas técnicas são apresentados nas Figuras 5 e 6. Analisando os dados da Tabela 1 e Tabela 2 observa-se que todas as técnicas apresentaram MSE e MAPE baixos. No entanto, as técnicas com os menores índices de desempenho também apresentam maior tempo de treinamento. Cada técnica utilizada consegue capturar informações diferentes dos dados. Sendo assim, optou-se por combinar os resultados para se obter uma estimação melhor e mais robusta através de uma combinação linear pela pseudo-inversa. O MSE e MAPE para o NOx e CO da combinação linear também são apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2. Para o CO, a combinação linear apresentou um MAPE um pouco maior, no entanto, isso é devido ao comportamento variável dos dados medidos. O tempo de treinamento da combinação linear é próximo ao do mínimos quadrados.

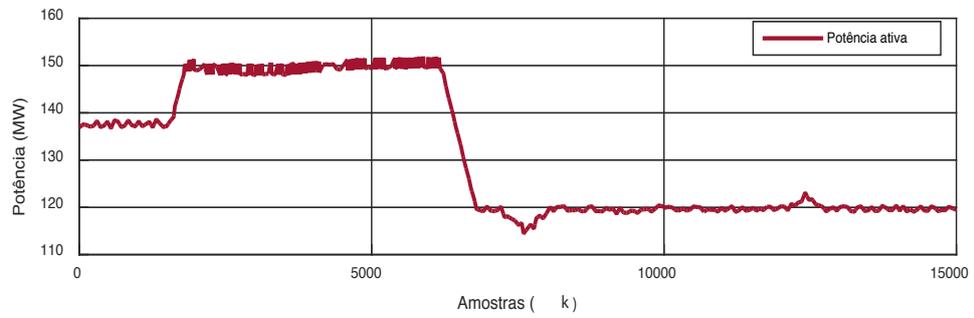


Figura 4 - Gráfico de potência ativa proveniente de uma turbina a gás.

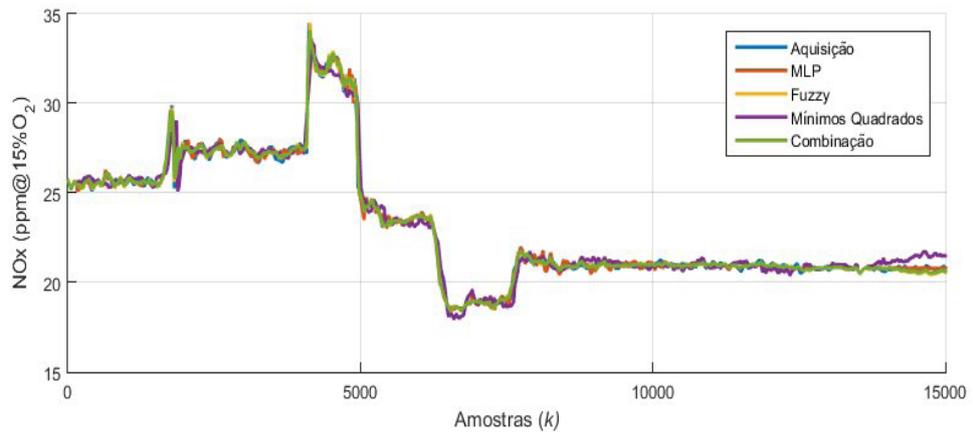


Figura 5 - Comportamento NOx medido (Aquisição) e previsto.

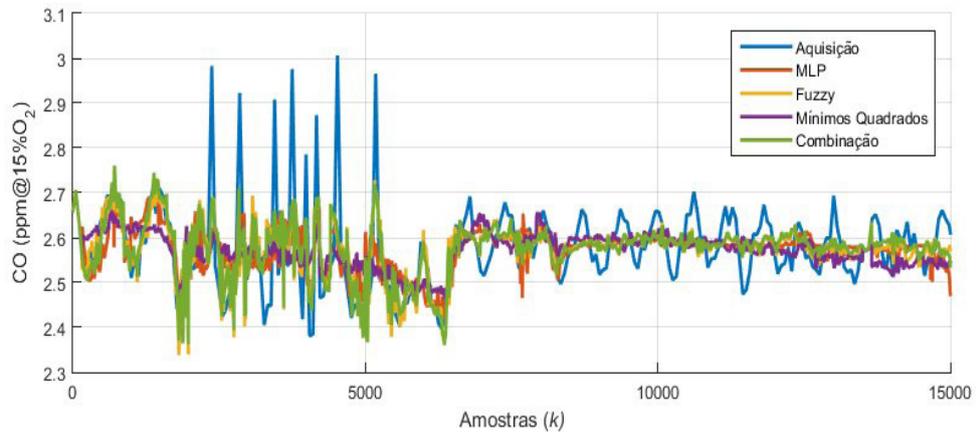


Figura 6 - Comportamento CO medido (Aquisição) e previsto.

	NOX	Treinamento		Validação		Tempo de treinamento (s)
		MSE	MAPE	MSE	MAPE	
Técnicas	MLP	0,053784	0,645617	0,007186	0,344745	75,655
	Fuzzy	0,023957	0,423909	0,034220	0,740898	45,271
	Mínimos Quadrados	0,223066	1,228305	0,331057	2,541021	0,0310
	Combinação	0,021322	0,418856			

Tabela 1 - Resultados NOX.

CO		Treinamento		Validação		Tempo de treinamento (s)
		MSE	MAPE	MSE	MAPE	
Técnicas	MLP	0,005041	2,010646	0,002783	1,624286	75,695
	Fuzzy	0,004051	1,721883	0,002176	1,470618	44,148
	Mínimos Quadrados	0,006034	2,138376	0,004146	2,032666	0,0160
	Combinação	0,003623	1,674294			

Tabela 2 - Resultados CO.

5 | CONCLUSÃO

O trabalho demonstrou a capacidade das técnicas de inteligência computacional em mapear comportamentos complexos e poderem ser usadas para previsão e simulações computacionais das emissões de NOx e CO de uma turbina a gás *Heavy Duty*. Demonstrou-se ainda que é possível combiná-las para se obter resultados mais robustos e satisfatórios mesmo na presença de ruídos e outros fenômenos aleatórios nos dados. O futuro da pesquisa buscará tornar o sistema adaptativo buscando acrescentar mudanças que acontecem na dinâmica do sistema a estimação. Isto pode ser feito implementando algoritmos de estimação recursiva como o filtro de Kalman ou o estimador de mínimos quadrados recursivos para estimar os pesos da combinação linear das técnicas *online*.

REFERÊNCIAS

- [1] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim gás natural**. Dezembro de 2016. http://www.mme.gov.br/documents/1138769/1732803/Boletim_Gas_Natural_nr_118_DEZ_16.pdf/bc508598-e8dd-4bfb-abda-400d0fd10e02 Acessado em: 17/02/2017 – 17:05h
- [2] LIEUWEN, T. C., & YANG, V. (2013). **Gas turbine emissions**. Cambridge, United Kingdom.
- [3] MAFRA, M. R. (2000). **Estudo da influência do número de rotação na formação de NOx em uma câmara de combustão cilíndrica**. São Paulo, Brasil.
- [4] CASTANAS, E., & CAMPA, M. (2007). **Human health effects of air pollution**. Heraklion, Grécia.
- [5] HWANG, B.-F., JAAKKOLA, J. J., LEE, Y.-L., LIN, Y.-C., & GUO, Y.-L. L. (2006). **Relation between air pollution and allergic rhinitis in Taiwanese schoolchildren**.
- [6] RAUB, J. (s.d.). **Inter-Organization program for the sound management of chemicals – Carbon monoxide**.
- [7] CONAMA (2012). **Ministério do meio ambiente**. Governo do Brasil.
- [8] PARK, J., NGUYEN, T. H., JOUNG, D., & LEE, M. C. (2013). **Predction of NOx and CO emissions from and industrial lean premixed gas turbine combustor using reactor network model**.
- [9] HAO, N. T., & JUNGKYU, P. (2013). **CRN application to predict the NOx emissions for industrial gas chamber**. Seoul, Korea.

- [10] JUNIOR, A. R. (2012). **Modelagem da combustão de gás natural em um queimador industrial utilizando cadeia de reatores químicos**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, Brasil.
- [11] IDZWAN , S. B., PHING, C. C., & KIONG, T. S. (2014). **Prediction Of NOx using support vector for gas turbine emissions at Putrajaya power station**. Kajang, Malasya.
- [12] OH, S.-K., PEDRYCZ, W., & PARK, H.-S. (2007). **Fuzzy relation-based neural networks and their hybrid identification**.
- [13] TANGIRALA, A. K. (2014). **Principles of system identification: theory and practice**.
- [14] NEIL, O. (2001). **Nonlinear system identification from classical approaches to neural networks and fuzzy models**.
- [15] ASGARI, H. & CHEN, X. (2015). **Gas turbines modeling, simulation and control: using artificial neural networks**.
- [16] BOYCE, M. P. (2012). **Gas turbine engineering handbook**.
- [17] SIDDIQUE, N. & ADELI, H. (2013). **Computational intelligence: synergies of fuzzy Logic, neural networks and evolutionary computing**.
- [18] HU, Y. H., & HWANG, J. N. (2001). **Handbook of neural networks signal processing**.
- [19] MAMDANI, E. H. (1974). **Aplication of fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant**.
- [20] ROSS, T. J. (2007). **Fuzzy logic: with engineering Applications**.
- [21] MARQUARDT, DONALD (1963). **An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters**. *SIAM Journal on Applied Mathematics*.
- [22] BEZDEK, JAMES C. (1981). **Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms**.
- [23] MOORE, E. H. (1920). **On the reciprocal of the general algebraic matrix**. *Bulletin of the American Mathematical Society*.

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

Universidade Federal do Pará
Belém – PA

Fernando de Souza Brasil

Eletronorte/Faci Wyden
Belém – PA

Bárbara Medeiros Campos

Eletronorte
Belém – PA

Maria Emília de Lima Tostes

Universidade Federal do Pará
Belém – PA

Jorge Augusto Siqueira Tostes

Eletronorte
Belém – PA

Paulo Roberto Moutinho de Vilhena

Eletronorte
Belém – PA

RESUMO: A umidade desempenha um papel crucial no estado do dielétrico de equipamentos de alta tensão, visto que ela pode acelerar o processo de envelhecimento da isolação, por conseguinte comprometendo assim todo o equipamento.

O presente trabalho aborda algumas das principais técnicas utilizadas na Eletronorte, para avaliação da qualidade da celulose e óleo isolante. As considerações teóricas são acompanhadas pela apresentação

de dois estudos de caso em transformador de potência e bucha capacitiva, onde são abordados resultados de ensaios de Resposta do Dielétrico em conjunto a outros ensaios de rotina realizados nesta empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Testes e Ensaios, Resposta do Dielétrico, Umidade, Manutenção Preditiva, Subestação.

ABSTRACT: Humidity plays a crucial role in the state of the high voltage dielectric, since it can accelerate the aging process of the insulation, thus compromising all equipment.

The present work addresses some of the main techniques used in Eletronorte in order to evaluate the quality of the cellulose and the insulating oil. Theoretical considerations are presented together with two case studies on potential transformer and capacitive bushing. This paper presents the Dielectric Response test results with other routine tests, which are performed in that company.

KEYWORDS: Tests, Dielectric Response, Humidity, Predictive Maintenance, Substation.

1 | INTRODUÇÃO

Diante das necessidades do sistema elétrico, as atividades de manutenção tendem a migrar da manutenção preventiva para a

manutenção preditiva. Nesse sentido, técnicas como o monitoramento das condições de operação dos equipamentos, seu diagnóstico preditivo e a manutenção centrada na confiabilidade contribuem fortemente na elaboração de programas de manutenção, capazes de melhorar o desempenho e estender a vida útil dos equipamentos assim geridos.

As condições de umidade do isolamento de transformadores e buchas são um fator essencial no que se trata de vida útil e bom funcionamento do equipamento, visto que a mesma ocasiona efeitos nocivos na integridade do dielétrico, principalmente no que tange ao envelhecimento acelerado. Todavia, mensurar a quantidade de umidade presente no isolamento através de amostras de papel do isolamento, não é prático para o ponto de vista do setor elétrico. Logo, os métodos de ensaios de análise de resposta dielétrica que visam medir os efeitos da umidade nas propriedades elétricas do isolamento têm se tornado um grande aliado da manutenção preditiva. Este trabalho discute as técnicas não-invasivas para aferição de umidade no dielétrico de equipamentos de alta tensão mais utilizadas na Eletrobrás Eletronorte: Espectroscopia no Domínio da Frequência e Corrente de Polarização e Despolarização. O artigo aborda dois estudos de caso envolvendo bucha papel impregnando em resina, do inglês *resin impregnated paper* (RIP), além de transformador de potência.

2 | TÉCNICAS DE MEDIÇÃO

Atualmente, os métodos elétricos disponíveis no mercado para avaliação de umidade do dielétrico de equipamentos de subestação podem operar no domínio do tempo ou frequência, é o caso do método de correntes de polarização e despolarização (*Polarization and Depolarization Currents*, PDC) e espectroscopia no domínio da frequência (*Frequency Domain Spectroscopy*, FDS), respectivamente. O método PDC basicamente afere as correntes de polarização e despolarização do dielétrico como função do tempo, enquanto que o método FDS mede capacitância, C , e fator de perdas, $\tan \delta$, como função da frequência (INTERNATIONAL COUNCIL ON LARGE ELECTRIC SYSTEMS, 2004).

2.1 Correntes de Polarização e Despolarização (PDC)

O diagnóstico no domínio do tempo compreende principalmente o método de correntes de polarização e despolarização. Inicialmente, a memória dielétrica do objeto a ser ensaiado deve ser descarregada, então, aplica-se um degrau de tensão U , este deve ser livre de qualquer ripple ou ruído, no tempo t_0 . Durante o tempo de aplicação de tensão, a corrente i é medida, a qual advém do processo de polarização com diferentes constantes de tempo correspondentes a diferentes materiais isolantes e à condutividade do objeto em teste. A tensão é então removida no instante t_1 e o equipamento é curto-circuitado imediatamente, possibilitando assim a aferição da corrente de despolarização. A Figura 1 representa os fenômenos de correntes de

polarização e despolarização (JOSHI, 2012).

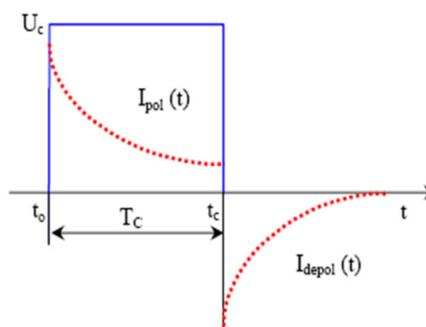


FIGURA 1: Correntes de Polarização e Despolarização (retirado de (JOSHI, 2012).)

O diagnóstico PDC é um método não-destrutivo capaz de fornecer informações confiáveis sobre o estado do dielétrico de equipamentos de alta tensão, tanto sobre o teor de umidade da isolação sólida como as condutividades do óleo e papel. Além disso, fornece um diagnóstico muito rápido e preciso em baixas frequências (JOSHI, 2012).

2.2 Espectroscopia no Domínio da Frequência (FDS)

A espectroscopia no domínio da frequência é um outro método para o estudo do fenômeno de polarização. Trata-se de um teste ac, onde se mede o fator de perdas ($\tan \delta$) e capacitância complexa dos componentes do dielétrico em função da frequência (ACHMAD, 2015). Geralmente, o FDS opera na banda de 1 mHz a 1 kHz, isto é, a medição ocorre em uma faixa de frequências (JOSHI, 2012)..Energiza-se o dielétrico com tensão senoidal e mede-se a corrente que passa por ele, a impedância é então calculada:

$$Z^*(\omega) = \frac{U^*(\omega)}{I^*(\omega)} \quad (1)$$

Assumindo que o objeto ensaiado pode ser representado por uma capacitância complexa, têm-se:

$$I^*(\omega) = j\omega C^*(\omega) \cdot U^*(\omega) \quad (2)$$

$$C^*(\omega) = C'(\omega) - jC''(\omega) \quad (3)$$

C' e C'' representam a capacitância complexa, onde a parte real indica a componente capacitiva e a imaginária, as perdas da isolação (WANG, 2010). Pode-se também relacionar capacitância com permissividade complexa ϵ^* :

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon'(\omega) - j\epsilon''(\omega) = \frac{C^*(\omega)}{C_0} \quad (4)$$

Onde C_0 é a capacitância geométrica do dielétrico. Finalmente, calcula-se o fator de perdas por:

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''(\omega)}{\varepsilon'(\omega)} = \frac{C''(\omega)}{C'(\omega)} \quad (5)$$

2.3 PDC & FDS

Quando combinados, os testes PDC e FDS reduzem significativamente o tempo de ensaio se comparadas às duas técnicas executadas separadamente, visto que as medidas no domínio do tempo podem ser realizadas em curto tempo, mas são limitadas a escalas baixas de frequências, geralmente abaixo de 1 Hz. Em contraste, o FDS é melhor aplicável para frequências mais altas, pois consome muito tempo quando realizado em baixas frequências. (PAULINO, 2009).

O instrumento utilizado nos ensaios para este artigo concorda os dois métodos para o ensaio de resposta do dielétrico, aquisitando assim os dados no domínio da frequência em um faixa de 5 kHz a 0,1 Hz, enquanto que do domínio do tempo de 0,1 Hz a 100 μ Hz (PAULINO, 2009). Essa instrumentação também transforma os dados no domínio do tempo para frequência para análises mais profundas. A Figura 2 mostra a forma de combinação dos dois ensaios.

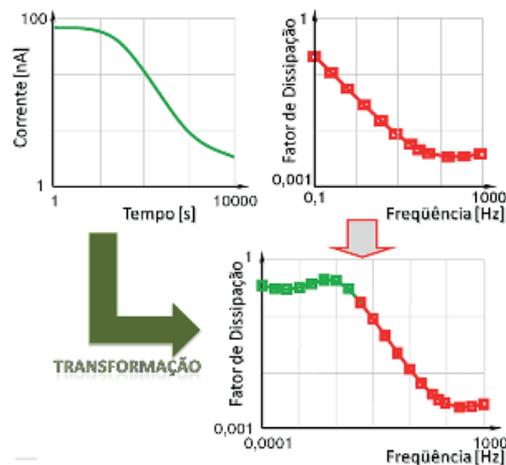


FIGURA 2: Combinação dos métodos PDC e FDS (retirado de (PAULINO, 2009).)

A ensaio de resposta do dielétrico pode reduzir o tempo de duração de uma medida para 25% do tempo de medida original quando comparado ao método FDS, como mostrado na Figura 3. Por exemplo, os dados com medidas de 1 kHz para valores inferiores a 0,1 mHz tipicamente necessitam de cerca de 11 horas para uma medida no domínio frequência, mas com a aplicação do procedimento e equipamento proposto, essa medida dura menos de 3 horas. Os resultados da medida de corrente de polarização e despolarização levará 5,5 h para serem obtidas para o range de 1 s até 10000 s, o que corresponde a 1 Hz a 0,1 mHz. (PAULINO, 2009).

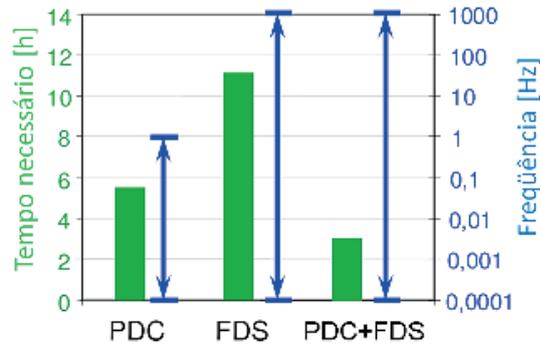


FIGURA 3: Duração do ensaio para diferentes escalas de frequência (adaptado de (PAULINO, 2009))

3 | ESTRUTURA DO DIELÉTRICO E CONEXÕES

3.1 Transformadores de Potência

A Figura 4 demonstra a isolamento elétrica de um transformador de potência. No ensaio de resposta do dielétrico, o instrumento aplica tensão no enrolamento de alta tensão, logo, uma corrente flui no sentido do enrolamento de baixa tensão, voltando assim para o instrumento, como indicado na Figura 5. O instrumento faz aquisição de condutividade do óleo e celulose, e do efeito de polarização interfacial, os quais dependem da geometria e composição do dielétrico (PAULINO, 2010).

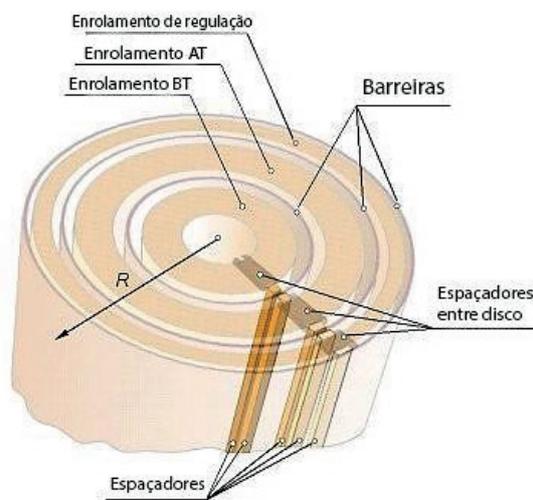


FIGURA 4: Isolação de um transformador de potência (retirado de (PAULINO, 2010))

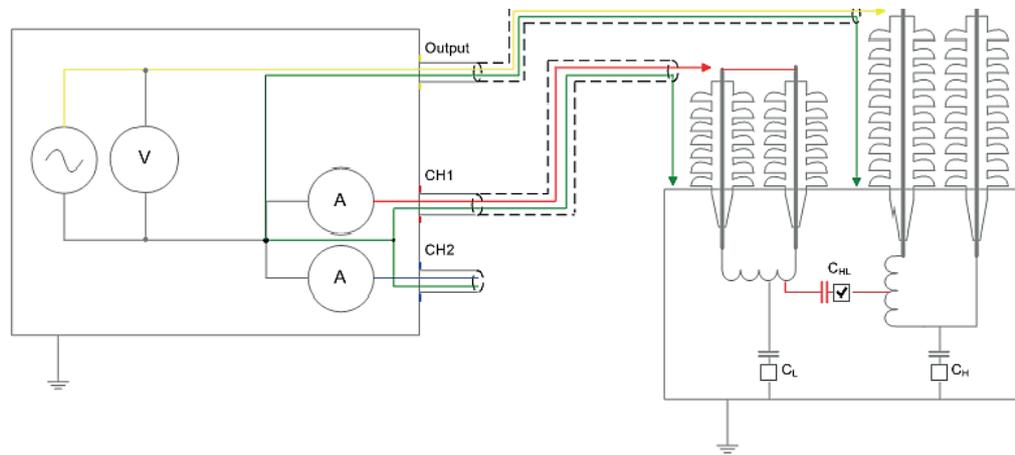


FIGURA 5: Esquema de conexões para ensaio em transformador de dois enrolamentos

3.2 Buchas RIP

As buchas papel impregnando em resina, do inglês “resin impregnated paper” (RIP), são feitas de um núcleo impregnado de resina. O núcleo é envolto em um isolador de porcelana ou silício para uma construção completamente seca. As descargas parciais raramente ocorrem para buchas RIP, mas elas podem causar um aumento da capacitância (OMICRON, 2016). A Figura 6 apresenta um diagrama de construção de buchas, onde é possível visualizar as várias capacitâncias provenientes do papel enrolado ao redor do condutor central. A Figura 7 apresenta o diagrama para conexões do circuito.

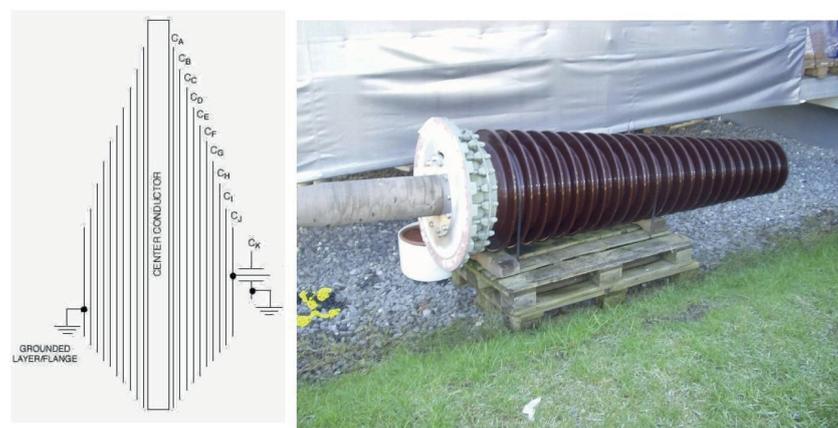


FIGURA 6: Dielétrico de uma bucha RIP à esquerda e exemplo de bucha RIP à direita (retirado de (OMICRON, 2016))

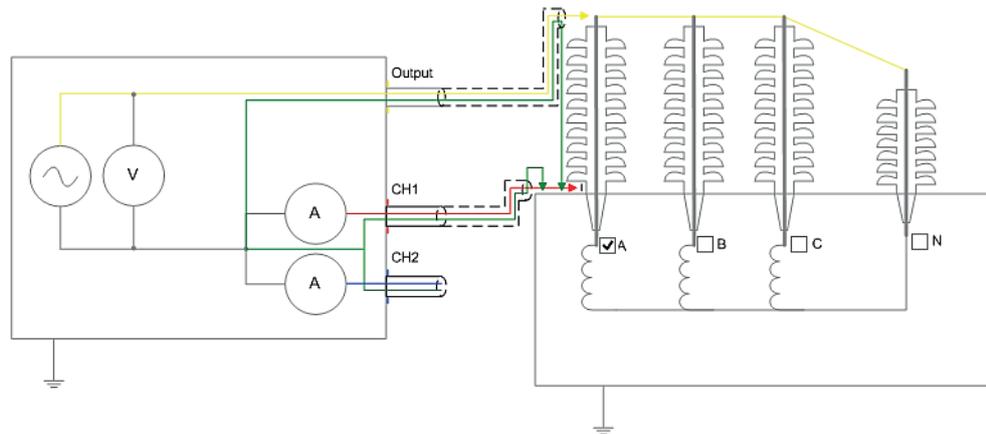


FIGURA 7: Esquema de conexões para ensaio em bucha

4 | ANÁLISE DA RESPOSTA DIELÉTRICA

A umidade influencia diretamente na aferição de grandezas dielétricas, tanto em baixas como altas frequências, como é o caso de: fator de perdas, capacitância e correntes de polarização e despolarização. É sabido que ao se variar a frequência, o fator de perdas apresenta um gráfico em formato de ‘S’ como mostrado na Figura 8 (PAULINO, 2010).

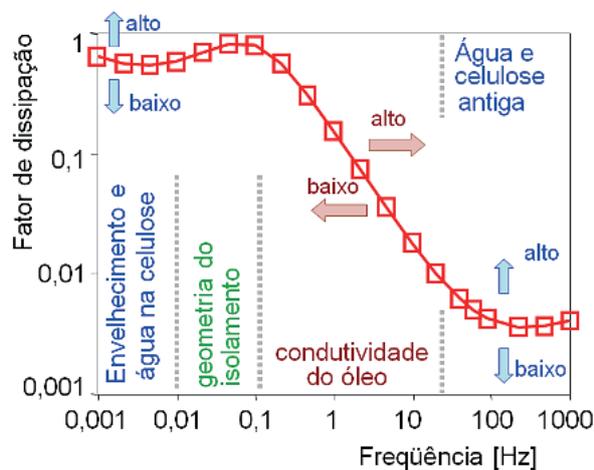


FIGURA 8: Interpretação dielétrica da curva de resposta na frequência (retirado de (PAULINO, 2010).)

A partir da Figura 8, observa-se que a parte do gráfico referentes aos menores valores de frequência, correspondem às condições e propriedades do isolamento sólido do objeto teste. Antes do decaimento contínuo do fator de dissipação são registradas as condições da geometria do isolamento. Essas condições determinam uma elevação à esquerda do registro da condutividade do óleo. A parte central do gráfico, onde há uma rápida variação de valores (rampa para baixo), refe-se à condutividade do óleo (PAULINO, 2010).

5 | MODELO PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

A determinação da umidade baseia-se numa comparação da resposta dielétrica obtida no ensaio com modelos de resposta dielétrica padrão localizadas em um banco de dados do instrumento responsável pelo teste. O banco de dados já mencionado, constitui-se de medições em várias temperaturas, conteúdos de umidade e óleos utilizados para impregnação. Finalmente, o gráfico de saída é rearranjado por meio de um algoritmo (PAULINO, 2010).

Inicialmente, a temperatura do isolamento, proveniente da resposta dielétrica é adquirida, onde então pode-se calcular a permissividade. Para modelagem, é utilizado o modelo XY (Figura 9), este combina valores de permissividade do papel com a permissividade complexa (referente ao óleo). Logo, têm-se o cálculo para a resposta dielétrica do isolamento linear e multicamada, onde X se refere aos valores relativos a barras no óleo e Y aos valores relativos aos espaçadores no óleo. (PAULINO, 2010).

O modelo obtido através das permissividades é então convertido para um modelo capacitivo e posteriormente comparado com a resposta dielétrica obtida. Através deste modelo capacitivo, é possível então mostrar a umidade contida na celulose e a condutibilidade do óleo. O algoritmo mencionado é demonstrado na Figura 9.

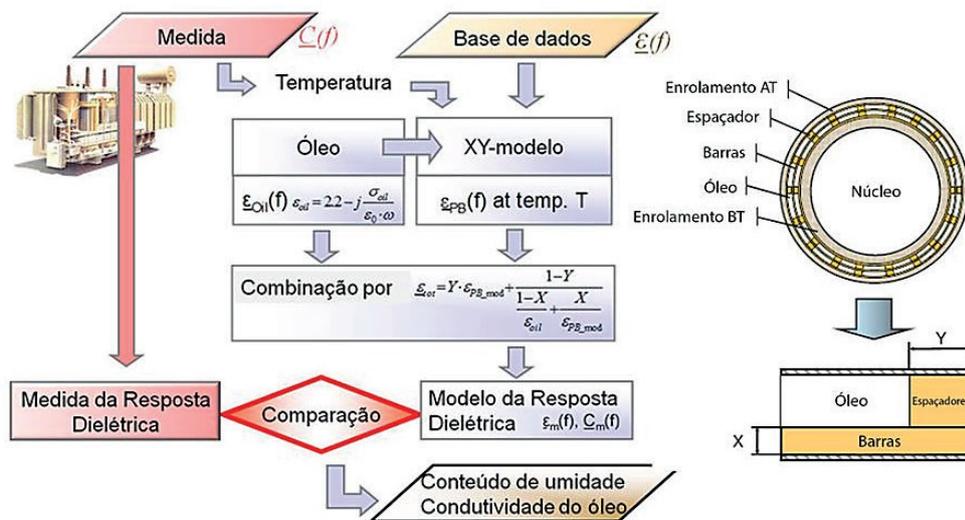


FIGURA 9: Fluxograma do algoritmo à esquerda e representação do isolamento em transformador pelo modelo XY à direita (retirado de (PAULINO, 2010))

6 | ESTUDOS DE CASO

6.1 Transformador de Potência

Este estudo de caso aborda um transformador monofásico 13,8/138 kV, sinistrado, pertencente à uma das máquinas da UHE – Coaracy Nunes, Amapá. O ensaio de resposta do dielétrico foi realizado antes e após uma manutenção no equipamento, a fim de se identificar as condições do equipamento inicialmente, bem como quão sucedida havia sido a manutenção. A manutenção foi realizada, o que incluiu retirada

do óleo para tratamento, uso de bomba de vácuo na estrutura interna do transformador e passagem de corrente no núcleo do mesmo, propiciando certa expulsão de umidade. Serão apresentados os resultados dos ensaios antes e após a manutenção ocorrida no transformador.

6.1.1 Ensaio Anterior à Manutenção

A Figura 10 apresenta o resultado do ensaio de análise de resposta do dielétrico para o isolamento CHL (capacitância entre os terminais de alta tensão e baixa tensão) do transformador em questão.

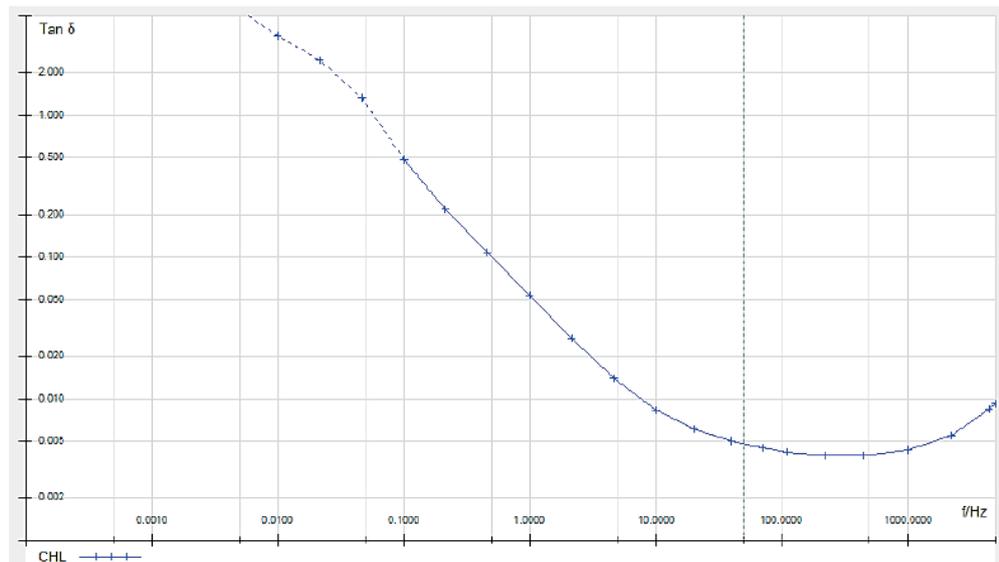


FIGURA 10: Resultado do ensaio de análise de resposta do dielétrico para o isolamento CHL do transformador antes da manutenção

A curva apresenta forma relativamente linear, conforme esperado. Quanto ao diagnóstico do ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento CHL do transformador, o resultado é apresentado na Figura 11.

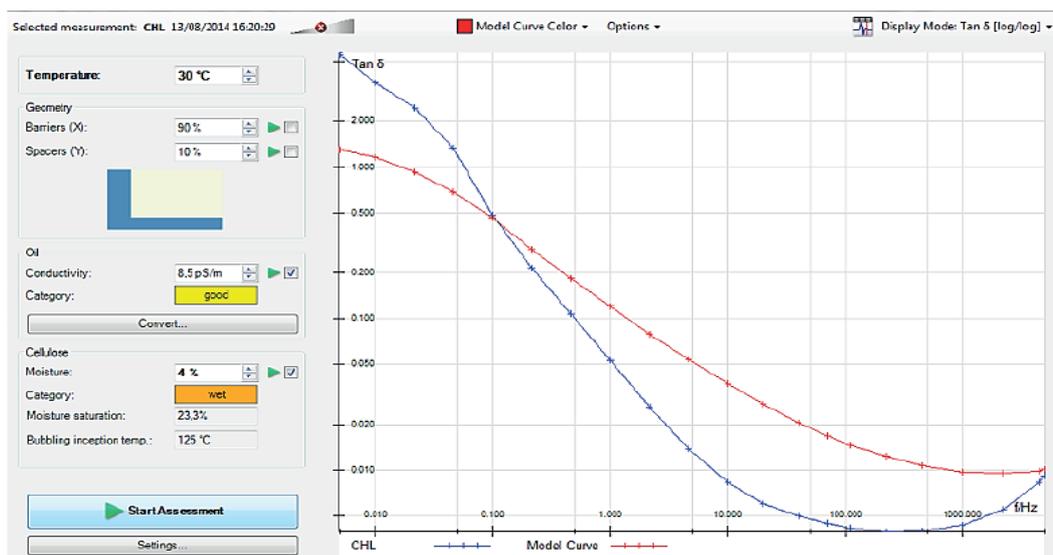


FIGURA 11: Diagnóstico do ensaio de análise de resposta do dielétrico do transformador antes da manutenção

Os resultados mostram que a curva do transformador obtidas pelo algoritmo do software do instrumento e a curva modelo (em vermelho) não ficaram próximas. O algoritmo calculou o teor de umidade no papel, obtendo o valor de 4,0 %. Tal valor está acima dos limites normais, o que fornece a avaliação de que o mesmo se encontra úmido (*wet*). Isto significa que para cada 100 kg de papel no núcleo do transformador há 4 kg de água.

O algoritmo também calculou a condutividade do óleo isolante para o transformador 8,5 pS/m, fornecendo a avaliação de bom (*good*), indicando que o óleo isolante apresenta-se com teor de umidade aceitável.

6.1.2 Ensaio Posterior à Manutenção

A Figura 12, abaixo, apresenta o resultado do ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento CHL do transformador ensaiado.

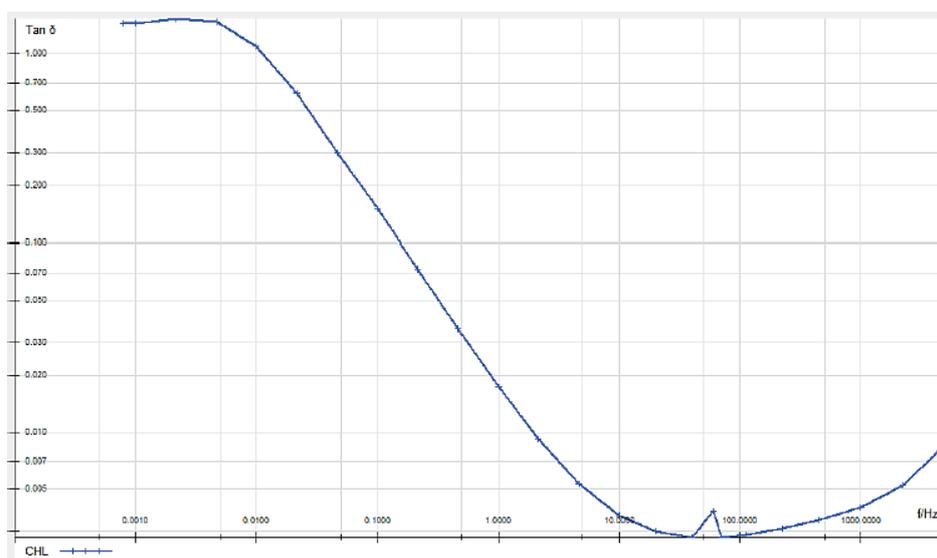


FIGURA 12: Resultado do ensaio de análise de resposta do dielétrico para o isolamento CHL do transformador após a manutenção

Na Figura 13, a seguir, é mostrado o diagnóstico do ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento CHL do transformador.

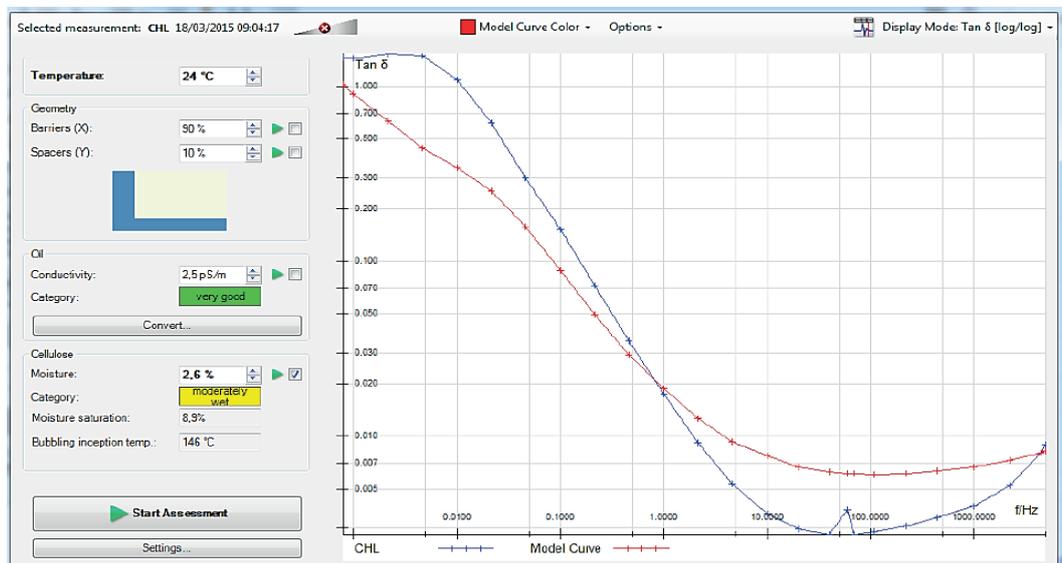


FIGURA 13: Diagnóstico do ensaio de análise de resposta do dielétrico do transformador após manutenção

Os resultados da Figura 13, mostram a curva do transformador (em azul) e a curva modelo (em vermelho), sendo que, as mesmas não ficaram próximas. O algoritmo calculou o teor de umidade na celulose, obtendo o valor de 2,6 %. Tal valor fornece a avaliação de que a celulose (papel) do transformador se encontra moderadamente úmida (*moderately wet*). Isto significa que para cada 100 kg da celulose do transformador, há 2.6 kg de água na celulose.

O algoritmo também calculou a condutividade do óleo isolante do transformador em 2,5 pS/m, fornecendo a avaliação muito bom (*very good*), indicando que o óleo isolante se apresenta com teor de umidade muito bom.

6.2 Bucha RIP

A Figura 14, a seguir, apresenta o diagnóstico do ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento C1 da bucha RIP de 230 kV.

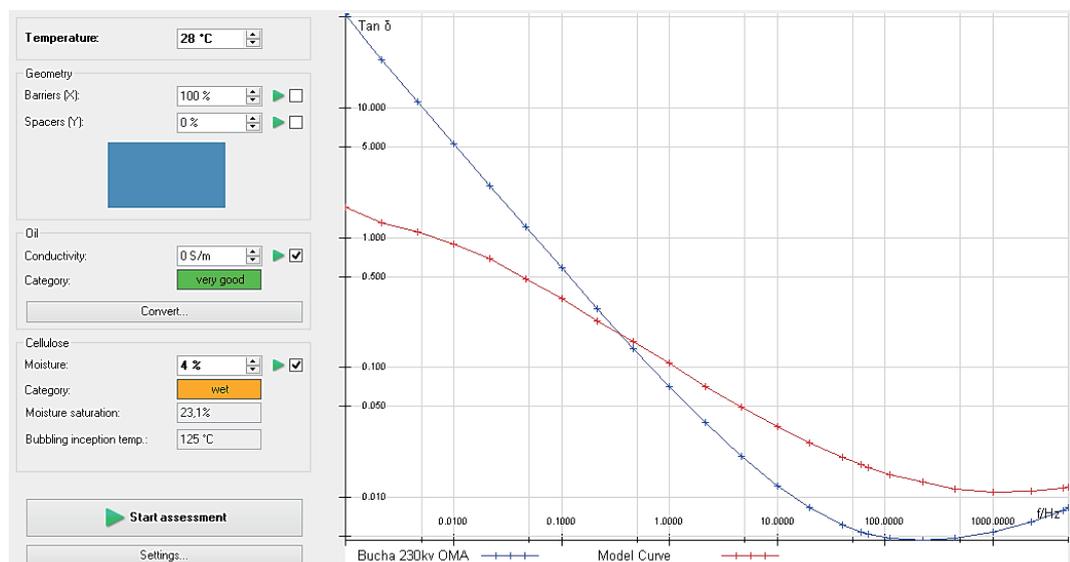


FIGURA 14: Diagnóstico do ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento C1 da bucha RIP de 230kV

O resultado da análise de resposta do dielétrico mostrou que a bucha apresenta teor de umidade no papel acima dos valores considerados normais, sendo encontrado valor de 4%, isto é, úmida (*wet*).

Ensaio dielétrico com alta tensão foram realizados na bucha: capacitância, fator de perdas e descargas parciais e tensão suportável a frequência industrial. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

TENSÃO (kV)			FATOR DE PERDA DIELÉTRICA $T_g \delta$ (%)		CAPACITÂNCIA C1 (pF)	DESCARGAS PARCIAIS (pC)	
ITEM	NÍVEL	VALOR	MEDIDO	MÁXIMO ADMISSÍVEL	MEDIDO	MEDIDO	MÁXIMO ADMISSÍVEL
1	---	10 kV	0,5020	0,7	787,258	<6	10
2	0,5 Un	70 kV	0,5039	0,7	787,268	<6	10
3	1,05 Un	147 kV	0,5084	0,7	787,308	>20	10
4	1,5 Un	210 kV	0,5175	0,7	787,371	>20	10
5*	Tensão Suportável	391 kV	---	---	---	---	---
6	1,5 Un	210 kV	0,4864	0,7	787,326	>20	10
7	1,05 Un	147 kV	0,4805	0,7	787,382	>20	10
8	0,5 Un	70 kV	0,4777	0,7	787,344	<6	10
9	---	10 kV	0,4766	0,7	787,326	<6	10

Tabela 1 – Resultados dos Ensaio com Alta Tensão em Bucha 230 kV

* A bucha suportou a tensão aplicada de 391 kV, durante 60 segundos, sem interrupção.

As Figuras 15(a) e 15(b) apresentam os resultados da medição de descargas parciais na bucha ensaiada, antes e após o ensaio de tensão suportável à frequência industrial. Como se observa, o nível de descargas parciais medido é superior a 10 pC, valor este estabelecido como limite pela norma NBR 5034/2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

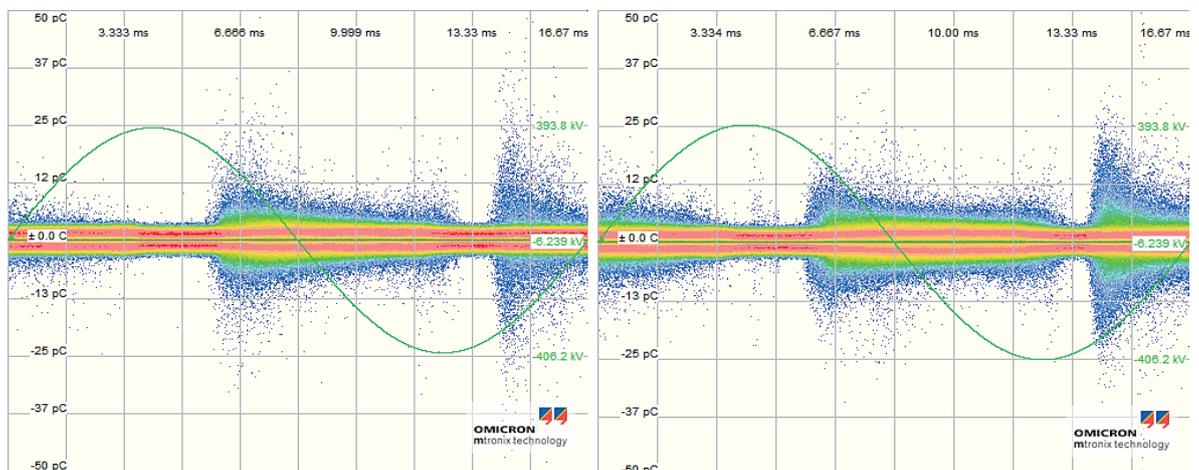


Figura 15 (a) - Medições de descargas parciais antes do ensaio de tensão suportável à frequência industrial.

Figura 15 (b) - Medições de descargas parciais após o ensaio de tensão suportável à frequência industrial.

Figuras 15(a) e 15(b) - Medição de descargas parciais

7 | CONCLUSÃO

Este artigo discutiu alguns dos principais métodos utilizados para o diagnóstico de umidade no papel e condição de degradação do isolamento elétrico de equipamentos de alta tensão. É importante ressaltar que os métodos utilizados são não-invasivos, o que os tornam excelentes aliados para a manutenção preditiva, visto que se permite o conhecimento da condição do equipamento, além de poder diagnosticar eventuais não conformidades. Portanto, há a possibilidade de elaboração de programas de manutenção, capazes de melhorar o desempenho e estender a vida útil dos equipamentos assim geridos.

O primeiro estudo de caso apontou a condição inicial do isolamento de um transformador e como esta mudou após uma manutenção realizada. O segundo estudo de caso demonstrou o estado do isolamento sólido de uma bucha capacitiva, onde se achou o mesmo úmido (*wet*), além disso o ensaio de descargas parciais apontou um alto nível de descargas, o que pode ter sido ocasionada pela relação com a degradação acelerada do dielétrico pela umidade.

REFERÊNCIAS

ACHMAD, Muhammad Taufik; WU, Xue-Zhou; BAI, Fan; CAO, Li-Shuang; LI, Wen-Dong; SUWARNO, ZHANG, Guan-Jun. **Impact of Test Voltage Magnitude on FDS Characteristics of Oil-Paper Insulation with Different Aging Conditions**. The 19th International Symposium on High Voltage Engineering, Pilsen, Czech Republic, August, 23 – 28, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5034: Buchas para tensões alternadas superiores a 1 kV**, 2014.

INTERNATIONAL COUNCIL ON LARGE ELECTRIC SYSTEMS. **CIGRÉ 254 Dielectric Response Methods for Diagnostics of Power Transformers**. Report of the TF D1.01.09, Paris, 2004.

JOSHI, Abhishek; AARADHI, Pooja. **Dielectric Diagnosis of EHV current Transformer Using Frequency Domain Spectroscopy (FDS) & Polarization and Depolarization Current (PDC) Techniques**. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 3, Issue 11, November-2012.

OMICRON, **Application Note - Measuring and Analyzing the Dielectric Response of Bushings**. ANP_10017_ENU, 2016.

PAULINO, M. E. C. **Diagnóstico em Campo para Determinação de Umidade em Transformadores**, Anais do XIII ERIAC – Décimo Terceiro Encontro Regional Ibero-americano do CIGRÉ, Foz do Iguaçu, Argentina, 2009.

PAULINO, M. E. C. **O Estado da Arte das Aplicações para Diagnóstico de Umidade em Transformadores de Potência**. Anais do CIDEL Argentina 2010 International Electricity Distribution Congress, Buenos Aires, Argentina, 2010.

WANG, Shi-Qiang; ZHANG, Guan-Jun; WEI, Jian-Lin; YANG, Shuang-Suo; DONG, Ming; HUANG, Xin-Bo. **Investigation on dielectric response characteristics of thermally aged insulating pressboard in vacuum and oil impregnated ambient.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 17, no.6, pp. 1853-1862, 2010.

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

Eletrobras – Eletronorte Belém – Pará

RESUMO: A energia elétrica provém do sistema elétrico, onde transformadores e reatores são utilizados para interligar os sistemas da geração à distribuição, fazendo a alteração e o controle dos níveis de tensão, respectivamente.

Estes equipamentos representam uma parte significativa dos investimentos. E falhas nestes resultam em elevados índices de indisponibilidade, uma vez que: nem sempre se dispõe de unidade reserva; o custo de aquisição é elevado; os equipamentos são produzidos especificamente para uma determinada instalação, não sendo fabricados em série; os prazos envolvidos no reparo, fabricação e transporte são ordem de meses.

Dessa forma o acompanhamento e a monitoração de suas condições, desde a fabricação até a retirada de operação, são essenciais para que se reduzam os custos associados ao seu ciclo de vida, e possa garantir sua confiabilidade e durabilidade.

Um levantamento elaborado entre 2000 e 2008 para companhias seguradoras do setor elétrico brasileiro, aponta que de quase cem transformadores avaliados as falhas foram: 69,9% por defeito nas bobinas, 16,3% em comutador e 10,9% em bucha. Considerando

apenas os transformadores de transmissão: 27% falharam por curto-circuito externo, 18% por defeito de fabricação, 18% por falha em bucha, 14% por falha em comutador, 9% por defeito após reparo.

Baseados nisto a Eletronorte aplicou a Análise de Resposta em Frequência (FRA), na avaliação de 44 equipamentos de 500 e 230 kV, para detectar os defeitos que podem ser diagnosticados através deste ensaio, como: deformação da bobina, falha no núcleo magnético, faltas do núcleo para a terra, conexões internas quebradas ou abertas, colapso parcial do enrolamento, espiras curto circuitadas e abertura do enrolamento.

PALAVRAS-CHAVE: Diagnóstico, Transformadores, Reatores, Análise de Resposta em Frequência.

ABSTRACT: The electric power comes from the electrical system, where transformers and reactors are used to interconnect the generation systems to the distribution, making the change and control of the voltage levels, respectively.

These equipment represent a significant part of the investments. And failures in these results in high indices of unavailability, since: there is always a reserve unit; the cost of acquisition is high; the equipment is produced specifically for a particular installation and is not manufactured in series; the deadlines involved in the repair,

manufacturing and transportation are order of months.

In this way, the monitoring and monitoring of its conditions, from the manufacturing to the withdrawal of operation, are essential to reduce the costs associated with its life cycle, and to guarantee its reliability and durability.

A survey carried out between 2000 and 2008 for insurance companies in the Brazilian electric sector, indicates that of almost 100 transformers evaluated the failures were: 69.9% by default in the coils, 16.3% in the commutator and 10.9% in the bushing. Considering only the transmission transformers: 27% failed by external short circuit, 18% by manufacturing defect, 18% by bushing failure, 14% by switch failure, 9% by defect after repair.

Based on this, Eletronorte applied the Frequency Response Analysis (FRA), in the evaluation of 44 500 and 230 kV equipment, to detect the defects that can be diagnosed through this test, such as: deformation of the coil, failure of the magnetic core, faults from the core to the ground, broken or open internal connections, partial winding collapse, short circuit turns and winding opening.

KEYWORDS: Diagnostic, Transformers, Reactors, Frequency Response Analysis.

1 | INTRODUÇÃO

Análise de resposta em frequência consiste em medir a função de transferência do equipamento, através da aplicação de um sinal senoidal de baixa tensão com frequência variável em um terminal do equipamento e medição do sinal transferido aos demais terminais.

Essas medidas podem ser usadas para detectar defeitos elétricos e mecânicos do equipamento, através da comparação entre a função de transferência obtida com assinaturas de referência, onde diferenças podem indicar um dano que pode ser investigado usando outras técnicas ou uma inspeção interna. ver Figura 1.

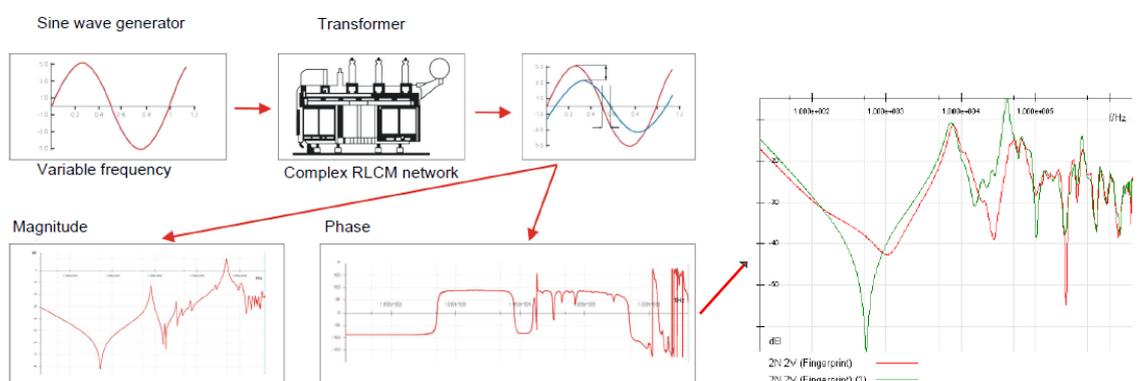


FIGURA 1 – Análise de Resposta em Frequência.

Fonte: Manual Franalyzer - Omicron

2 | IMPLANTAÇÃO

A implantação da técnica dentro da Eletronorte passou por quatro etapas distintas, descritas resumidamente a seguir:

- Estudo, que envolveu a pesquisa da técnica e de todas as vantagens e desvantagens que ela possui;
- Aquisição, que levou em consideração o custo x benefício dos instrumentos disponíveis no mercado;
- Capacitação, que qualificou profissionais a nível de execução e de análise;
- Aplicação, que englobou medição, diagnóstico e a consolidação de todo processo.

2.1 Estudo:

O circuito equivalente de um transformador/reator é composto de resistências, indutâncias e capacitâncias provenientes dos enrolamentos, assim como capacitâncias entre espiras, entre bobinas e destas para o tanque. Este circuito possui uma característica única de resposta em frequência, que funciona como uma impressão digital de cada equipamento. Desta forma, qualquer dano interno na sua estrutura, tanto na parte ativa (enrolamento e núcleo) como na parte passiva (estrutura, suportes, tanque, etc.), afeta diretamente os parâmetros deste circuito equivalente, e altera a resposta em frequência deste circuito, que comparado com a resposta original pode evidenciar a falha.

A função de transferência pode ser obtida pela relação entre a tensão de saída e a tensão de entrada, onde a amplitude desta relação é dada por $k(\text{dB})=20.\log_{10}(V_{\text{out}}/V_{\text{in}})$ e a fase é dada por $k(\text{dB})=20.\log_{10}(V_{\text{out}}/V_{\text{in}})$.

Outra medição importante é relação entre a tensão de entrada e a corrente de entrada em função da frequência, onde pode-se obter a função impedância $\frac{V_{\text{in}}}{I_{\text{in}}}(f)$ e a função admitância $\frac{I_{\text{in}}}{V_{\text{in}}}(f)$.

A avaliação dos resultados, baseada na comparação de diferentes representações gráficas dos elementos testados, pode ser realizada em três faixas distintas de frequência:

- Baixas frequências (inferior a 2kHz): problemas relacionados com ocorrências no núcleo. A avaliação deve levar em consideração o magnetismo residual nos circuitos magnéticos;
- Médias frequências (2kHz a 1 MHz): problemas relacionados a modificações na geometria, abertura e curto-circuito nos enrolamentos;
- Altas frequências (acima de 1 MHz): problemas relacionados com alteração de conexões de buchas, enrolamentos, comutadores e outros.

A Figura 2 mostra que nas médias frequências há uma subdivisão onde pode ser observada a interação entre os enrolamentos e a estrutura propriamente dita dos enrolamentos.

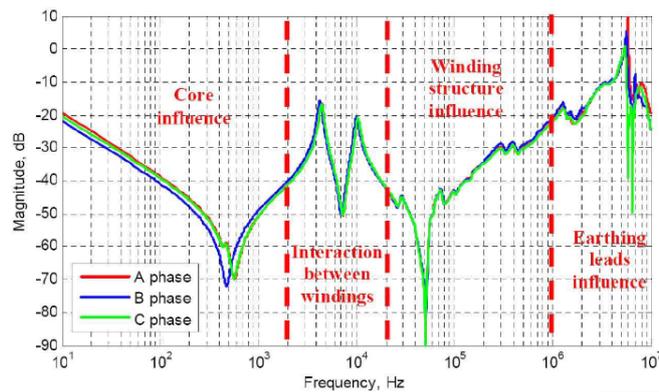


FIGURA 2 – Interpretação das escalas

Fonte: Princípios de Avaliação de Resultados – MP

As assinaturas podem ser comparadas:

- Com base no tempo – medições do mesmo equipamento em períodos de tempo distintos, sendo esta a comparação que apresenta um diagnóstico mais preciso;
- Com base nas fases – uma vez que os enrolamentos das três fases são fabricados com características muito similares;
- Com base em unidades “irmãs” – equipamentos fabricados em série e que apresentam o mesmo projeto.

O ensaio de resposta em frequência deve ser executado: na fábrica como garantia da qualidade; quando houver transporte do equipamento; após grandes manutenções que envolvam conexões de buchas, enrolamentos e comutadores; após ocorrência de curto-circuito; na alteração de gases específicos, após detecção de anomalias em ensaios tradicionais.

2.2 Aquisição:

Para aquisição do instrumento de teste, levou-se em consideração, além do custo, os recursos oferecidos pelos equipamentos disponíveis no mercado da época. Sendo fatores determinantes nesta escolha: a ampla faixa de variação de frequência; o sistema de aterramento usado para minimizar interferências externas; o fato do instrumento ter a capacidade de também medir a impedância terminal; e principalmente a disponibilidade de um algoritmo de análise dos resultados baseado na única Norma disponível no momento.



FIGURA 3 – Franalyzer.

Fonte: Manual Franalyzer – Omicron

2.3 Capacitação:

Um treinamento operacional para sete pessoas fazia parte do fornecimento do instrumento. Foram capacitados então um grupo de engenheiros de manutenção que seriam responsáveis pela execução e análise dos ensaios e posteriormente fariam a replicação do conhecimento dentro da empresa.

No entanto, ainda durante o treinamento, identificou-se que apesar de teoricamente se tratar de um ensaio simples de execução, sua análise demandava uma expertise que só seria adquirida com o tempo e estudo aprofundado sobre o tema.

2.4 Aplicação:

2.4.1 Medição:

Como o diagnóstico de resposta em frequência é baseado em comparações, o passo seguinte, após a capacitação, era iniciar as medições para criar um banco de dados com as assinaturas de cada equipamento de nossas instalações. A partir daí novas medições seriam realizadas somente quando fosse necessário um diagnóstico específico sobre cada equipamento.

As primeiras medições foram realizadas nos equipamentos reservas, pois estes já se encontravam fora de operação. Percebeu-se nesta etapa que existe uma infinidade de fatores que podem interferir na repetibilidade do ensaio e, conseqüentemente prejudicar o diagnóstico, tais como:

- Condição do equipamento – temperatura, condição do óleo e papel, posição do comutador, aterramentos de neutro e núcleo, etc.;
- Fatores estocásticos – ambiente eletromagnético, remanência, etc.;
- Testador e instrumento – cabos de medição, pontos de injeção, arranjo dos cabos de medição, etc.

Para contornar parte destes fatores foi necessário utilizar um formulário com algumas informações básicas sobre o teste, como: dados do equipamento, posição do comutador, grupo fasorial, tipo de núcleo, temperatura do óleo, motivo do teste, etc. E assim garantir a repetibilidade do ensaio sempre que fosse necessário executá-lo.

Foram realizados ensaios em 44 equipamentos de 500, 230 e 69 kV, conforme detalhado nas Tabelas 1 e 2.

Equipamento	500 kV	230 kV	69 kV	Total
Transformador	-	21	2	23
Autotransformador	6	1	-	7
Reator	10	4	-	14

Tabela 1 – Equipamentos testados por classe de tensão

Ano	Teste	Subestação	Equipamento	Tensão (kV)	Nº Série	Fabricante
2010	Assinatura	Macapá	Transformador	69	SP-9038	BBC
2010	Ensaio 1	Santana	Transformador	69	SP-9038	BBC
2009	Assinatura	Ariquemes	Transformador	230	92855	JEUMONT SCHNEIDER
2009	Assinatura	Ariquemes	Transformador	230	92856	JEUMONT SCHNEIDER
2009	Ensaio 1	Altamira	Reator	230	111195.2	AREVA
2011	Ensaio 1	Altamira	Reator	230	8929053	WEG
2008	Assinatura	Boa Vista	Reator	230	59750	ABB
2008	Assinatura	Boa Vista	Reator	230	59751	ABB
2009	Assinatura	Guamá	Transformador	230	500713	TUSA
2009	Ensaio 2	Guamá	Transformador	230	500710	WEG
2009	Assinatura	Guamá	Transformador	230	500715	TUSA
2009	Assinatura	Guamá	Transformador	230	500714	TUSA
2010	Ensaio 1	Guamá	Transformador	230	1004225601	WEG
2010	Ensaio 1	Guamá	Transformador	230	1004249537	WEG
2010	Ensaio 1	Guamá	Transformador	230	1004282510	WEG
2010	Assinatura	Imperatriz	Transformador	230	46589	COEMSA / SIEMENS
2010	Ensaio 1	Marabá	Transformador	230	46446	COEMSA
2010	Ensaio 1	Santa Maria	Transformador	230	1004165232	WEG
2010	Ensaio 1	Santa Maria	Transformador	230	1004062673	WEG
2009	Assinatura	Jirau	Transformador	230	92861	JEUMONT SCHNEIDER
2008	Ensaio 1	Utinga	Transformador	230	500710	WEG
2010	Assinatura	Utinga	Transformador	230	58657	ASEA
2010	Assinatura	Utinga	Transformador	230	58658	ASEA
2010	Assinatura	Utinga	Transformador	230	58604	ASEA
2010	Assinatura	Rurópolis	Autotransformador	230	59752	ABB
2011	Assinatura	Vila do Conde	Transformador	230	91429	JEUMONT SCHNEIDER
2008	Assinatura	Vila do Conde	Transformador	230	46435	COEMSA
2011	Assinatura	Jaru	Transformador	230	KA1793A001	TRAFO

2008	Assinatura	Colinas	Reator	500	1112061	AREVA
2008	Ensaio 1	Marabá	Autotransformador	500	217438-04	ALSTHOM / ABB
2008	Assinatura	Marabá	Reator	500	91430	JEUMONT SCHNEIDER
2008	Assinatura	Marabá	Reator	500	93064	JEUMONT SCHNEIDER
2008	Assinatura	Marabá	Reator	500	111429/1	AREVA
2008	Assinatura	Marabá	Reator	500	111429/2	AREVA
2008	Assinatura	Marabá	Reator	500	111429/4	AREVA
2008	Assinatura	Marabá	Reator	500	111429/3	AREVA
2009	Assinatura	Vila do Conde	Autotransformador	500	91420	JEUMONT SCHNEIDER
2009	Assinatura	Vila do Conde	Autotransformador	500	91421	JEUMONT SCHNEIDER
2009	Assinatura	Vila do Conde	Autotransformador	500	91422	JEUMONT SCHNEIDER
2009	Ensaio 1	Vila do Conde	Autotransformador	500	91425	JEUMONT SCHNEIDER
2009	Assinatura	Vila do Conde	Autotransformador	500	91426	JEUMONT SCHNEIDER
2008	Assinatura	Vila do Conde	Reator	500	91439	JEUMONT SCHNEIDER
2009	Ensaio 1	Vila do Conde	Reator	500	91438	JEUMONT SCHNEIDER
2008	Assinatura	Vila do Conde	Reator	500	91440	JEUMONT SCHNEIDER

Tabela 2 – Equipamentos testados de 2008 a 2011

2.4.2 Diagnóstico:

Será mostrado o estudo de caso de um autotransformador monofásico de 100 MVA – 500 / 230 / 13,8 kV que foi fabricado em 1980 e reformado em fábrica em 2002. A sequência dos fatos inicia em abril/2008, quando foram realizados ensaios de resposta em frequência e impedância terminal no equipamento para obter a assinatura do equipamento.

No final do mês de setembro do mesmo ano, houve atuação do relé diferencial (87) e relés de gás do comutador (63CSC) e do autotransformador (63). Após ensaios e inspeções foram constatados atuação da válvula de segurança do tanque principal, rompimento da membrana de alívio de pressão do comutador, presença de 367 ppm de acetileno, alteração de fator de potência, resistência ôhmica e relação de transformação.

Para enriquecer o diagnóstico, novos ensaios de resposta em frequência e impedância terminal foram realizados. As Figuras 4 a 6 mostram os pontos de injeção e coleta dos sinais, e as amplitudes das respostas em frequência obtidas.

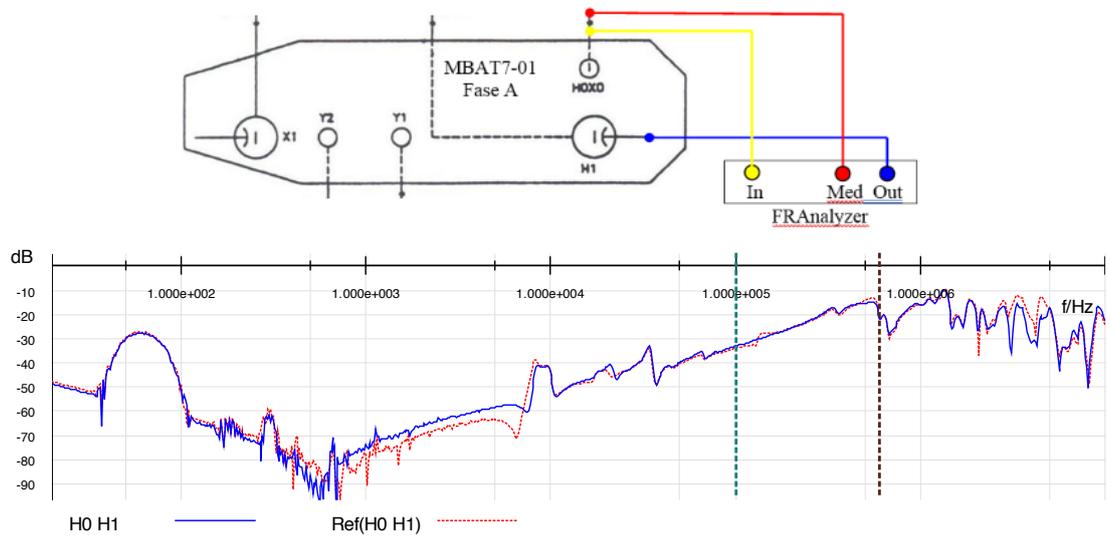


FIGURA 4 - Análise resposta em frequência no enrolamento de 500 kV.

Fonte: RT-VMB-2008013

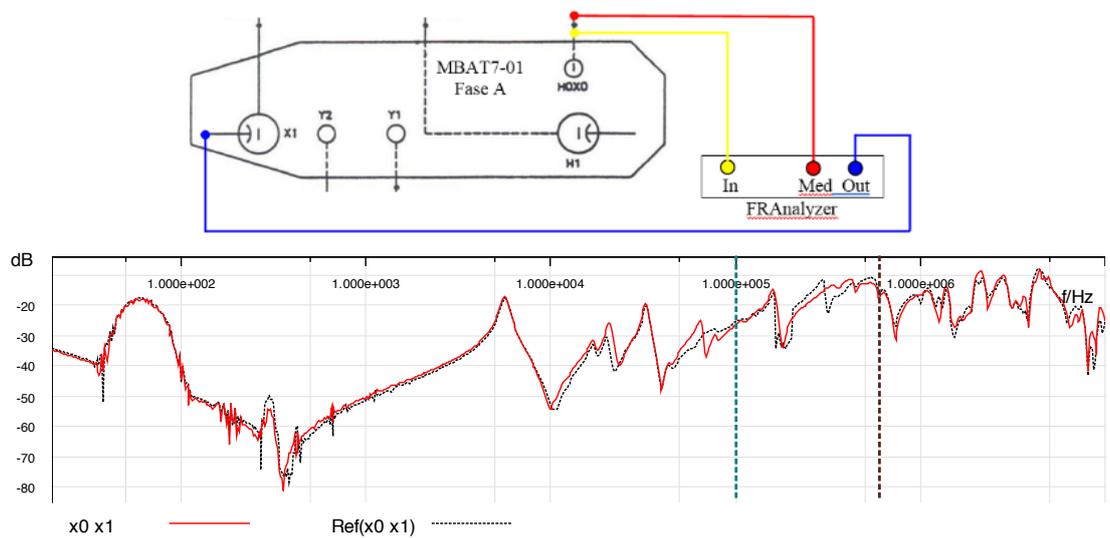


FIGURA 5 - Análise resposta em frequência no enrolamento de 230 kV.

Fonte: RT-VMB-2008013

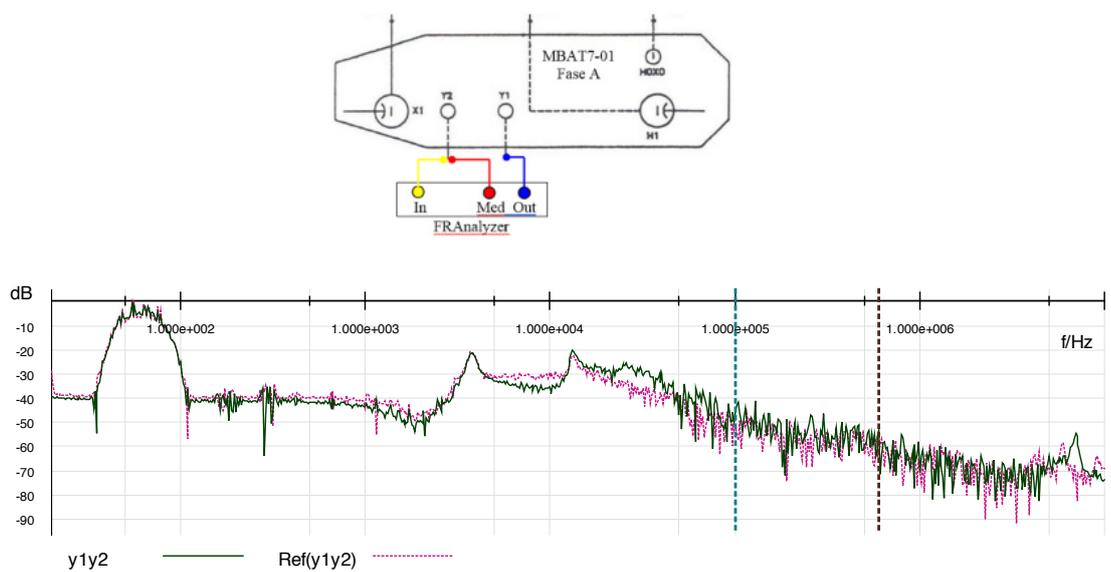


FIGURA 6 - Análise resposta em frequência no enrolamento de 13,8 kV.

Fonte: RT-VMB-2008013

Analisando as figuras 4 a 6, que se referem às respostas em frequências dos enrolamentos primário, secundário e terciário do autotransformador, percebe-se alterações em todos os enrolamentos. No entanto, após analisar as informações dos formulários de registro de teste, verificou-se que as medições de resposta em frequência do enrolamento terciário foram realizadas em condições diferentes. Em 04/2008 as medições foram realizadas com o enrolamento aterrado, já em 10/2008 este enrolamento foi medido sem aterramento. Por isto, para o enrolamento terciário, a análise de resposta em frequência não pôde ser levada em consideração.

As Figuras 7 a 8 mostram os pontos de injeção e coleta dos sinais, e as partes reais e imaginárias das impedâncias terminais obtidas para os enrolamentos primário, secundário e terciário do autotransformador. Percebe-se que os enrolamentos primário e secundário mostram diferenças significativas entre as medições realizadas em 04/2008 e as medições realizadas em 10/2008, indicando que havia um problema estrutural nos enrolamentos.

Já no enrolamento terciário, tais diferenças não são observadas, indicando que este enrolamento permaneceu nas mesmas condições que se encontrava na sua medição original, em 04/2008.

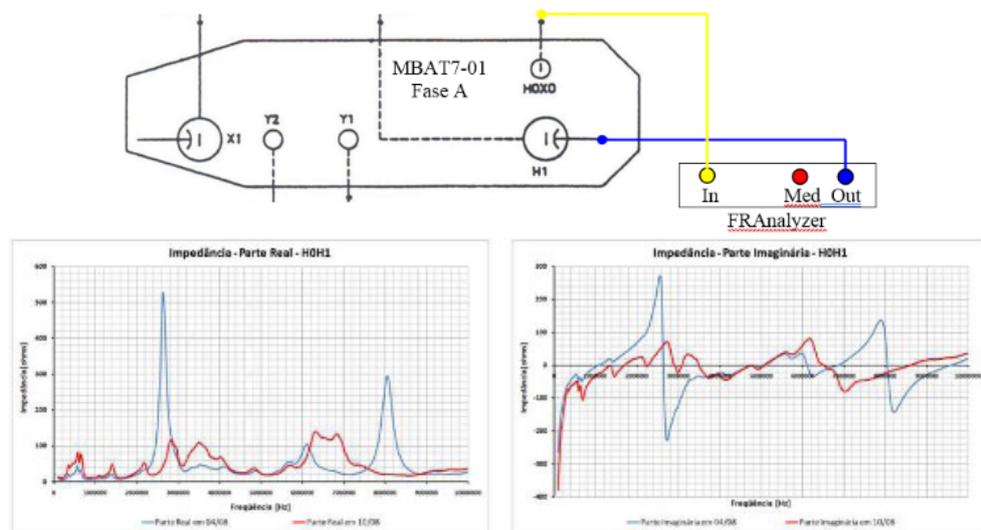


FIGURA 7 - Análise de impedância terminal no enrolamento de 500 kV.

Fonte: RT-VMB-2008013

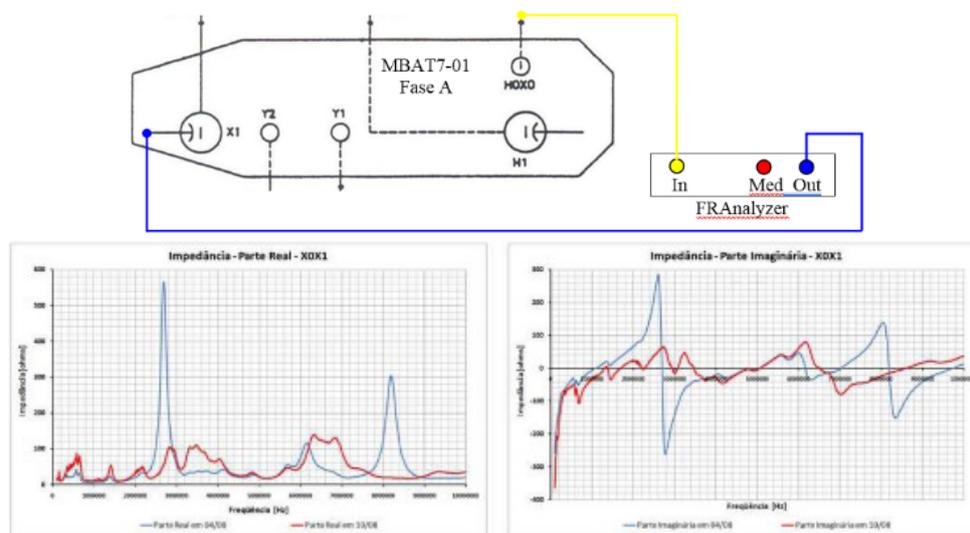


FIGURA 8 - Análise de impedância terminal no enrolamento de 230 kV.

Fonte: RT-VMB-2008013

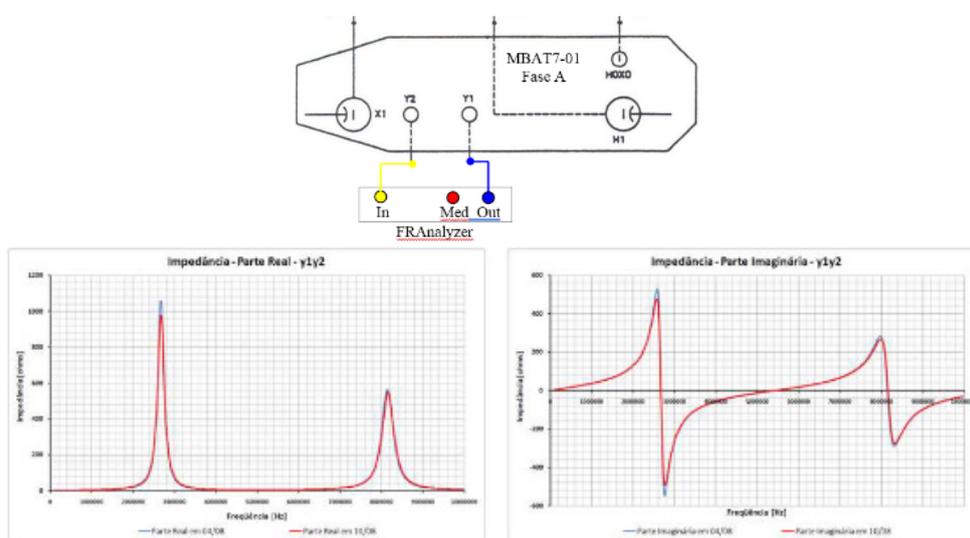


FIGURA 9 - Análise de impedância terminal no enrolamento de 13,8 kV.

Fonte: RT-VMB-2008013

Com base nos resultados obtidos, que apontavam haver um problema estrutural que atingia tanto o enrolamento primário quanto secundário, e no esquema de ligação do autotransformador, optou-se por fazer uma inspeção interna no equipamento iniciando pelo comutador, conforme mostra a Figura 10.

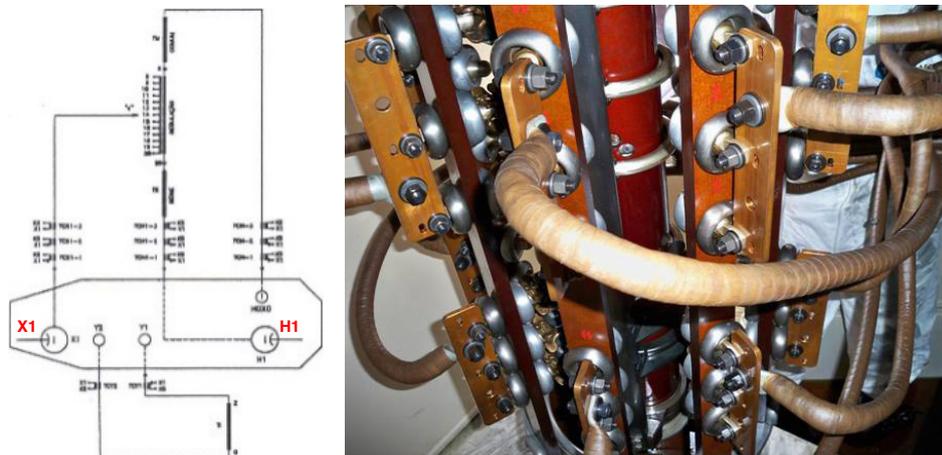


FIGURA 10 – Esquema de ligação do comutador no autotransformador.

Fonte: Adaptado de RT-VMB-2008013

A inspeção realizada no comutador, não encontrou nenhuma anomalia no cilindro de óleo nem na chave de carga, houve necessidade apenas de substituição da tampa do cilindro de óleo, que foi danificada na atuação da membrana de alívio de pressão do comutador.

Como não havia danos no comutador, decidiu-se baixar o óleo do tanque principal e inspecionar o circuito dos enrolamentos primário e secundário, onde foram constatados danos no cabo de conexão H0X0, conforme sequência de fotos da inspeção mostrada na Tabela 3.

<p>a) Vestígios de descarga elétrica e camada de papel isolante danificada</p>	<p>b) Vestígio de descarga elétrica na base do suporte isolante do condutor</p>	<p>c) Detalhe do caminho da descarga</p>
<p>d) Detalhe dos pinos isolantes de fixação do condutor</p>	<p>e) Ponto do dano na isolação do condutor</p>	<p>f) Detalhe do condutor com mais de 60% dos fios rompidos</p>

Tabela 3 – Inspeção interna no tanque principal do autotransformador

Conclui-se que, o formato dos pinos isolantes gerou o desgaste na isolação de papel do cabo condutor o que provocou o rompimento da isolação neste ponto, com a abertura de arco elétrico. Esta situação foi caracterizada, pela seguradora, como defeito oculto, uma vez que pelo histórico de manutenção não havia como identificar

tal defeito.

2.4.3 Consolidação:

O caso apresentado, foi somente um dos muitos que certificaram o potencial da técnica de resposta de frequência. No entanto, haviam muitas questões a serem alinhadas dentro do processo e, para resolve-las, foi criado um grupo de estudo, com uma lista de tarefas a serem cumpridas:

- a. Criar uma Instrução Técnica de Manutenção (ITM):

Com o objetivo de padronizar planejamento, execução, análise e arquivamento dos dados dos ensaios, foi elaborada uma ITM com os principais pontos a serem levados em consideração, conforme ilustra a Figura 11.



<ol style="list-style-type: none"> 1. Objetivo 2. Campo de aplicação 3. Considerações preliminares <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Transformador / Autotransformador <ol style="list-style-type: none"> 3.1.1. Monofásicos 3.1.2. Trifásicos 3.2. Reatores <ol style="list-style-type: none"> 3.2.1. Monofásicos 3.2.2. Trifásicos 4. Recursos para aplicação <ol style="list-style-type: none"> 4.1. Recursos humanos 4.2. Recursos materiais 5. Procedimentos de segurança 	ÍNDICE <ol style="list-style-type: none"> 6. Atividades <ol style="list-style-type: none"> 6.1. Ensaio de resposta em frequência <ol style="list-style-type: none"> 6.1.1. Planejamento 6.1.2. Execução 6.1.3. Análise 6.2. Ensaio de impedância terminal <ol style="list-style-type: none"> 6.2.1. Planejamento 6.2.2. Execução 6.2.3. Análise 7. Arquivamento no banco de dados 8. Referências 9. Anexos
---	--

FIGURA 11 – Procedimento de ensaio de FRA.

Fonte: Adaptado de ITM-FRA-001-ELN

Um guia para testes de SFRA e IT, conforme ilustra a Figura 12, auxilia no planejamento do tempo e das condições necessárias para realização dos ensaios.

Eletrobras Energia		Guia para Testes de SFRA e IT	
Se necessário, utilize o campo Observações Adicionais, no final deste Guia			
Data da última revisão para ensaio: _____			
Local (Estação): _____ Cidade: _____ País/Região: _____			
Responsável(s): _____ E-mail: _____			
Pessoa de contato: _____			
Razão para o teste: _____			
<input type="checkbox"/> Rotina <input type="checkbox"/> Reteste <input type="checkbox"/> Diagnóstico <input type="checkbox"/> teste p seguro <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Comissionamento transformador novo <input type="checkbox"/> Reteste após manutenção óleo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Comissionamento transformador usado <input type="checkbox"/> Reteste após reconexão <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Protection tripping <input type="checkbox"/> Recommissioning <input type="checkbox"/> Testes de Aceleração <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Teste Garantia <input type="checkbox"/> Troca do Buchas <input type="checkbox"/> Manutenção LTC <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Demonstração <input type="checkbox"/> Assinatura antes do transporte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Reteste depois transporte <input type="checkbox"/> Assinatura em campo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Investigação de deformação após transporte <input type="checkbox"/> Outros (indicar): _____			
1. Dados do Transformador			
Identificação			
Número de Série: _____		Fabricante: _____	
Tipo-código: _____			
Ano de fabricação: _____			
Identificação do Transformador (como dado pelo fabricante): _____			
Autotransformador <input type="checkbox"/>		Autotransformador <input type="checkbox"/>	
Restor <input type="checkbox"/>		Restor <input type="checkbox"/>	
Função <input type="checkbox"/>		Função <input type="checkbox"/>	
Tipo núcleo <input type="checkbox"/>		Tipo núcleo <input type="checkbox"/>	
Dados Elétricos			
Nível rating _____		Nível rating _____	
Tensão lado primário _____		Tensão lado primário _____	
Tensão lado secundário _____		Tensão lado secundário _____	
Organização do Enrolamento _____		Organização do Enrolamento _____	
Grupo fatorial de transformadores trifásicos			
Conexão lado tensão primário _____		Conexão lado tensão primário _____	
Conexão lado tensão secundário 1 _____		Conexão lado tensão secundário 1 _____	
Conexão lado tensão secundário 2 _____		Conexão lado tensão secundário 2 _____	
Conexão lado tensão terciário _____		Conexão lado tensão terciário _____	
Grupo fatorial para Autotransformadores			
Grupo fatorial para Autotransformadores _____		Grupo fatorial para Autotransformadores _____	
Dados das buchas			
Dados do Comutador sob carga			
Fabricante: _____			
Localização: lado AT <input type="checkbox"/> lado BT <input type="checkbox"/> Enrol. Serie <input type="checkbox"/> Enrol. Comum <input type="checkbox"/>			
Arranjo: _____			
Comutador sem carga			
Fabricante: _____			
Razão: _____			
2. Condições de Medida			
Temperatura de óleo _____			
Temperatura ambiente _____			
Nível de óleo total? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/> Comentários: _____			
Umidade no óleo _____			
Ocorrência de algum evento de alta corrente no barramento do transformador? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
Condições de operação antes da medida: Normal <input type="checkbox"/> Sobrecarga <input type="checkbox"/> Desconectado <input type="checkbox"/>			
Execução de outros teste antes das medidas a serem realizadas:			
Resistência de enrolamento <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>		Resistência de enrolamento <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	
Tange della (eletrorres) (FDS) <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>		Tange della (eletrorres) (FDS) <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	
Análise de Óleo (DGA, PD, Furans) <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>		Análise de Óleo (DGA, PD, Furans) <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	
Impedância CC <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>		Impedância CC <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	
Relação <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>		Relação <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	
Corrente de magnetização <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>		Corrente de magnetização <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	
Outros (especificar): _____			
3. Circunstâncias especiais			
Sem buchas <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>		Sem buchas <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	
Sem óleo <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>		Sem óleo <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	
Sem tanque <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>		Sem tanque <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	
Ocorreu registro sensor de impacto durante o transporte? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
Aceleração Vertical: _____			
4. Ensaio SFRA executado anteriormente			
Existem resultados de pontivos de teste anteriores de SFRA deste transformador? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
Existem testes utilizados disponíveis de teste anteriores de SFRA de transformador ir não? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
Existem transformadores ir não na empresa? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
5. Condição dos terminais durante a medida			
Existem condições predeterminadas para as medidas: <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
Existem condições predeterminadas para as medidas: <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
ponto de injeção: _____			
ponto de medida: _____			
conexão lado AT: _____			
Flutuando <input type="checkbox"/>			
Curto circuito <input type="checkbox"/>			
Curto e aterrado <input type="checkbox"/>			
Aterrado <input type="checkbox"/>			
conexão lado BT: _____			
Flutuando <input type="checkbox"/>			
Curto circuito <input type="checkbox"/>			
Curto e aterrado <input type="checkbox"/>			
Aterrado <input type="checkbox"/>			
7. Condições para a realização dos testes			
O transformador estará liberado para teste por quantas horas ininterruptas após o início dos testes? _____			
O transformador estará totalmente desconectado do sistema (exceto aterramento)? <input type="checkbox"/>			
A ART (anotação de responsabilidade técnica) ficará a cargo do contratante ou do executante? <input type="checkbox"/>			
8. Condições adicionais para diagnóstico de falhas			
O transformador possui sistema de monitoramento? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
O sistema de monitoramento detectou alguma anomalia? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
O transformador esteve sujeito a altas correntes (falhas no sistema, correntes de inrush, chaveamentos)? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
Quantas vezes? _____			
O transformador esteve sujeito a sobretensões (falhas no sistema, chaveamentos)? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>			
Quantas vezes? _____			
Observações adicionais:			
Observações adicionais: _____			
Data preenchida por: _____ Data: _____			

FIGURA 12 – Padrão de conexões do ensaio de FRA.

De acordo com a bibliografia consultada – Cigre WG A2.26 (Guide), DL 911/2004 (Standard), IEC 60076-18 (Draft) e IEEE WG PC57.149 (Guide) D8 – e, que trata sobre o circuito de medição e as conexões de SFRA, dependendo do equipamento sob ensaio, um transformador trifásico com três enrolamentos por exemplo, pode haver até 48 modos de teste, conforme ilustra a Figura 13.

Nº	In	Out	Others
	Red	Blue	
1	H0	H1	Open
2	H0	H2	Open
3	H0	H3	Open
4	X0	X1	Open
5	X0	X2	Open
6	X0	X3	Open
7	y1	y2	Open
8	y2	y3	Open
9	y3	y1	Open
10	H1	X1	Open
11	H2	X2	Open
12	H3	X3	Open
13	X1	y1	Open
14	X2	y2	Open
15	X3	y3	Open
16	H1	H0	Open

Nº	In	Out	Others
	Red	Blue	
17	H2	H0	Open
18	H3	H0	Open
19	X1	X0	Open
20	X2	X0	Open
21	X3	X0	Open
22	y2	y1	Open
23	y3	y2	Open
24	y1	y3	Open
25	H0	H1	Short-circuit
26	H0	H2	Short-circuit
27	H0	H3	Short-circuit
28	X0	X1	Short-circuit
29	X0	X2	Short-circuit
30	X0	X3	Short-circuit
31	y1	y2	Short-circuit
32	y2	y3	Short-circuit

Nº	In	Out	Others
	Red	Blue	
33	y3	y1	Short-circuit
34	H1	X1	Short-circuit
35	H2	X2	Short-circuit
36	H3	X3	Short-circuit
37	X1	y1	Short-circuit
38	X2	y2	Short-circuit
39	X3	y3	Short-circuit
40	H1	H0	Short-circuit
41	H2	H0	Short-circuit
42	H3	H0	Short-circuit
43	X1	X0	Short-circuit
44	X2	X0	Short-circuit
45	X3	X0	Short-circuit
46	y2	y1	Short-circuit
47	y3	y2	Short-circuit
48	y1	y3	Short-circuit

FIGURA 13 – Padrão de conexões do ensaio de FRA.

Fonte: Autoria própria

No entanto, realizar todas estas medidas, demandaria um tempo excessivo de indisponibilidade do equipamento, e por este motivo foi adotado, para este tipo de equipamento, um padrão reduzido de medições, conforme ilustra a Figura 14, mas estas conseguem caracterizar de forma satisfatória o equipamento sob análise.

Traces						
Name	Red	Blue	Tap Changer	Tertiary Winding	Other Windings	
H0 H1	H0	H1	1	closed	open	
H0 H2	H0	H2	1	closed	open	
H0 H3	H0	H3	1	closed	open	
x0 x1	x0	x1	1	closed	open	
x0 x2	x0	x2	1	closed	open	
x0 x3	x0	x3	1	closed	open	
y1 y2	y1	y2	1	closed	open	
y2 y3	y2	y3	1	closed	open	
y3 y1	y3	y1	1	closed	open	
H1 x1	H1	x1	1	closed	open	
H2 x2	H2	x2	1	closed	open	
H3 x3	H3	x3	1	closed	open	
x1 y1	x1	y1	1	closed	open	
x2 y2	x2	y2	1	closed	open	
x3 y3	x3	y3	1	closed	open	

Impedância Terminal

FIGURA 14 – Padrão de conexões do ensaio de SFRA e IT.

Outras configurações de ensaio como faixa de frequência, nº de pontos medidos e modo de teste, conforme ilustra a Figura 15, podem influenciar significativamente na resposta obtida do equipamento sob ensaio, assim é importante padronizar essas configurações e garantir com isso a repetibilidade das medidas.

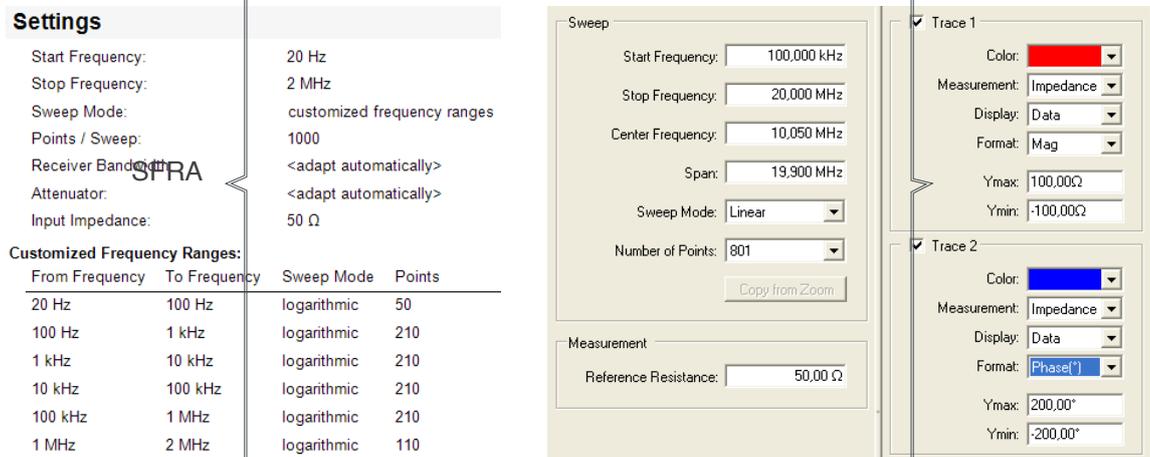


FIGURA 15 – Configurações do ensaio de SFRA e IT.

Fonte: Adaptado de Franalyzer / Bode 100 - Omicron

Com relação à análise dos ensaios, estas são baseadas na comparação das curvas medidas, e no caso específico do ensaio de SFRA, também são usados dois algoritmos de análise, NCPRI e DL 911/2004, conforme ilustra a Figura 16.

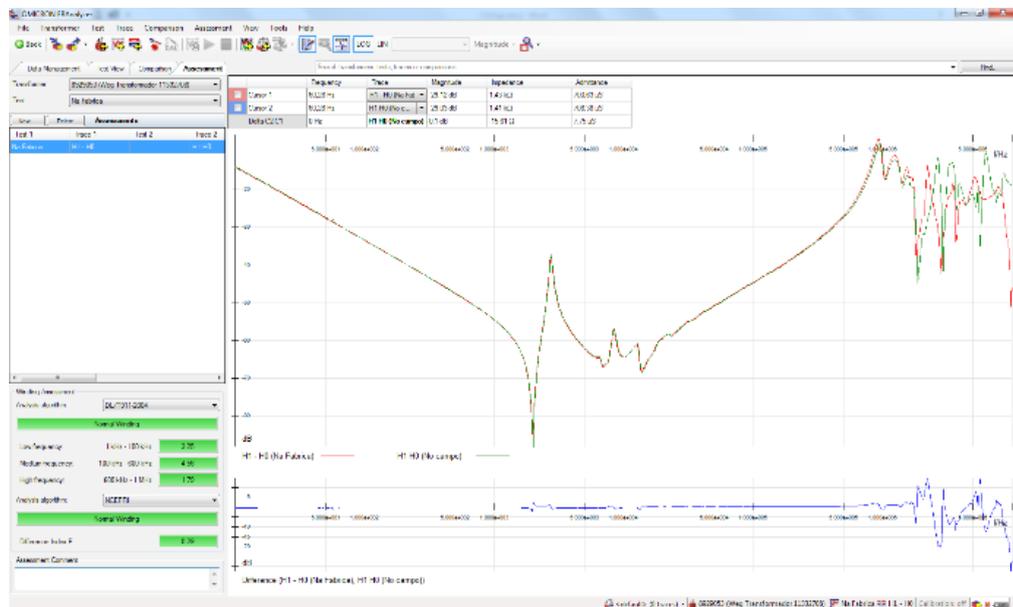


FIGURA 16 – Análise de ensaio de SFRA.

Fonte: Adaptado de Franalyzer - Omicron

O instrumento usado na medição de impedância terminal, Franalyzer – Omicron, disponibiliza os resultados no formato de arquivo “.csv”, valores separados por vírgula. Anteriormente, estes arquivos precisavam ser tratados no Microsoft Excel, para serem

transformados em gráficos e usados para o diagnóstico, isso demandava tempo e era passível de erro.

Foi criado então um script em linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*) da Microsoft que gera automaticamente os gráficos das medições de impedância terminal e possibilita a comparação de duas ou três curvas medidas. A Figura 17 mostra as duas formas de análise e também *links* para a Lição Ponto a Ponto, que descreve como usar o script, e para o manual do instrumento de ensaio, facilitando o acesso a informações importantes para o responsável pelo ensaio.

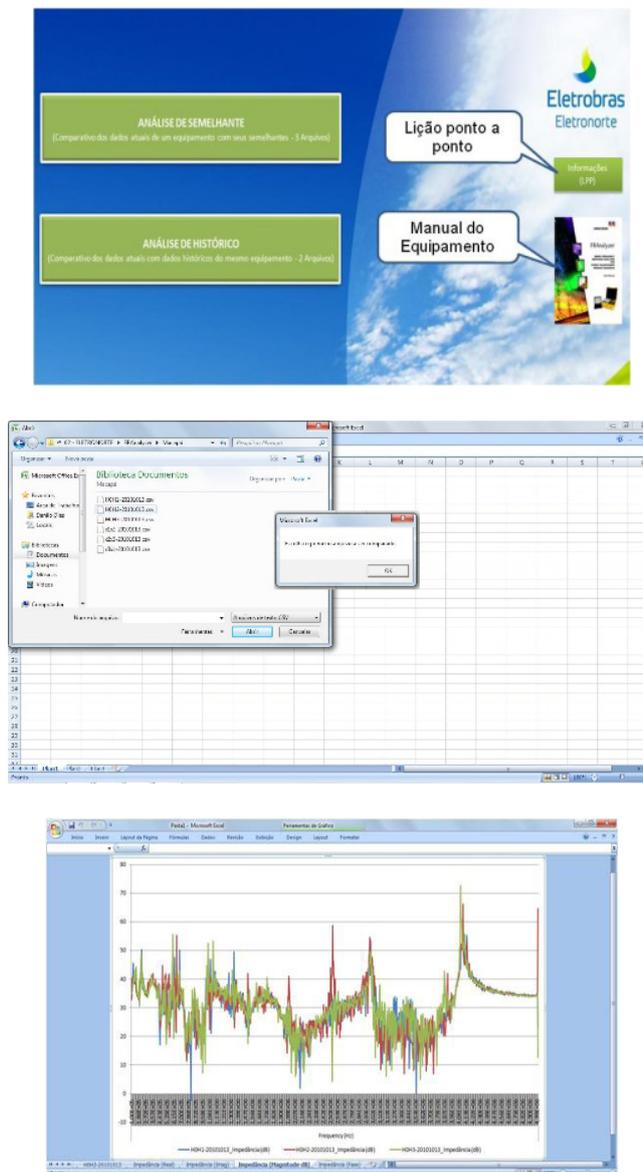


FIGURA 17 – Telas do Franalyzer Grafics.

Fonte: Franalyzer Grafics

Os relatórios foram compilados de forma a serem elaborados rapidamente e mostrar resultados concisos e diretos para uma tomada de decisão, conforme mostrado na Figura 18.

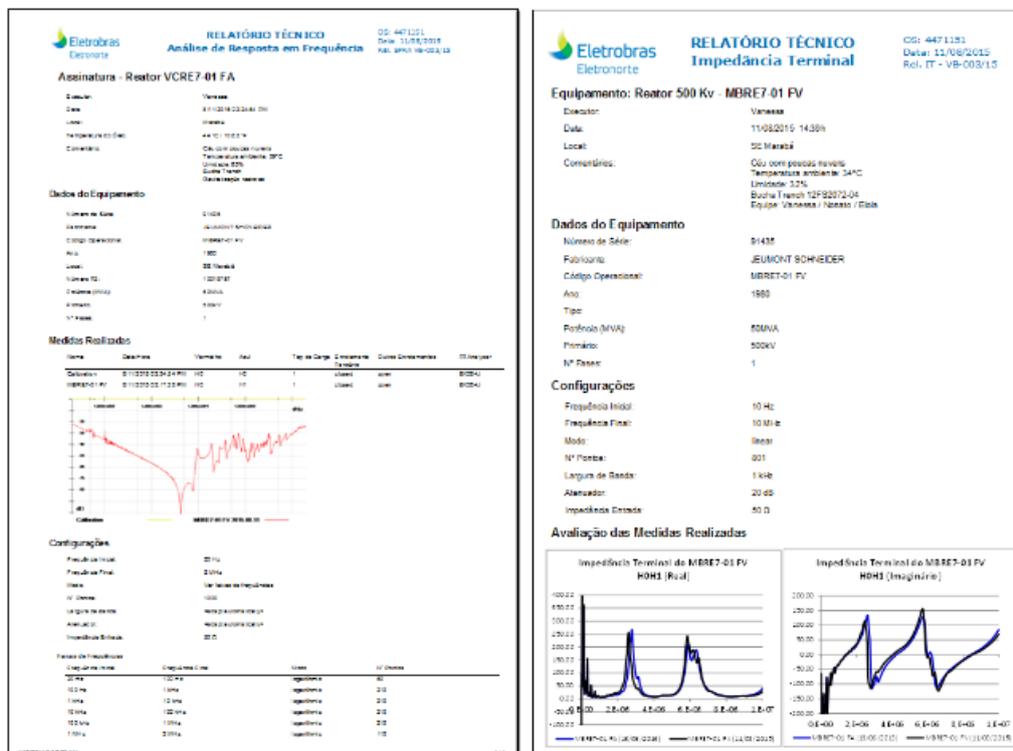


FIGURA 18 – Relatórios de SRA e IT.

Fonte: Adaptado de RT-VMB-2015003

O arquivamento dos dados de ensaios segue alguns padrões: *Medições* – “nº de Série_Cod. Operacional_aaaammdd” e *Relatórios* – “RT-3 iniciais-aaaa sequencial”.

a. Alterar a especificação de transformadores e reatores:

Para que todos os equipamentos tivessem suas assinaturas registradas desde a fábrica, foi necessário alterar a especificação de transformadores e reatores, incluindo um item para realização do ensaio de resposta em frequência na fábrica (antes do transporte) e no campo (após sua montagem na base).

As condições de teste, configurações, quantidades de medidas, formato de relatórios e critério de aprovação são definidas em consenso com o fornecedor. Sendo uma cópia dos arquivos contendo as medidas de fábrica e de campo entregues à Eletronorte para inserção em seu banco de dados. Isto é importante, pois é com base nestas medidas que serão feitos os diagnósticos da condição destes equipamentos, durante todo o seu ciclo de vida.

b. Participar do grupo de trabalho GT D1.35 do Cigre:

Como este grupo de trabalho é responsável pelas questões referentes à FRA no Brasil, inclusive com a atribuição de elaborar normas e procedimentos, é extremamente importante a participação de pelo menos um representante no grupo e assim estar em consonância com as últimas atualizações sobre a técnica.

3 | CONCLUSÃO

Os ensaios de resposta em frequência e impedância terminal se mostraram uma ferramenta importante para diagnóstico de problemas elétricos e mecânicos internos aos transformadores, autotransformadores e reatores através da comparação de assinaturas.

Apesar de muitos problemas terem sido vencidos durante a implantação da técnica na Eletronorte, ainda existem muitas dificuldades que precisam ser superadas:

- Existem poucos cursos de capacitação;
- A formação de especialistas requer tempo e dedicação;
- A execução, análise e diagnósticos ainda são considerados complexos;
- Falta de padronização de forma geral, pois não existe uma Norma no Brasil.

REFERÊNCIAS

A2.26 Working Group (CIGRÉ) – **Brochure 342 Mechanical-Condition Assessment of Transformers Windings Using Frequency Analysis (FRA)**, 2008.

Bechara, R. – **Análise de Falhas de Transformadores de Potência** – Dissertação (mestrado em Eng. Elétrica), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

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.

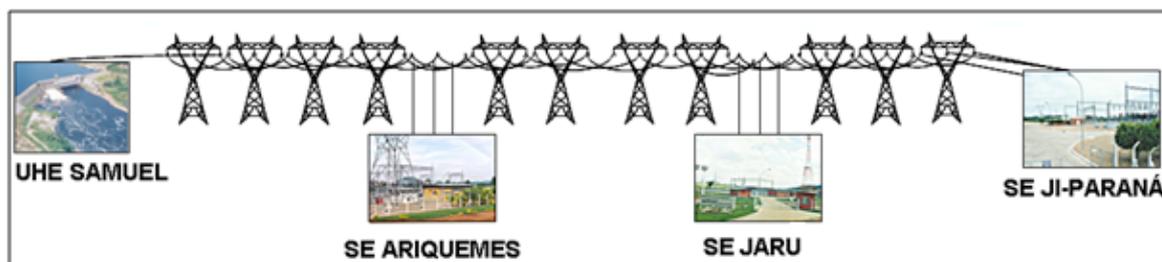


Figura 1– Representação do sistema de transmissão Rondônia, entre a UHE Samuel e Ji-Paraná

3 | CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA PRE

A Figura 2 ilustra a tecnologia PRE implantada em Rondônia

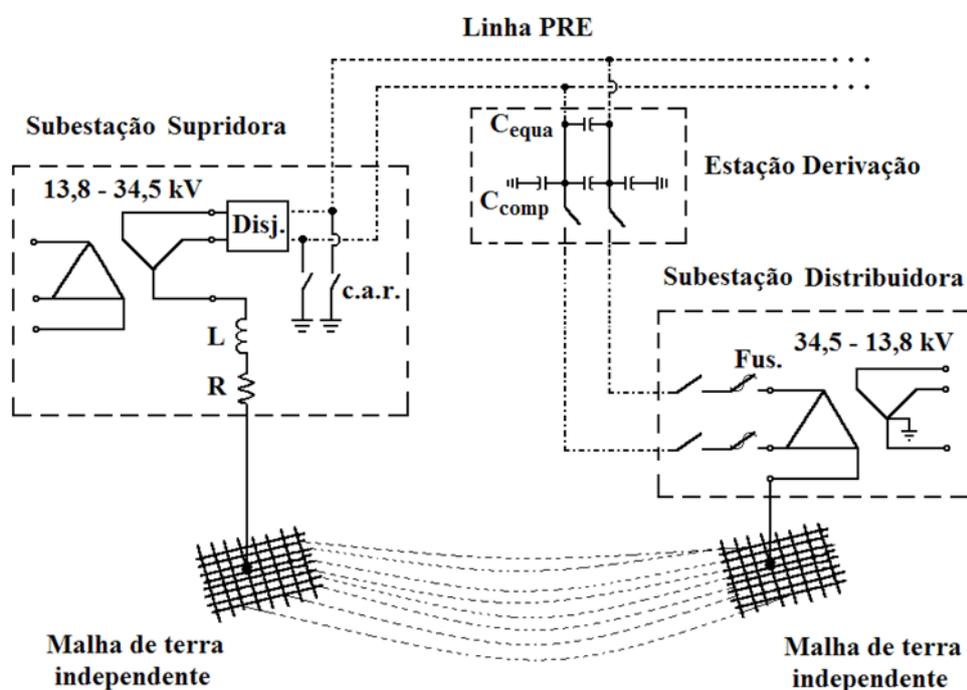


Figura 2- Desenho ilustrativo sobre a tecnologia PRE no esquema trifásico

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.

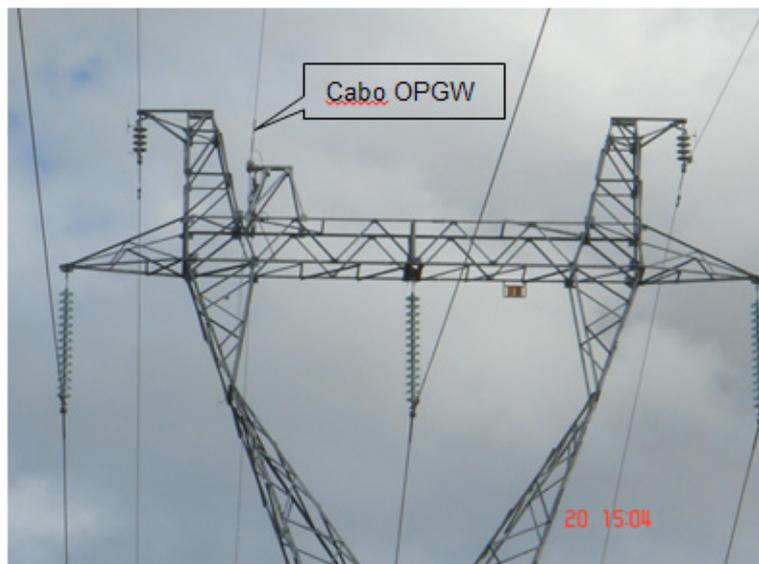


Figura 3- Cabeça da torre da LT 230 kV com os cabos para-raios isolados e o cabo OPGW

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 interrupção 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 interrupção 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 interrupção 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.

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

Alcebiádes Rangel Bessa

Universidade Federal do Espírito Santo -
Departamento de Engenharia Elétrica
Vitória – Espírito Santo

Lucas Frizera Encarnação

Universidade Federal do Espírito Santo -
Departamento de Engenharia Elétrica
Vitória – Espírito Santo

Paulo José Mello Menegáz

Universidade Federal do Espírito Santo -
Departamento de Engenharia Elétrica
Vitória – Espírito Santo

RESUMO: Este trabalho apresenta o estudo de modelagem de sistema elétrico em 500 kV interligando as subestações de Mesquita e Viana II, realizando o estudo de estabilidade de tensão na subestação de Viana II com a aplicação do dispositivo SVC. O sistema elétrico com os seus cenários de operação desenvolvidos foi baseado nos dados técnicos do ONS. Os resultados de simulação do sistema com a inserção do SVC foram desenvolvidos no programa de transitórios eletromagnéticos PSCAD/EMTDC comprovando o desempenho do equipamento proposto.

PALAVRAS-CHAVE: SVC, Linha de Transmissão, Subestação, Modelagem, Compensação de Reativos e Regulação de Tensão.

ABSTRACT: This paper presents a modelling study of 500 kV electrical system interconnecting the substations Mesquita and Viana II, conducting the study of voltage stability in Viana II substation with the application of SVC device. The electrical system with its operation scenarios were developed based on technical data from ONS. The simulation results of the system by entering the SVC were developed in the electromagnetic transient program PSCAD / EMTDC proving the performance of the proposed equipment.

KEYWORDS: SVC, Transmission Line, Substation, Modeling Reactive Compensation and Voltage Regulation.

1 . INTRODUÇÃO

Com a desregulamentação do setor elétrico brasileiro, ocorrida na década de 90, a relação entre produtores e consumidores de energia elétrica passou por uma mudança substancial, tendo em vista que os consumidores passaram a comprar energia livremente de qualquer agente gerador. Desta forma, foi garantida uma maior competitividade entre os agentes do mercado de energia elétrica. Em contrapartida, o sistema de transmissão teve que se adequar a novos padrões de carregamento e a novas exigências de controle e operação.

Esse novo cenário da transmissão de energia levou à necessidade de níveis de confiabilidade mais elevados, com o desenvolvimento de projetos de novas linhas e a duplicação de linhas já existentes, entre outras ações, as quais implicam em maiores custos de implantação, operação e manutenção; além de toda a problemática ambiental inerente à aprovação de projetos deste tipo.

Atualmente, o sistema de transmissão de energia elétrico brasileiro é composto, em sua maioria, por linhas de transmissão em corrente alternada que operam com tensões entre 230 e 750 kV. Na maioria das vezes, o controle do fluxo de potência nestas linhas é feito de uma forma mais simples, fazendo com que a regulação da tensão nas linhas seja altamente influenciada pela carga que elas alimentam.

Aliado ao fato da adaptação do sistema de transmissão ao novo mercado do setor elétrico existe também a problemática do crescimento do consumo de energia nos próximos anos. Segundo estimativas da EPE, a demanda de energia elétrica no país deverá crescer a uma taxa média de 4,3% ao ano, saindo de um patamar de consumo total de 472,2 mil GWh no ano de 2013 para 656,1 mil GWh até 2021 (EPE, 2011). Em sistemas pequenos e de complexidade menor, o superdimensionamento em relação à capacidade de geração e transmissão pode resolver parcialmente os problemas de controle e operação. Porém, em sistemas de transmissão grandes e de maior complexidade, esta alternativa é impraticável (Watanabe et al., 1998).

Com o desenvolvimento da eletrônica de potência, ao longo dos últimos anos, surgiu um novo conceito de dispositivos que permitem o controle do fluxo de potência, bem como do perfil de tensão nas linhas de transmissão, tornando sua operação mais flexível e confiável. Estes dispositivos, comumente conhecidos como FACTS (*Flexible AC Transmission Systems*) têm sido pesquisados a fim de atender dois principais objetivos:

- Aumentar a capacidade de transmissão de potência das redes;
- Controlar diretamente o fluxo de potência em rotas específicas de transmissão.

(Watanabe et al., 1998).

Dentre os dispositivos FACTS comumente utilizados, o SVC (*Static Var Compensator*) é um compensador constituído por reatores e capacitores chaveados por tiristores, capaz de injetar ou absorver reativos da rede. Desta forma, o SVC é utilizado em aplicações que envolvam controle de fator de potência, regulação de tensão, aumento da capacidade de transmissão e da estabilidade de sistemas de transmissão. (Hingorani and Gyugyi, 2000)

Neste cenário de expansão do mercado energético brasileiro e, mais ainda, num cenário propício ao desenvolvimento do estado do Espírito Santo, com a previsão de crescimento de suas cargas, bem como da implementação de novas usinas termelétricas, este trabalho se propõe a estudar os efeitos da inserção de um dispositivo SVC na subestação de Viana II, a qual receberá uma nova linha de transmissão de 500 kV, interligando o sistema de transmissão do estado a Minas Gerais (SE Mesquita). O principal aspecto a ser avaliado com a inserção do SVC será a melhoria da regulação

de tensão na barra da SE Viana II, dentro dos cenários de carga previstos para o estado do Espírito Santo nos próximos anos.

Na próxima seção serão apresentados os dados levantados sobre o sistema elétrico que interliga os estados do Espírito Santo e Minas Gerais (Furnas), bem como a modelagem deste sistema com a inclusão da nova LT Mesquita-Viana II de 500 kV. A seguir, será apresentado o modelo da topologia SVC utilizada na simulação e os resultados obtidos através da sua inserção junto à barra de Viana II. Por fim, será feita uma breve conclusão, ressaltando os benefícios alcançados com o uso do SVC proposto.

2 | SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA ES/MG

O estado do Espírito Santo é atendido em sua totalidade por duas companhias de distribuição de energia: a EDP ESCELSA e a Empresa de Luz e Força Santa Maria S.A., que, além de realizar a distribuição de energia para os consumidores, também administra pequenas usinas geradoras do tipo PCH, em sua maioria. Além destas pequenas usinas hídricas, ao longo dos últimos anos, o estado recebeu algumas usinas termelétricas para suprimento da demanda em condições específicas de baixo nível dos reservatórios ou condições de pico do sistema.

A geração de energia no estado é responsável por menos de 20% da energia total consumida, demonstrando sua forte dependência da energia produzida em outras regiões do país. Conforme mostrado na Figura 1, atualmente, o Espírito Santo é interligado ao SIN (Sistema Interligado Nacional) por meio das seguintes linhas de transmissão:

- Campos/Vitória e Ouro Preto II/Vitória, ambas de 345 kV, pertencentes a Furnas;
- Aimorés/Mascarenhas, e Mascarenhas/Verona sob responsabilidade respectivamente da EVRECY e ETS, ambas com tensão de 230 kV.

Uma nova linha de transmissão de 500 kV está em fase de construção entre as subestações Mesquita e Viana II. Esta linha estará sob a responsabilidade da MGE Transmissão, consórcio formado por FURNAS (49%), J. Malucelli Construtora (20%) e Engevix Engenharia S.A (31%). Nesse contexto Furnas tem como objetivo aumentar a estabilidade e a confiabilidade do sistema elétrico capixaba, além de aumentar a flexibilidade no despacho de energia no estado. Além destes fatos, poder-se-ia dizer que outro fator de grande importância face à construção desta linha é a expectativa de crescimento nos investimentos em geração térmica no Espírito Santo que poderão utilizar esta linha como meio de conexão ao SIN.



Figura 1. Ligação do Sistema Elétrico do ES ao SIN.

Levantamento dos dados da área do sistema em estudo

Inicialmente, foram obtidos junto ao ONS (Operador Nacional do Sistema) os parâmetros elétricos da malha de todo o Sistema Elétrico Nacional, nos cenários de carga previstos para 2015. A partir destes dados, utilizou-se o programa ANAREDE para isolar apenas a área de interesse de estudo deste trabalho, compreendida entre as subestações de Mesquita e Viana II. Desta forma, o programa foi utilizado para obter os dados do equivalente externo do sistema nas fronteiras de interesse deste estudo, conforme apresentado na Figura 2.

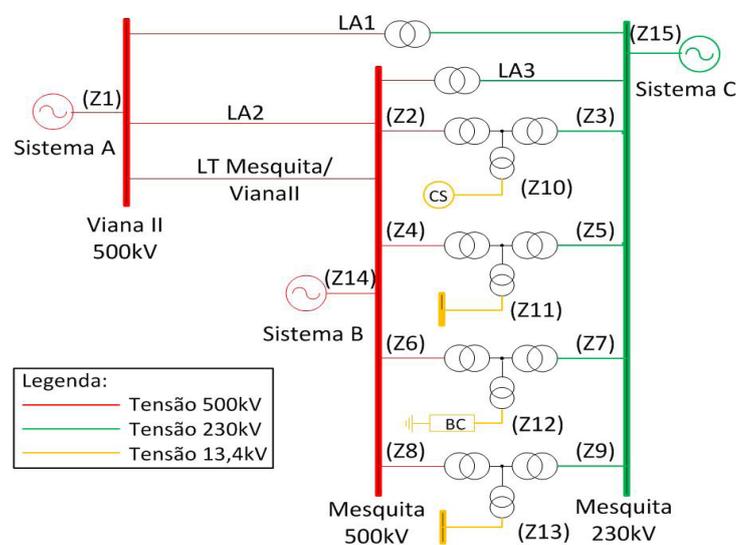


Figura 2. Sistema elétrico equivalente da área em estudo

As impedâncias do sistema mostradas na Figura 2 estão representadas em p.u. no Quadro 1, sendo calculadas considerando a base de 100 MVA.

As linhas LA1, LA2 e LA3, são linhas auxiliares geradas durante a obtenção do equivalente externo nas fronteiras do sistema. Elas representam a contribuição da interligação da área em estudo com o SIN através de outras linhas de transmissão não representadas no diagrama.

A Figura 3 apresenta, em forma de diagrama de blocos, a representação do

sistema equivalente da área em estudo (Figura 2), sendo este modelado e simulado através do programa PSCAD/EMTDC.

Imped.	R1	X1	R0	X0
Z1	0,15	3,76	0,06	2,56
Z2	0	2,69	0	2,69
Z3	0	-0,22	0	-0,22
Z4	0	2,69	0	2,69
Z5	0	-0,28	0	-0,28
Z6	0	2,69	0	2,69
Z7	0	-0,2	0	-0,2
Z8	0	2,69	0	2,69
Z9	0	-0,28	0	-0,28
Z10	0	23,63	0	7,63
Z11	0	7,6	0	0
Z12	0	7,37	0	0
Z13	0	7,6	0	7,6
LT	0,21	3,37	2,77	10,16
LA1	57,29	200,9	166k	133k
LA2	166,61	117,2	Inf.	Inf.
LA3	12,19	38,75	1550,7	1654,2

Quadro 1. Impedâncias em p.u. do sistema da área em estudo

A seguir, é apresentada a descrição de cada bloco do diagrama mostrado na Figura 3:

- Sistema A – representa o equivalente elétrico da subestação Viana II e de sua interligação com a subestação Viana I e demais linhas de transmissão. A SE Viana II possui 01 transformador de 03 enrolamentos, 900 MVA e 500/345 kV, além de 01 reator de 136 MVar/500 kV;

- Sistema B – representa o equivalente elétrico da interligação da barra de 500 kV da subestação Mesquita às linhas de transmissão Mesquita/Vespasianos II e Mesquita/Neves I;

- Sistema C – representa o equivalente elétrico da interligação da barra de 230 kV da subestação Mesquita às linhas de transmissão Mesquita/Usiminas, Mesquita/Ipatinga, Mesquita/Timoteo II, Mesquita/Governador Valadares e Mesquita/Baguari;

- Subestação Mesquita – representa os equipamentos da subestação Mesquita, contendo 04 bancos de capacitores de 28,8 MVar/13,8kV, 01 compensador síncrono 100/-60 MVar/13,4kV, 01 reator de 136 MVar/500kV e 04 transformadores de 03 enrolamentos, 400 MVA e 500/230kV;

- LT Mesquita-Viana II – representa a linha de transmissão Mesquita/Viana II, com comprimento de 248 km, circuito simples, capacidade de operação de longa duração (CPST) de 2400 A e capacidade de operação de curta duração (CPST) de 3050 A;

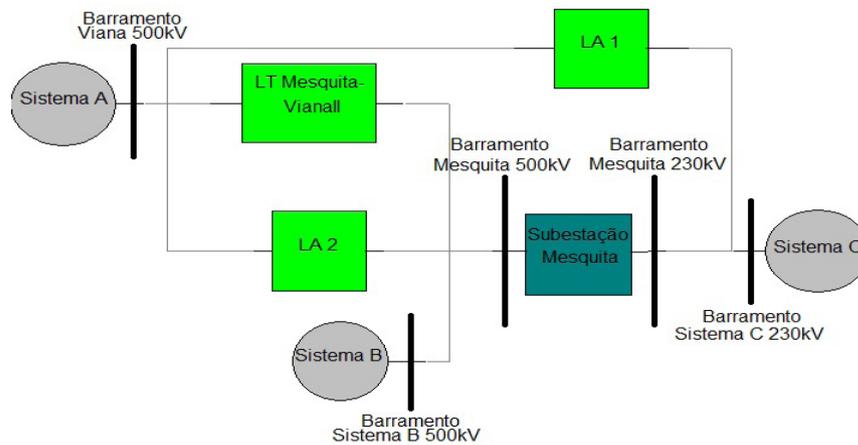


Figura 3. Sistema modelado no PSCAD/EMTDC.

- LA1, LA2 e LA3 – são linhas auxiliares que representam as demais interligações da área de estudo ao SIN, por meio de outras linhas de transmissão.

Sendo o objetivo do trabalho estudar a regulação de tensão da barra de 500 kV da subestação Viana II devido à entrada em operação da nova linha Mesquita-Viana II, apresentaremos a seguir o modelo de simulação implementado no PSCAD do Sistema A. Logo após, será feita a validação deste modelo, utilizando como base dados de operação obtidos junto ao ONS.

Modelo de simulação do Sistema A

A Figura 4 apresenta o modelo implementado no PSCAD/EMTDC para simular o Sistema A. Nele, observamos o equivalente externo representando a interligação desta barra com o resto do sistema, sendo este modelado por uma fonte de tensão em série com uma impedância, cujo valor está mostrado no Quadro 1 (Z1).

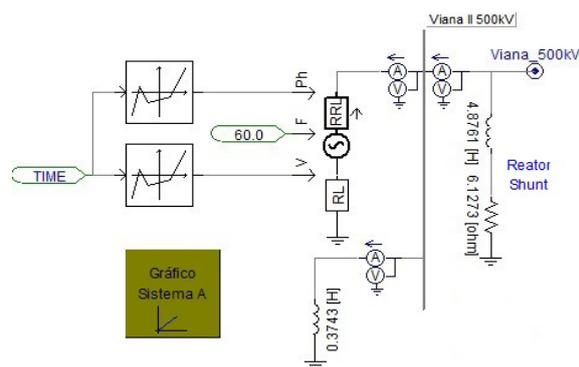


Figura 4. Modelo de simulação do Sistema A sem o SVC

Validação do Sistema simulado

Para fins de comparação e de validação dos modelos de simulação propostos, foram utilizados os valores apresentados nos “casos de referência utilizados para estudos elétricos de fluxo de potência dentro do horizonte do Plano de Ampliações e

Reformas da rede básica PAR para os anos de 2014 a 2016”, disponibilizados no sítio do ONS (ONS, 2013).

A partir destes dados, o comportamento da área em estudo foi simulado por meio do modelo proposto usando a plataforma do PSCAD/EMTDC, sendo considerado o cenário de junho de 2015 com cargas leve, média e pesada. Os resultados de simulação obtidos foram então comparados com os valores disponibilizados pelo ONS a fim de validar o modelo de simulação proposto. A Tabela 1 apresenta a comparação destes valores apenas na situação de carga pesada e a Tabela 2, apresenta os erros percentuais dos valores simulados, tomando como base os valores fornecidos pelo ONS.

Componente	Pot. Ativa (MW)	Pot. Reativ (MVar)	Tensão Mód./Âng. (pu / °)
Valores fornecidos pelo ONS			
LT Mesquita/Viana II	306,4	31,2	-
Shunt Equivalente	0	2024,4	-
Equivalente Externo	440,1	2032	-
Barra Viana II	-	-	1,069/-91,2°
Valores simulados utilizando o modelo proposto			
LT Mesquita/Viana II	313,4	35,2	-
Shunt Equivalente	0	2025	-
Equivalente Externo	445,3	2024	-
Barra Viana II	-	-	1,069/-93,3°

Tabela 1. Comparação da tensão e dos fluxos de potência obtidos para o Sistema A, no cenário de carga pesada.

Componente	Pot. Ativa	Pot. Reativa	Tensão Mód./Âng.
LT Mesquita/Viana II	2,29%	12,82%	-
Shunt Equivalente	0%	0,03%	-
Equivalente Externo	1,18%	-0,39%	-
Barra Viana II	-	-	0/-2,3%

Tabela 2. Erros percentuais entre valores simulados e valores fornecidos pelo ONS no Sistema A para cenário de carga pesada.

Observando a Tabela 2, pode-se verificar que os erros percentuais dos valores simulados são pequenos, a exceção do fluxo reativo na linha de transmissão Mesquita/Viana II, porém em valor absoluto tal erro é pequeno perante aos fluxos de potência da linha de transmissão. Tal situação acontece para que na modelagem do sistema obtenham-se os valores de tensão de barra próximos ao valor real fornecido pelo ONS. O mesmo acontece quando se comparam os valores obtidos por simulação nos

cenários de carga média e carga pesada do Sistema A e dos demais sistemas da área em estudo, validando o modelo de simulação desenvolvido no PSCAD/EMTDC.

3 | MODELO DO SVC

O compensador SVC do tipo TCR-TSC foi desenvolvido inicialmente com o objetivo de oferecer uma compensação dinâmica para sistemas de transmissão, diminuindo suas perdas em regime permanente e aumentando sua flexibilidade de operação. Para isto, o compensador terá uma faixa de variação de reativos que estarão dentro de uma faixa com potência injetada capacitiva (QC) até uma faixa de potência absorvida indutiva (QL).

A configuração básica do SVC do tipo TCR-TSC é apresentada na Figura 5, compondo o sistema dessa maneira pelo TCR, TSC e o filtro de correntes harmônicas, geralmente de 5ª e 7ª ordem.

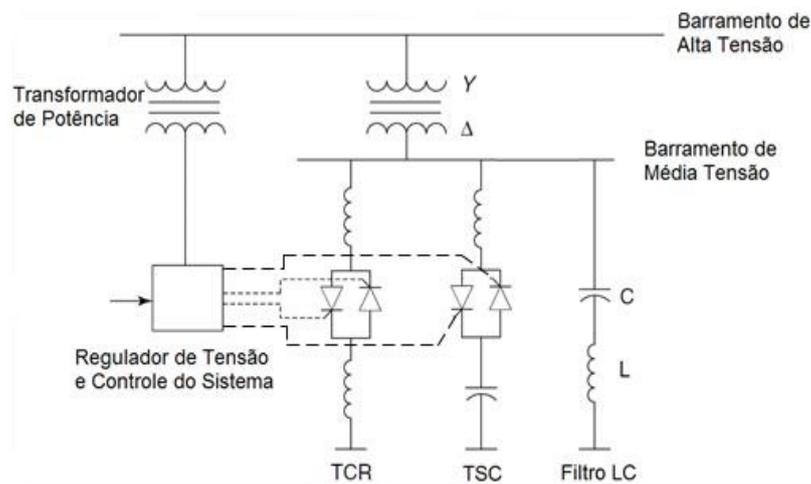


Figura 5: Configuração geral do SVC.

Tiristor Controlando Reator

O TCR é um dos componentes do dispositivo SVC, que também pode ser encontrado na compensação de reativos de maneira isolada. Na maioria dos projetos de compensador de reativos o TCR é encontrado em paralelo com um banco de capacitores fixo ou com capacitores chaveados por tiristor.

O TCR é composto por um par de tiristores em anti-paralelo, T1 e T2, ligado em série com um reator linear de núcleo a ar, conforme ilustrado na Figura 6. O ângulo de disparo de tiristor será medido a partir do momento que a tensão nos seus terminais V_s passa por zero.

A faixa de controle do ângulo de disparo α dos tiristores está entre 90° à 180° . Para o ângulo $\alpha=90^\circ$ a corrente sobre o indutor será senoidal, enquanto que para o ângulo $\alpha=180^\circ$ a corrente no indutor será nula. Para ângulos α com valores intermediários a corrente no indutor será descontínua, variando com o valor de α .

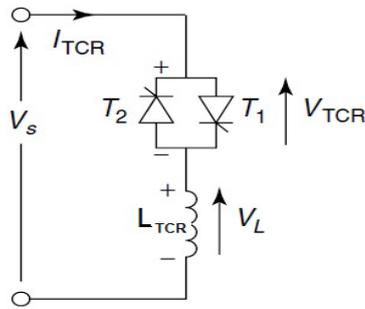


Figura 6: Configuração do TCR.

Operação com ângulo de disparo α abaixo de 90° introduzirá componentes de corrente contínua no sistema, causando distúrbio na atuação simétrica dos dois tiristores em antiparalelo e, portanto, deverá ser evitada. Outro ponto importante do controle da indutância com tiristores é que a chave formada por tiristores terá como características de seccionamento da condução de forma independente do ângulo de disparo, ou seja, não haverá este controle. A interrupção se dará no momento em que a corrente no ramo do tiristor passar por zero, conhecido como comutação de linha. Além disso, outra característica da comutação de linha é que após iniciada, em determinado momento, qualquer alteração de disparo só poderá ocorrer no próximo meio ciclo de onda. As equações 1, 2 e 3 apresentam o comportamento da corrente sobre o TCR (Mohan and Rajiv, 2002).

$$I_1(\alpha) = V \cdot B_{TCR}(\alpha) \quad (1)$$

$$B_{TCR}(\alpha) = B_{m\acute{a}x} \cdot \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{1}{\pi} \text{sen}(2\alpha) \right) \quad (2)$$

$$B_{m\acute{a}x} = \frac{1}{\omega \cdot L} \quad (3)$$

TSC – Tiristor Chaveando Capacitor

O TSC monofásico é apresentado na Figura 7, sendo composto por um capacitor e uma chave bidirecional formada por dois tiristores em antiparalelo com um pequeno indutor limitador de corrente. Este limitador de corrente terá a função de limitar a corrente de pico sobre o tiristor em correntes anormais ocasionadas, por exemplo, pelo mau funcionamento dos tiristores e chaveamento em momento errado, além disso, evitando a ressonância entre dispositivos da rede para frequências múltiplas do sistema.

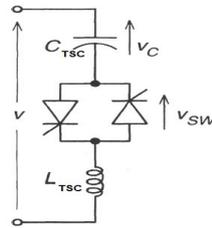


Figura 7: Configuração do TSC.

A chave tiristorizada do TSC terá a função básica de conectar ou não o banco de capacitores ao sistema. Atuando desta forma como uma chave ON-OFF para o banco de capacitores, ao contrário do TCR na qual a chave irá controlar a indutância total do banco de indutores visto pelo sistema.

SVC modelado

O SVC adotado neste projeto foi instalado na barra de Viana II/500 kV, Figura 8, e será composto por 2 TCRs, 1 TSC e 1 filtro de harmônicas, conforme ilustrado na Figura 9.

Para dimensionamento do SVC foram feitas simulações com perfil de carga leve, média e pesada, avaliando a inserção do SVC com valores variados. Através da variação do valor dos bancos de capacitores do TSC e dos reatores do TCR, buscou-se manter o perfil de tensão do barramento da subestação de Viana II entre valores de 1,045 e 1,07 p.u.

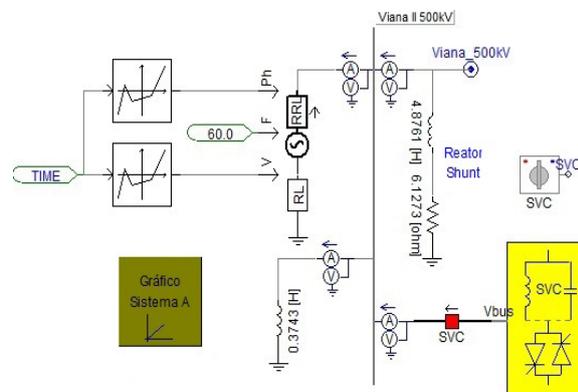


Figura 8: Sistema A com SVC.

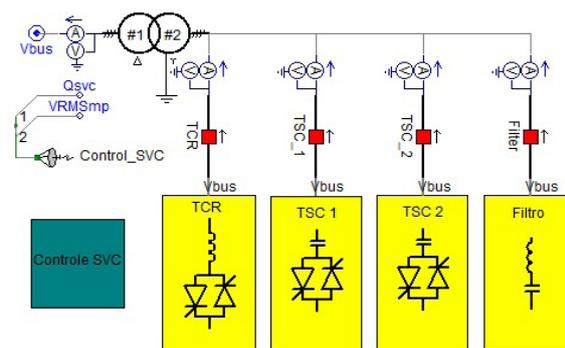


Figura 9: Bloco SVC.

Com base nestas simulações os valores dimensionados para o SVC foram desenvolvidos conforme Tabelas 2 e 3.

Dispositivo	Indutância ou capacitância	Tensão (kV)
L_{TCR}	9,75m H	17,5
C_{TSC}	173,23 μ F	17,5
L_{TSC}	0,50m H	17,5
$L_{Filtro5^a}$	2,26m H	17,5
$C_{Filtro5^a}$	120 μ F	17,5
$L_{Filtro7^a}$	1,13m H	17,5
$C_{Filtro7^a}$	130 μ F	17,5

Tabela 2: Parâmetros do SVC dimensionado.

Característica	Q_{SVC} [MVA]	Q_{TCR} [MVA]	Q_{TSC} [MVA]	Q_{Filtro} [MVA]
Capacitiva	150	0	120	30
Indutiva	220	250	0	0

Tabela 3: Faixa de operação SVC dimensionado.

Controle do SVC

Para o controle do SVC desenvolvido, foi implementada uma malha do tipo PI na qual é medida a tensão do barramento e comparado com uma tensão de referência (Padiyar, 2007), conforme Figura 10.

A saída desta malha de controle apresenta o valor da admitância do SVC necessária para manter a tensão do barramento no valor de referência.

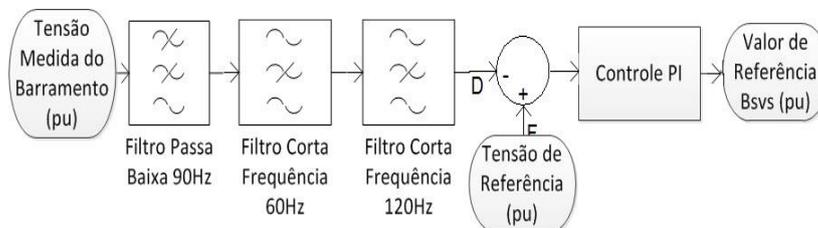


Figura 10: Malha de controle do SVC.

A partir do valor de Bsvs será avaliada a necessidade de inserção do TSC e calculado o ângulo de disparo α do TCR. Tal decisão é avaliada como:

- Bsvs indutivo – o TSC é retirado variando-se apenas o TCR, o valor do Bsvs será o somatório da admitância do TCR e o filtro de harmônicas;
- Bsvs capacitivo - mantem o TSC ativo variando o ângulo α , o valor do Bsvs será

o somatório da admitância do TCR, TSC e filtro de harmônicas.

A malha de cálculo do ângulo α desenvolvida no PSCAD/EMTDC é apresentada na Figura 11.

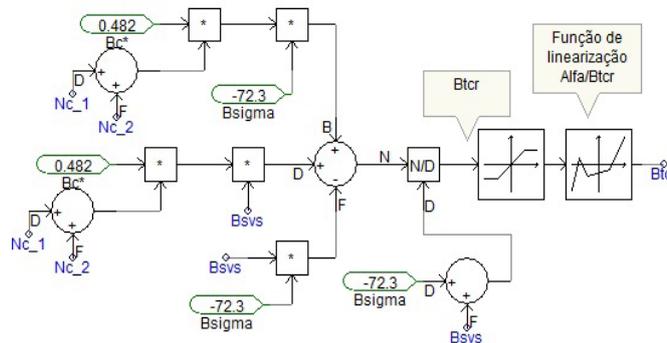


Figura 11: Malha de cálculo do ângulo α .

Na Figura 11 o bloco do PSCAD/EMTDC Função de Transferência Não Linear terá a função de indicar o ângulo α a partir do valor do Bctr desejado. Para tanto é feita a linearização da função de transferência apresentada nas equações 1 à 3, conforme ilustrado na Figura 12.

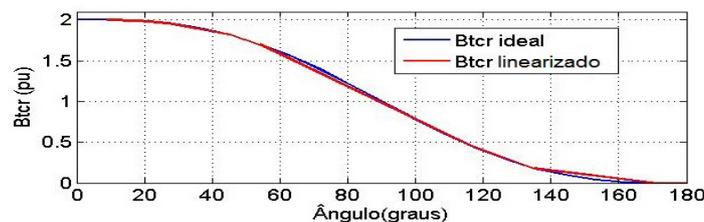


Figura 12: Curva de disparo Bctr versus α .

4 | RESULTADOS

Na simulação do sistema foi considerado o tempo variando de 0 à 24 segundos para que haja um equivalente a variação da carga no tempo real de 0 a 24 horas ao longo do dia. Desta maneira é possível visualizar a variação de carga em regime nos modos leve (00:00 às 07:00h), médio (07:00 às 18:00h e 21:00 às 24:00h) e pesado (18:00 às 21:00h). Além disso, foram feitas 03 simulações do sistema, sendo a primeira sem o SVC (gráfico azul), a segunda com o SVC ajustado para tensão do barramento Viana II em 1,05 pu (gráfico vermelho) e para 1,065 pu (gráfico verde).

As Figuras 13 e 14 ilustram respectivamente a resposta da carga ativa e reativa da linha de transmissão Mesquita/Viana II, com e sem a injeção de potência reativa do SVC. Ao longo do dia o Sistema absorve potência ativa fornecida pela linha de transmissão e dependendo do período fornece ou recebe reativos, por isso, na figura 14 é apresentado o fluxo de reativos ora com valor positivo (sistema A absorvendo) ora negativo (sistema A fornecendo).

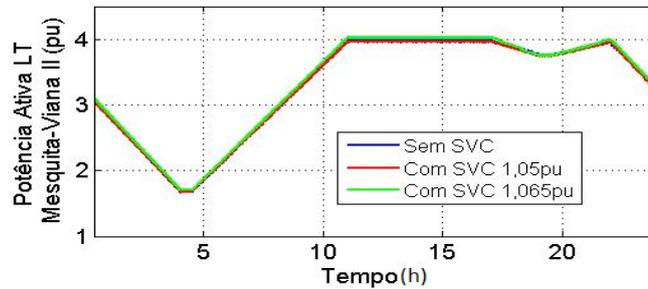


Figura 13: Potência Ativa LT Mesquita-Viana II.

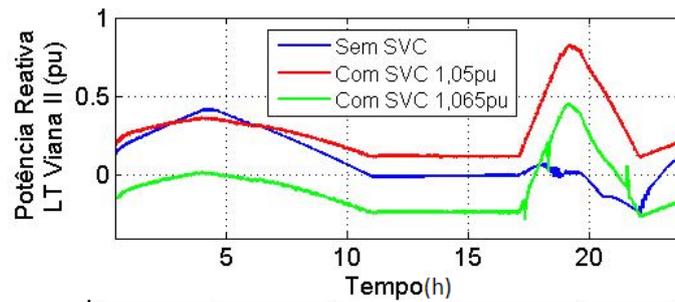


Figura 14: Potência Reativa LT Mesquita-Viana II.

As figuras 15 e 16 apresentam respectivamente as alterações dos valores do módulo e ângulo da tensão do barramento de Viana II ao longo do dia. Observa-se que a tensão no barramento de Viana II muda naturalmente numa faixa de 1,048 à 1,07 pu.

Porém, a potência ativa na linha não sofre variação com a mudança de perfil de tensão na barra de Viana II, fato este associado a não alteração da abertura angular na barra para os três perfis de tensão. Todavia, é importante ressaltar que a mudança de perfil de tensão altera o fluxo de potência reativa na linha, tendo este fato influencia direta pela injeção de reativos do SVC no sistema.

Para o aumento da tensão na barra Viana II, com perfil de tensão fixa em 1,065 pu, ocorre a diminuição de injeção de potência reativa através da linha para o sistema A. Nesta situação a injeção de energia reativa através do SVC apresenta características capacitivas, conforme Figura 17. De forma contrária para o ajuste de tensão em 1,05 pu, a tensão na barra deverá ser mantida abaixo de sua condição natural sem SVC, sendo desta forma demandada maior potência reativa através da linha e o SVC tende a manter características indutivas.

Com o controle do SVC pode ser observado na Figura 15 que a tensão do barramento é estabilizada nos valores pré-determinados na malha de controle. No ajuste de tensão para 1,065 pu, nos instantes de tempo de 17, 18 e 21 segundos são observados no perfil de tensão alguns picos na ordem de 0,015 pu devido a retirada e inserção dos capacitores do TSC 1 e TSC 2 conforme ilustrado nas Figuras 20 e 21.

A resposta de controle do sistema SVC pode ser observada na Figura 18. Esta curva possui o formato idêntico ao apresentado pela injeção de reativos do SVC, Figura 17. Desta maneira, comprova-se que o dispositivo SVC desenvolvido está trabalhando

da forma esperada, ou seja, tendo a injeção de reativos de acordo com a demanda solicitada pela malha de controle.

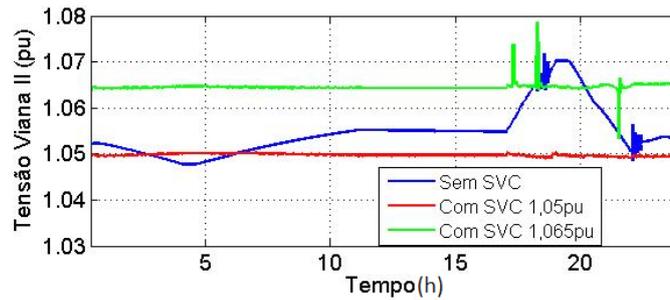


Figura 15: Tensão Barramento Viana II.

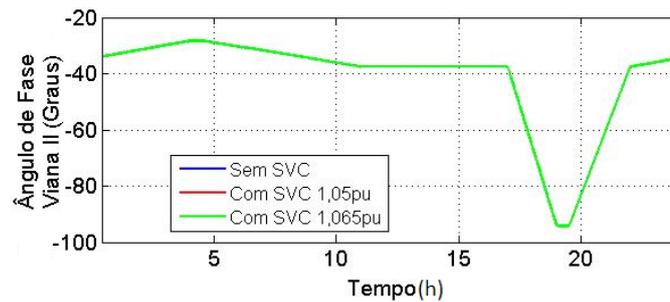


Figura 16: Ângulo de Fase Barramento Viana II.

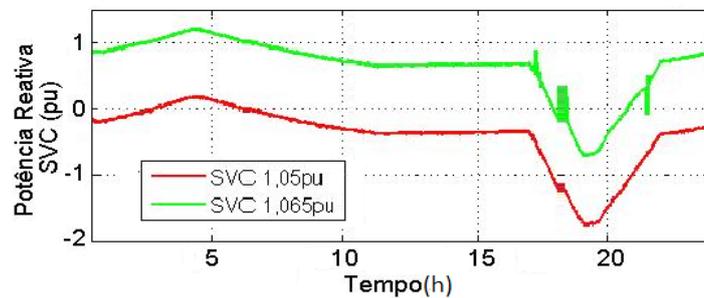


Figura 17: Potência Reativa SVC.

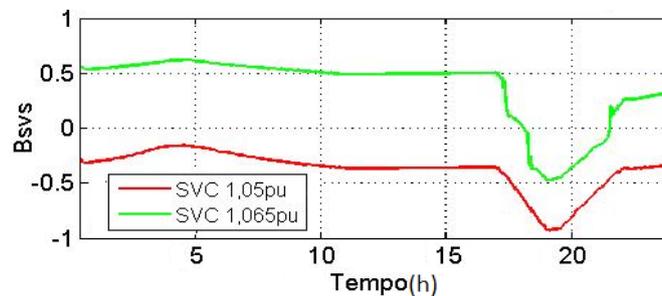


Figura 18: Sinal de Controle Bsvs.

A potência reativa disponibilizada pelo SVC será a soma do reativo de todos seus componentes, TCR, TSC 1, TSC 2 e Filtros. Sendo assim, na situação de controle em 1,05 pu, pode ser observado nas Figuras 20 e 21 que os TSC's 1 e 2 não são

ativados, havendo apenas a injeção de reativos do filtro de harmônicas que se mantém praticamente constantes ao longo do tempo, Figura 22, com a variação do TCR conforme ilustrado na Figura 19. Esta situação ocorre, pois, a malha de controle Bsvs tenta manter o SVC com características indutivas ao longo do dia, não necessitando dos TSC's.

A situação de controle de tensão em 1,065 pu exigirá a atuação dos TSC's 1 e 2 na maior parte do dia, pois, apenas no intervalo entre 17 e 20 segundos a tensão natural do sistema tende a ser superior a este valor de referência. Neste momento ocorre o desligamento dos dois TSC's conforme pode ser observado nas Figuras 20 e 21. A saída Bsvs da malha de controle neste perfil de controle mantém-se acima da situação de controle 1,05 pu ao longo de toda a simulação. Entretanto, mesmo o SVC injetando potência reativa capacitiva no sistema para manter o valor de referência da tensão em 1,065 pu, o TCR passa a injetar mais reativos do que a situação do SVC com características indutivas. Isto ocorre devido ao ajuste do fluxo de reativos ser composto pela soma de todos os componentes do SVC. Com a entrada de reativos capacitivos neste dispositivo em degraus, o ajuste final do sistema fica para o TCR, uma vez que este pode variar linearmente em função do ângulo de disparo de seus tiristores.

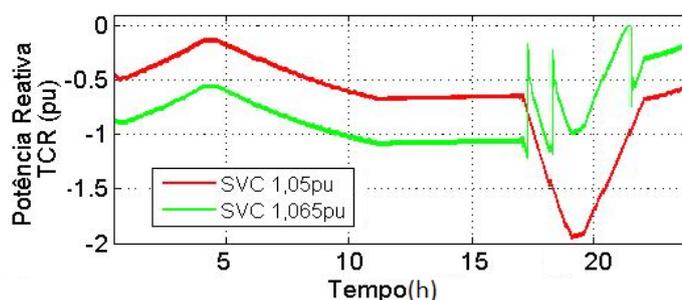


Figura 19: Potência Reativa TCR.

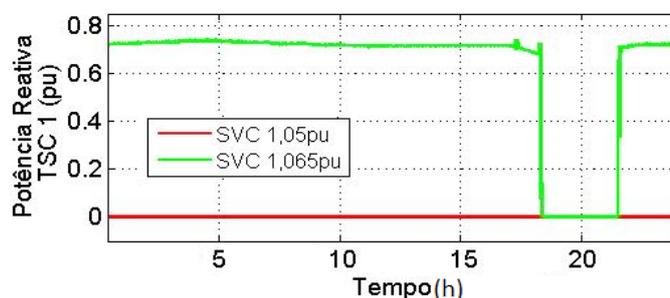


Figura 20: Potência Reativa TSC 1.

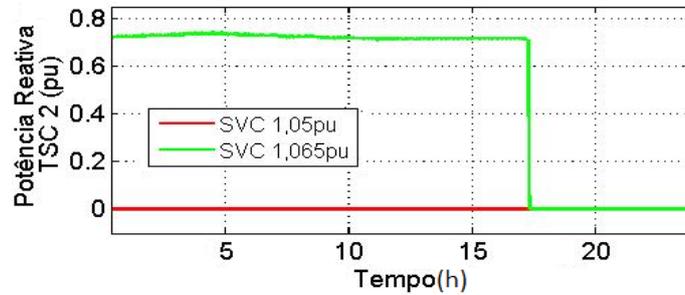


Figura 21: Potência Reativa TSC 2.

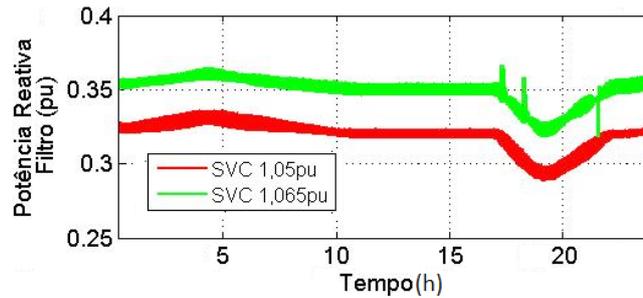


Figura 22: Potência Reativa Filtro.

O Fluxo de reativos do filtro apresentado na Figura 22, mantém-se praticamente fixo ao longo de toda a simulação, com afundamentos entre os instantes 17 e 21 segundos que são os momentos de pequeno afundamento de tensão do barramento. Tal situação é esperada, tendo em vista que o filtro é um elemento passivo conectado em paralelo ao barramento.

5 | CONCLUSÕES

Por meio deste trabalho foi simulado e validado o sistema que interliga o estado Espírito Santo ao de Minas Gerais através da linha Mesquita/Viana II 500kV no software PSCAD/EMTDC. Além disso, foi elaborado o dispositivo SVC para controle de tensão na barra de Viana II.

A proposta deste foi alcançada de forma satisfatória, com a modelagem do sistema atendendo as expectativas embasadas nos valores disponibilizados pelo ONS. O SVC desenvolvido também apresentou o controle e desempenho esperados, conforme expectativas teóricas, com o chaveamento do TCR e TSC's ocorrendo de acordo com a demanda feita pela malha de controle em seu sinal Bsvs.

O problema de controle de perfil de tensão na barra de Viana II, objeto de estudo deste projeto, foi corrigido de forma satisfatória com a inserção do SVC projetado, sendo apresentadas neste artigo duas situações dentro da faixa de controle projetada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos as informações cedidas pela equipe do ONS necessárias para elaboração deste projeto.

REFERÊNCIAS

Empresa de Pesquisa Energética (2011). **Nota Técnica DEA 16/11: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2012-2021)**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20120104_1.pdf>. Acesso em 04.jan.2014.

Grande Vitória/ES Desenvolvimento e Metropolização. Disponível em: <http://www.pucsp.br/artecidade/mg_es/textos/grande_vitoria_metropolizacao.pdf>. Acesso em 10.jan.2014.

Hingorani, N.G. and Gyugyi, L (2000). **Understanding FACTS: concepts and technology of flexible AC transmission systems**. IEEE Press, USA.

Mohan, M. and Rajiv, V. (2002). **Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems**. IEEE Press, USA.

Operador Nacional do Sistema (2013). **Casos de Referências utilizadas para estudos elétricos de fluxo de potência dentro do horizonte do Plano de Ampliações e Reforços na Rede Básica PAR 2014-2016**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/plano_ampliacao/casos_refer_regime_permanente.aspx>. Acesso em: 23 nov. 2013.

Padiyar, K. (2007). **Facts Controllers in Power Transmission and Distribution**. New Age International, New Delhi.

Watanabe, Edson H.; Barbosa, Pedro G.; Almeida, Katia C.; Taranto, Glauco N. “**Tecnologia FACTS - Tutorial**”, SBA Controle & Automação, Vol. 9, No. 1, 1998, p. 39-55.

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

Márcio Tonetti

Copel Geração e Transmissão S.A.
Curitiba – Paraná

Ilmar da Silva Moreira

Copel Geração e Transmissão S.A.
Curitiba – Paraná

João Nelson Hoffmann

Copel Geração e Transmissão S.A.
Curitiba – Paraná

RESUMO: Este artigo apresenta o caso do projeto de uma Linha de transmissão subterrânea (LTS) 230kV circuito duplo, com 8km de extensão onde foi comparada, técnica e economicamente com a mesma LT aérea equivalente. Através desta comparação evidencia-se o ganho propiciado pela tecnologia de cabos isolados seja pela vantagem dos aspectos ambientais e visuais, ou pela velocidade de execução e implantação ou ainda pela otimização da rota de implantação. As instalações do sistema elétrico de potência que estão prestes a não atender aos critérios de transmissão de energia estabelecidos pelo planejamento, devem ser adequadas à nova demanda através de alternativas técnicas e economicamente viáveis. Entre as alternativas possíveis estão a recapitação de instalações existentes ou a proposição de instalação de novos circuitos, subestações

e linhas de transmissão. Particularmente as linhas de transmissão, novos circuitos inferem a necessidade de diferentes rotas ao traçado possibilitando a melhor escolha, em função do balanço técnico-econômico, entre as possíveis formas construtivas: LT aérea com postes de concreto, LT aérea com estruturas metálicas e LT subterrânea com cabos isolados.

PALAVRAS-CHAVE: Linha de transmissão subterrânea, cabos condutores isolados, estruturas metálicas, aspectos ambientais.

1 | INTRODUÇÃO

A grande maioria das obras com origem nos leilões de transmissão da Aneel é de linhas de transmissão aéreas havendo, neste sentido, reduzidos projetos e construção de linhas de transmissão subterrâneas. Entre estes casos já leiloados pela Aneel de empreendimentos de linhas de transmissão (LTs) subterrânea está a LT Curitiba Centro - Uberaba em 230kV circuito duplo (LTS 230kV CTC-UBR), arrematada pela Copel Geração e Transmissão no leilão da Aneel nº05/2015 em novembro de 2015, da qual os detalhes de implantação serão apresentados neste artigo (ANEEL, 2015). Sua rota de implantação (Figura 1) em grande parte substitui a linha de transmissão aérea em 69kV

Capanema-Uberaba (LT 69kV CPM-UBR) em circuito duplo.

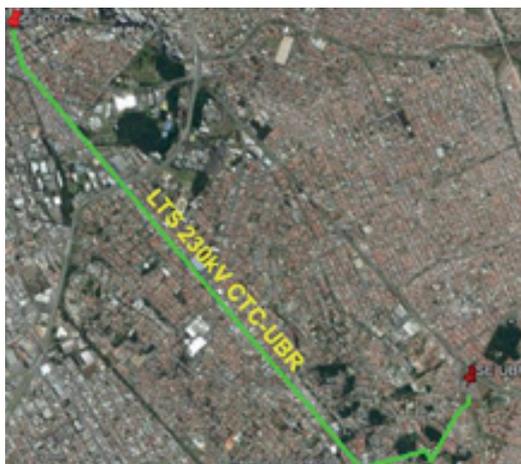


FIGURA 1 – Rota de implantação da LTS 230kV CTC-UBR.

A respeito da LT 69kV CPM-UBR trata-se de uma antiga instalação a qual certamente contribuiu positivamente para a formação do desenvolvimento da região. Porém a mesma há algum tempo é alvo de críticas da população local em função da poluição visual causada (Figura 2). A implantação da LTS 230kV CTC-UBR apesar de contribuir para solucionar e/ou reduzir esta situação causa, curiosamente, a opinião de que a LT 69kV CPM-UBR a ser retirada é patrimônio do povo curitibano. O pseudônimo “Avenida da Torres” dado à Avenida Comendador Franco onde estas estruturas se encontram também será suprimido com a implantação da LTS, sendo alvo de brincadeiras a respeito como “Avenida sem as torres”, etc.



FIGURA 2 – Poluição visual causada pela LT 69kV CPM-UBR.

2 | CARACTERÍSTICAS DA LTS

A presente LTS 230kV CTC-UBR é composta por dois circuitos onde um deles é considerado ativo e o outro backup em casos de manutenção e/ou situações emergenciais. A linha será implantada através de banco de dutos (vala) preenchidos com bentonita e recobertos com backfill (Figura 3a) e através de método-não-destrutivo

(MND) (perfuração direcionada) para os locais que não comportem a instalação do referido banco de dutos (Figura 3b). A seção típica para o trecho em que a LTS será implantada em vala propiciará a disposição vertical de ambos circuitos. Um agravante à execução das valas é que no caso na Avenida Comendador Franco não se pode ter intervenções no asfalto (danos/cortes) pelos próximos 10 anos.

O uso de dutos corrugados está prevista para que as valas possam ser executadas e fechadas rapidamente, sem que para isto tenha-se o cabo já instalado. Antes da recomposição da pavimentação ou do terreno original, será realizada a inspeção dos dutos através da passagem de mandril (COPEL, 2016).

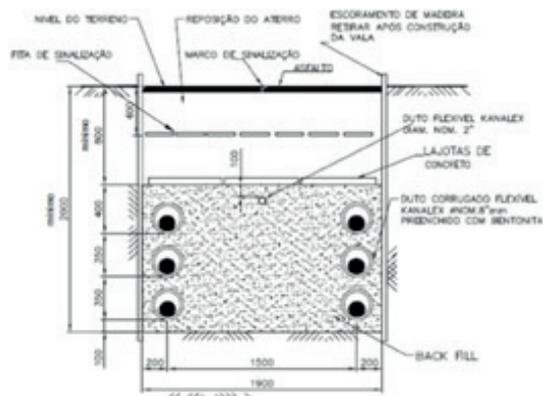


FIGURA 3a – Seção típica LTS CTC-UBR.

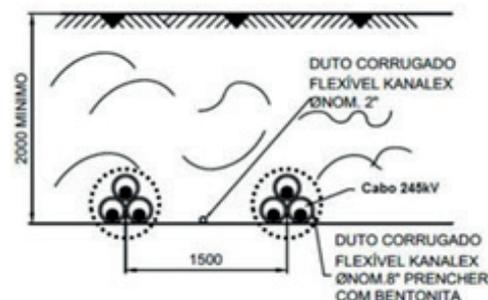


FIGURA 3b – MND para LTS CTC-UBR.

A concepção de dois circuitos em paralelo compartilhando a mesma vala foi de difícil definição, necessitando buscar juntamente com a equipe de manutenção, soluções já adotadas em outras empresas a fim de minimizar os problemas de segurança e os impactos no método de manutenção corretiva, em função da distância a ser considerada entre os circuitos e os limites da vala.

Ao longo de toda a LTS serão instalados dutos destinados ao lançamento do cabo óptico com o objetivo de prover comunicação e controle entre as duas subestações. Serão instaladas caixas de armazenamento de cabo óptico ao longo da LTS. A capacidade de corrente de longa duração e curta duração, especificadas no Edital de leilão N° 0052015 – LOTE E, são respectivamente 910A e 1205A (COPEL, 2016). Para atender estes requisitos técnicos foi dimensionado a aplicação do cabo XLPE com ampacidade equivalente, classe de tensão 245 kV e seção transversal 1200mm² alumínio. O monitoramento de temperatura dos cabos será feito por meio de fibras ópticas instaladas no próprio cabo, formando o chamado sistema DTS (Distributed Temperature Sensing).

O sistema de aterramento a ser utilizado é o tradicional cross-bonding (Figura 4) composto por quatorze caixas de desconexão endo que em seis destas há a previsão da instalação de descarregadores de 10kV. A interligação entre as caixas de desconexão e os cabos condutores ou terminais das subestações será feita através de cabo isolado 240mm² (COPEL, 2016).

Ao longo do traçado previsto de aproximadamente 8km, serão construídas 8 caixas de emenda, consideradas aqui como buracos de emenda devido ao seu formato construtivo não prever paredes de alvenaria e/ou suportes para fixação do cabo, exceto os momentâneos para a execução dos trabalhos envolvidos. Após a realização da passagem dos cabos e da execução das emendas e aterramento, os buracos de emenda serão preenchidos com backfill e areia, sendo finalizado com solo da região (COPEL, 2016).

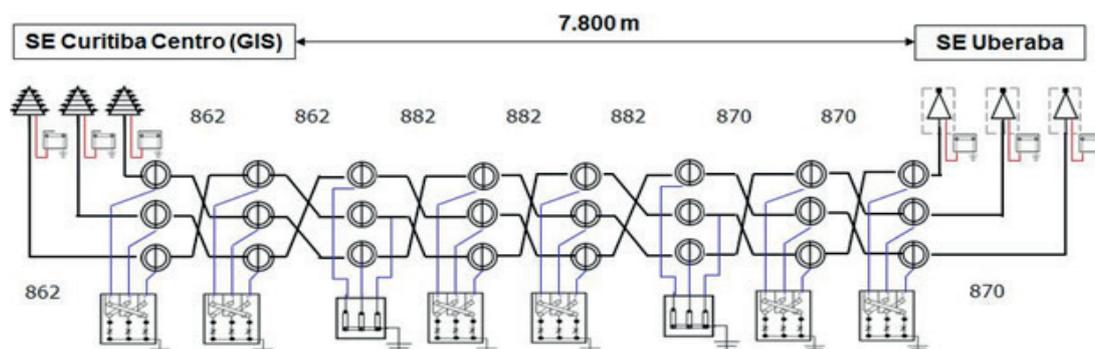


FIGURA 4 – Sistema de aterramento cross-bonding da LTS 230kV CTC-UBR.

3 | OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DA LTS

Na escolha da rota de uma LTS, foi realizado paralelamente o levantamento das interferências (Figuras 5 e 6). Quanto mais precisa for a campanha para localizar estas interferências, caracterizando-as segundo seu tipo, o material aplicado, sua profundidade, bem como possíveis fontes de problemas futuros, maior será a otimização das obras civis e de instalação (LOPES, 2010).

Os principais obstáculos estruturais encontrados são compostos por viadutos, trincheiras e cruzamentos com rodovia. Este último exclusivamente será tratado a partir da execução da passagem dos dutos sob estas pelo uso do método MND.



FIGURA 5a – Trincheira e rio canalizado.



FIGURA 5b – Viaduto e tubulações.



FIGURA 6a – Traçado e tubulações.



FIGURA 6b – Traçado e tubulações.

A previsão inicial é trabalhar com quatro frentes de execução dos bancos de dutos (Figura 7), sendo uma frente executando os MND's e outras três frentes de instalação/construção de caixas de emenda/passagem para os cabos condutores e ópticos. Assim, uma única frente de MND fará todas as travessias onde não houver possibilidade de se fazer o método do banco de dutos convencional. As 3 frentes de caixas de emendas/passagens acompanharão as frentes dos bancos de dutos (COPEL, 2016).



FIGURA 7 – Frentes de trabalho para implantação da LTS 230kV CTC-UBR.

Para a implantação da LTS 230kV CTC-UBR há necessidade de interdição de uma das vias da Avenida Comendador Franco em no mínimo 50m lineares pela largura da faixa, para carga e/ou descarga de material bota-fora e bota-espera (Figura 8). Todas as interdições devem ser programadas com os órgãos competentes buscando os horários de menor fluxo de veículos, segundo o estudo de trânsito elaborado, e menor impacto à população local. Todas as sinalizações devem seguir o padrão dos órgãos competentes locais.

A intenção é com isto deixar os materiais e banco de dutos o menor tempo possível em exposição na região de instalação. Assim, além da agilidade no processo de implantação podem-se minimizar problemas de vandalismo e até mesmo furto

de materiais e ferramentas envolvidos, além de evitar acidentes com transeuntes da região (COPEL, 2016).

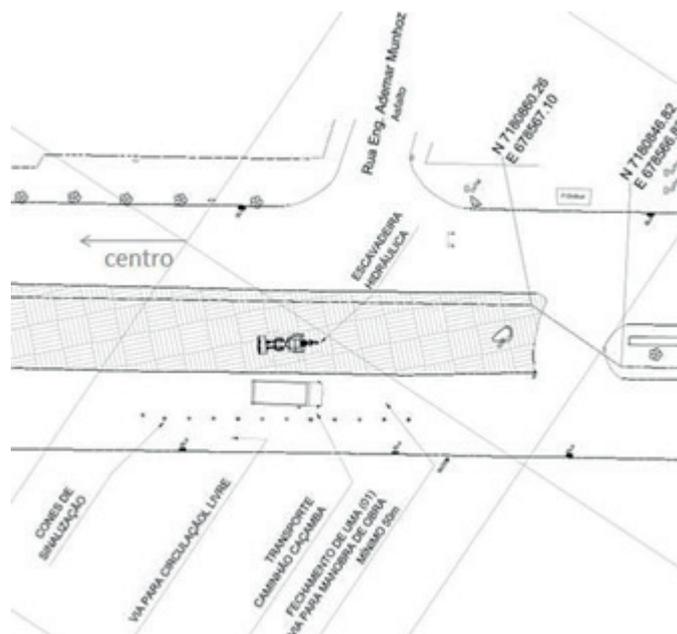


FIGURA 8 – Frentes de trabalho para implantação da LTS 230kV CTC-UBR.

Especificamente para a implantação da LTS 230kV CTC-UBR, as atividades referenciadas não se limitam apenas à concessionária local. Todos os órgãos competentes, responsáveis pela gestão do meio urbano da cidade de Curitiba/PR solicitaram diversas explicações e apresentações a respeito, pois trata-se de um sistema de características totalmente diferentes daquelas aplicadas à LT aérea convencional.

Desta forma, o processo de licenciamento ambiental solicitou de antemão a apresentação ao órgão competente do município além do estudo de trânsito, o documento chamado plano de ataque (Figura 9) cuja confecção foi de extremo trabalho, uma vez que o projeto executivo na época não havia sido ainda concebido.

Através do plano de ataque foi possível a análise antecipada de algumas interferências, principalmente aquelas que envolvem a movimentação de materiais e equipamentos, uma vez que o detalhamento demonstrou, por exemplo, a relação de equipamentos, quantidade de materiais e pessoas envolvidas para determinada atividade componente à implantação da LTS (COPEL, 2016).

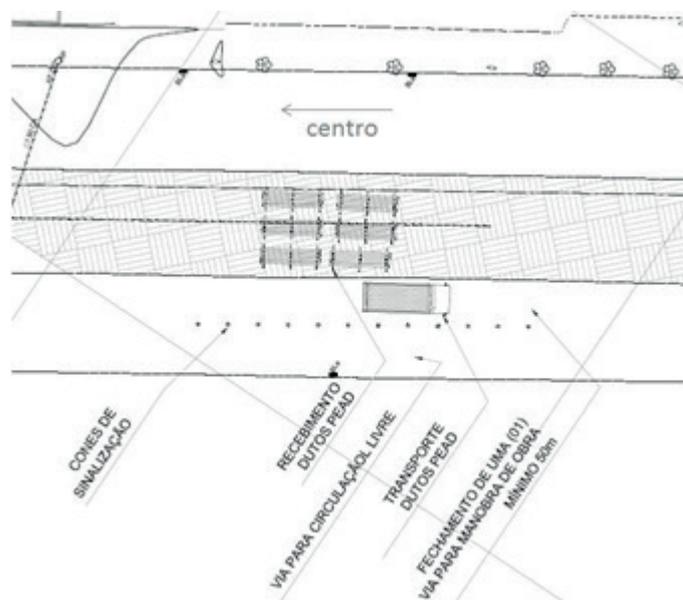


FIGURA 9 – Frentes de trabalho para implantação da LTS 230kV CTC-UBR.

Também concluiu-se que os impactos ambientais para a implantação da referida LTS 230kV CTC-UBR, pelo fato de ser caracterizada como subterrânea, neste caso são reduzidos. Pelo conhecimento de outros empreendimentos na região, isto não aconteceria caso a concepção desta LT seguisse os padrões de uma linha de transmissão aérea convencional.

O estudo de trânsito foi responsável pelas respostas ao impacto que será causado ao fluxo de veículos na região de implantação da LTS 230kV CTC-UBR. O maior impacto identificado está localizado na Avenida Comendador Franco, uma vez que esta é utilizada como corredor direto de deslocamento com grande fluxo de veículos interligando o Aeroporto Internacional de Curitiba (Afonso Pena) ao centro da capital paranaense (Figura 10). As atividades nesta região deverão ser muito bem organizadas e planejadas para que não ocorram grandes impactos e atrasos ao empreendimento (COPEL, 2016).



FIGURA 10 – Frentes de trabalho para implantação da LTS 230kV CTC-UBR.

4 | COMPARATIVO DA LTS À LT AÉREA CONVENCIONAL

A tomada de decisão entre estes modelos, do ponto de vista técnico, baseia-se nos aspectos de planejamento do sistema e na sua operação, considerando as diferenças substanciais das características técnicas de cada sistema. Não menos importante, os aspectos ambientais e estéticos também são fatores primordiais para esta análise.

Quanto maior o nível de tensão do circuito maior é o custo por km ou por MVA do cabo subterrâneo comparado com uma LT aérea equivalente, sendo que a relação de custo de investimento entre cabos subterrâneos e linhas aéreas são da ordem de 8 a 16 vezes para a faixa de tensão entre 220kV à 362kV (LOPES, 2010).

Para o presente caso, comparando-se a LTS 230kV CTC-UBR à uma LT aérea convencional de circuito duplo (Figura 11), com características técnicas semelhantes, o custo do empreendimento está em torno de 9 para 1, ou seja, o custo inicial envolvido para a implantação da LTS está em torno de 9 vezes ao custo de implantação de uma LT aérea convencional equivalente.



FIGURA 11 – Frentes de trabalho para implantação da LTS 230kV CTC-UBR.

Apesar de as linhas aéreas e os cabos subterrâneos serem completamente diferentes, devem possuírem vida útil similares em função do tempo de concessão prescrito pela Aneel que em média igual a 30 anos. Os custos de manutenção preventiva para cabos subterrâneos geralmente são menores do que os de linhas aéreas em função da redução acentuada na taxa de falhas atrelada às linhas subterrâneas.

As relações de custos podem ser refinadas considerando todos os custos envolvidos incluindo os operacionais. Estas relações podem variar significativamente

devido aos diferentes requisitos de rota, planejamento, requisitos legais e compensações ambientais para cada projeto. Quando se inclui os custos das perdas nestas relações elas sofrem uma ligeira redução, uma vez que sempre se deve atender aos requisitos dos editais da Aneel quanto às perdas máximas das linhas de transmissão (LOPES, 2010).

Particularmente, os custos de manutenção corretiva para uma LTS tende a ser maior quando comparado ao custo de uma LT aérea convencional, uma vez que a atuação nos circuitos é mais demorada em função do acesso aos cabos. O ferramental e pessoal também devem ser especializados e preparados para a ação. Por se tratar de ambiente urbano, isto acaba também impactando no custo de manutenção. Mesmo que em uma LT aérea exista regiões onde o acesso é dificultoso, comparativamente em uma LTS sua extensão normalmente dá-se em ambiente urbano o que acaba dificultando as ações e necessitando de licenças, sinalização, coordenação de trânsito e outros para a intervenção.

Para a presente LTS 230kV CTC-UBR, após sua instalação, prevê-se trabalhar como complemento à manutenção preventiva a aplicação da manutenção visual copartilhada a fim de evitar problemas principalmente com interferências futuras.

5 | CONCLUSÃO

Através da implantação da linha de transmissão subterrânea foram demonstradas algumas das vantagens técnicas deste modelo de LT comparado à mesma Linha de transmissão aérea equivalente.

Foram detalhados os critérios de tomada de decisão e dificuldades para a implantação da linha de transmissão subterrânea, baseados no plano de ataque elaborado antes do projeto executivo.

Conforme a breve comparação financeira elaborada entre a implantação da linha de transmissão subterrânea e a mesma Linha de transmissão aérea equivalente no padrão urbano e rural, percebe-se que o empreendimento em questão está dentro do esperado.

Com a LTS até o momento, houve redução do impacto da Linha de transmissão ao meio ambiente, propiciando mais uma opção nesta busca por resolver este impasse entre o desenvolvimento e a conservação ambiental, amenizando inconvenientes sociais.

A Copel espera que, através deste compartilhamento da breve experiência da Copel vivida na implantação inicial deste empreendimento, contribua de alguma forma com o setor para o desenvolvimento de novas implantações deste tipo de tecnologia de linha de transmissão.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Edital do leilão nº 05/2015-ANEEL. **Licitação para a Concessão de Serviço Público de Transmissão de Energia Elétrica, incluindo a Construção, Operação e Manutenção das Instalações de Transmissão do Sistema Interligado Nacional.** Brasília, outubro de 2015;

COPEL GET; PRYSMIAN GROUP. **Projeto Básico LTs: Memorial Descritivo.** Julho de 2016;

LOPES, Julio César Ramos. **Noções Básicas de Planejamento de Sistema e Estudos de Viabilidade de Linhas de Transmissão Subterrâneas.** São Paulo. Abril de 2010.

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

Guilherme Hideki Shibukawa

Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR
Maringá/PR

Eric Eduardo Goveia Pandolfo

Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR
Maringá/PR

Ricardo Andreola

Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR
Maringá/PR

Emerson Charles Martins da Silva

Instituto de Tecnologia Emerson Martins - ITEM
Maringá/PR

RESUMO: A ideia de se eliminar as linhas físicas também na transmissão de energia, assim como é feito na transmissão de dados, era um sonho da tecnologia que já está sendo realizado. Estudos sobre a transmissão de energia sem fio já foram realizados há muitos anos. Um mundo sem cabos já foi pensado por Nikola Tesla, um cientista croata do século XIX que tentou sem sucesso a construção de uma torre emissora de energia elétrica para toda a cidade em que vivia na época (TESLA, 2015). Tesla não concretizou seu propósito, porém, estava no caminho certo. Por meio do fundamento em artigos, teses, dissertações e livros, este projeto apresenta o desenvolvimento e a aplicação dos princípios de funcionamento da transmissão de energia sem fio com base

nos conceitos de indução eletromagnética e acoplamento magnético ressonante. Para isso, foram elaborados dois protótipos de transmissão de energia sem fio, dos quais, um representa a indução eletromagnética e, o outro, ressonância acoplada magneticamente. Cada protótipo contém o seu respectivo circuito transmissor e receptor composto por uma bobina. Nos testes de eficiência dos protótipos foi comprovado que a transmissão de energia do circuito ressonante é muito mais eficaz, constatando uma distância máxima de detecção de campo magnético de até 50 cm entre uma bobina e outra. No entanto, estes foram testes em pequena escala. Deste modo, é possível cogitar uma casa na qual os aparelhos eletrodomésticos não dependam da utilização de fios na alimentação elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Indução; eletromagnetismo; ressonância.

ABSTRACT: The idea of eliminating the physical lines also in power transmission, how it is done with data transmission, was a dream of technology, which is already being accomplished. Studies about wireless power transmission were made many years ago. A world without wires has been designed by Nikola Tesla, a Croatian scientist of the nineteenth century who tried unsuccessfully to build an electricity station tower for the whole city which he lived at the time (TESLA, 2015). Tesla has not made his purpose,

however, was on the right way. Through research on articles, theses, dissertations and books, the goal of this project is to develop and apply the principles of operation of the wireless power transmission based on the concepts of electromagnetic induction and resonant magnetic coupling. For this, two wireless power transmission prototypes were developed, which one of those is the electromagnetic induction and the other coupled magnetically resonance. Each prototype has its respective transmitter and receiver circuit that contains a coil. In the prototype efficiency tests it was proved that the power transmission resonant circuit is much more effective, resulting a maximum magnetic field detection distance up to 50 cm between one coil to another. However, these were a small scale tests. Therefore, it is possible to suppose a house where the appliances will not depend on wires in the power supply.

KEYWORDS: Induction; electromagnetism; resonance.

1 | INTRODUÇÃO

No passado, em uma residência familiar existiam poucos eletrodomésticos que necessitavam ser conectados a uma tomada de alimentação elétrica. Nos dias atuais, este número de eletrodomésticos vem crescendo exponencialmente. Como um efeito disso, evidentemente, a demanda por cabos também se tornou elevada. Com vistas à proteção do meio ambiente e a uma maior comodidade na utilização dos eletrodomésticos, uma indagação que surge é a seguinte: Seria possível reduzir a quantidade de cabos utilizados na alimentação elétrica dos aparelhos?

Com o conceito de transmissão de energia sem fio, a resposta é sim. Este é o propósito do presente trabalho. Foi realizado um estudo a respeito da transmissão de energia elétrica sem fio, utilizando os conceitos de indução eletromagnética (indução mútua) e acoplamento indutivo ressonante.

No princípio do século XIX já se sabia que era possível, a partir de um fenômeno elétrico, obter uma manifestação magnética. A partir disso, surge a seguinte indagação: se utilizando a eletricidade cria-se um campo magnético, seria possível o processo inverso, ou seja, a partir do magnetismo, obter um fenômeno elétrico?

Quem solucionou este problema foi o químico e físico Michael Faraday. Após uma série de experimentos, Faraday chegou à seguinte conclusão: se temos um circuito elétrico em um campo magnético variável, uma corrente elétrica será induzida neste circuito e percorrerá o fio que forma este circuito, definindo assim a indução eletromagnética (Blundell, 2012). É possível reproduzir em um experimento essa verificação de Faraday, que utiliza dois solenoides de um material condutor.

O primeiro (espira 1) é conectado a uma fonte de tensão de corrente contínua e a uma chave de retenção; o segundo (espira 2) é conectado a um amperímetro. Considerando inicialmente que a chave está aberta, após o fechamento, o amperímetro revela a passagem de uma corrente por determinado tempo, até a estabilização do campo magnético. Ao abrir esta chave, é passada uma corrente pelo amperímetro

novamente, porém, no sentido contrário. A corrente que passa pelo amperímetro é alternada, visto que hora a corrente flui em um sentido, hora no outro. É importante destacar que pelo solenoide 2 passa uma corrente elétrica, sendo criada uma diferença de potencial (ddp). Faraday denominou esta ddp de força eletromotriz induzida (BLUNDELL, 2012).

Com os dados obtidos por Faraday, o cientista Nikola Tesla teve a ideia de transmitir energia sem a utilização de um fio. No século XIX ele conseguiu acender uma lâmpada de baixa potência por indução eletromagnética (TESLA, 2012).

Ao ter partículas carregadas (elétrons) em movimento em um fio, produz-se um campo magnético em torno do mesmo. Este foi o primeiro conceito utilizado para se transmitir energia sem a utilização de um fio. Deste modo, aplicando-se uma corrente alternada em uma bobina primária, é possível transferir a energia para uma bobina próxima (secundária) através do campo magnético criado (Halliday, 2013). De acordo com Braga (2014), esta tecnologia é bastante utilizada nos transformadores em geral. Para melhor direcionamento das linhas de campo é utilizado um núcleo ferromagnético, pois na indução eletromagnética há uma grande perda de energia pelo fato das linhas de campo se dispersarem em todas as direções.

Estudos realizados por um grupo de pesquisa do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), liderado por Marin Soljacic decifrou este problema usando o conceito de ressonância acoplada magneticamente, com uma grande taxa de eficiência. Futuramente, este grupo de pesquisa estaria fundando uma empresa conhecida pela transmissão de energia sem fio, chamada *Witricity* (WITRICITY 2015).

De acordo com Witricity (2015), a ressonância acontece quando uma energia é transferida a um corpo físico, atingindo a frequência natural de vibração do material ao qual a ressonância acontece. Com isto, este objeto passará a vibrar intensamente e a amplitude tende a aumentar. Como citado por Faraday, o acoplamento magnético pode ser entendido quando dois objetos trocam energia por meio do campo magnético variante, emitido pela bobina primária (Blundell, 2012). Já o acoplamento ressonante, ocorre quando as frequências naturais de dois corpos são muito próximas.

Como citado por Sadiku (2013), um capacitor em paralelo com um indutor, possui uma frequência natural de oscilação (f_0) e, quando energizados por uma fonte de corrente alternada com a mesma frequência f_0 , obtêm-se a ressonância, onde há maior transferência de energia. Para isso, as reatâncias capacitivas e indutivas devem ter o mesmo valor, em módulo. Para determinar a frequência natural de oscilação do conjunto LC (capacitor e indutor em paralelo), deduz-se a seguinte fórmula:

$$X_C = X_L$$

Onde: X_C é a reatância capacitiva;

X_L é a reatância indutiva.

$$\frac{1}{2.\pi.f_o.C} = 2.\pi.f_o.L$$

$$f_o = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}} \quad (1.1)$$

Onde: C é a capacitância;

L é a indutância.

De acordo com Halliday (2013), em um circuito RLC em paralelo, a fórmula da impedância é dada por:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1.2)$$

Onde: R é a resistência do material (fio da bobina).

A partir da equação (1.2), quando X_L é igual a X_C , tem-se um circuito puramente resistivo e, a tensão e a corrente no circuito LC estão em fase, conseqüentemente, o fator de potência é igual a 1 (um), não havendo perda de potência por defasagem de corrente. Segundo Jorge (2012), estima-se que ocorre uma perda de 25% de energia no sistema atual de transporte e distribuição de energia por efeito *Joule*. A empresa *Witricity* garante que é possível obter uma eficiência de até 95% na transmissão de energia elétrica sem fio. Isto é possível, pois a transferência por ressonância é altamente seletiva em termos de frequência (SADIKU, 2013).

Quanto ao risco causado a seres vivos, essa tecnologia não é nociva à saúde, visto que este modo de transferência de energia não é radioativo (Cenci, 2013). Existe, ainda, uma organização independente ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) responsável por regulamentar os valores dos campos magnéticos e frequências emitidos por aparelhos que utilizam esta tecnologia. De acordo com ICNIRP (2009), a faixa máxima permitida de campo magnético é de 2 a 3 T e a frequência de 0 a 300 GHz. De acordo com Halliday (2013), calcula-se o valor do campo magnético por meio da seguinte fórmula:

$$B = \frac{\mu_0.i.n}{L} \quad (1.3)$$

Onde: B é o campo magnético;

μ_0 é uma constante;

i é a corrente;

n é o número de voltas da bobina.

A eficiência da transmissão de energia depende da distância entre o transmissor e o receptor e do tamanho de suas respectivas bobinas. É importante ressaltar que a transmissão não é afetada por paredes e obstáculos (Witricity, 2015). Desse modo, a

eficiência na transmissão de energia pode se dar de maneira a se conseguir níveis de eficiência de transferência muito maiores com a transmissão sem fio, do que com a própria transmissão convencional, com fio. Inclusive, é possível que os equipamentos que operarão com esta nova tecnologia reduzirão seu custo de fabricação, além, ainda, de possibilitarem maior comodidade com o seu uso.

A utilização de aparelhos sem fio seria um ponto positivo para o meio ambiente, visto que a demanda de cabos seria reduzida. Além da independência da tomada, isso eliminaria os riscos de choques elétricos e seria possível o acoplamento indutivo a fim de transmitir energia elétrica a mais de um dispositivo simultaneamente (Witricity, 2015). Seguindo este raciocínio, existem inúmeras possibilidades que seriam tangíveis: desde carregadores de celular até o funcionamento de equipamentos domésticos, sem a necessidade de estarem conectados à tomada.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Indução eletromagnética

Foi projetado um circuito para a aplicação do conceito de indução eletromagnética conforme mostrado na Figura 2.1.1.

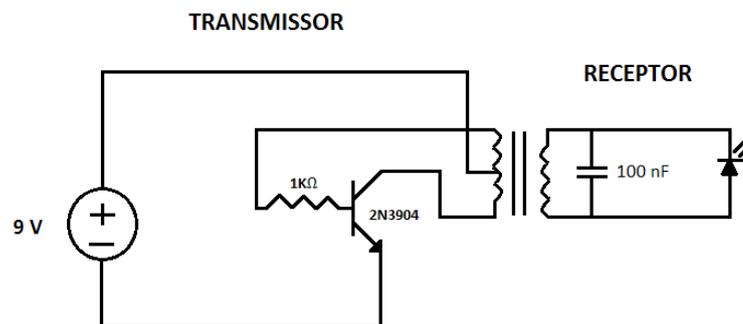


Figura 2.1.1 – Circuito indutivo

Fonte: Autores

Para isso, foram utilizados os seguintes componentes, listados na Tabela 2.1.1:

Material	Unidade	Especificação
Bateria	1 unidade	9 V
Bobina (primária)	1 unidade	Ø=0,51mm, 24 voltas
Bobina (secundária)	1 unidade	Ø=0,51mm, 24 voltas
Capacitor	1 unidade	100 nF
Led	1 unidade	Vermelho
Protoboard	1 unidade	840 furos
Resistor	1 unidade	1 KΩ
Transistor	1 unidade	2N3904

Tabela 2.1.1 - Lista de Materiais Protótipo Indução

Fonte: Autores

Neste protótipo, devido à necessidade de um circuito de chaveamento, foi polarizada a base do transistor. O período pode ser dividido em duas partes. No primeiro instante, a bobina primária está polarizada positivamente com uma tensão de 8,3 volts; em seguida, a base do transistor é alimentada, polarizando negativamente a bobina primária. Como os elétrons ora percorrem um sentido, ora em outro, a corrente é alternada.

A bobina do circuito receptor é excitada pelo campo magnético produzido pela bobina primária, acendendo um *led* no semiciclo positivo. A função do capacitor é filtrar as variações de tensão, possibilitando que a iluminação do *led* seja mais estável.

2.2 Ressonância magneticamente acoplada

Para a projeção deste circuito, foi imprescindível o uso de deduções matemáticas para definir o valor dos componentes a serem usados. Inicialmente, para determinar a capacitância, foram definidas a frequência da fonte de alimentação de 200 KHz e uma bobina com vinte e cinco espiras, com 4,5 cm de diâmetro.

Para a elaboração do solenoide, foi utilizado um fio de cobre esmaltado AWG-24, que de acordo com a tabela da *American Wire Gauge* (AWG), possui 0,051cm de diâmetro (POWERSTREAM, 2016).

De acordo com Braga (2014), A indutância da bobina pode ser definida a partir da seguinte equação:

$$L = 1,256 \cdot \frac{S \cdot n^2}{c} \cdot 10^{-8} \quad (2.2.1)$$

Onde: L é a indutância da bobina, em Henry;

S é a área abrangida por uma espira, em cm²;

c é o comprimento do enrolamento em cm;

E ainda:

$$S = \pi \cdot R^2 \quad \text{e} \quad c = d \cdot n$$

Onde: R é o raio da bobina, em cm;

d é o diâmetro do fio utilizado, em cm;

n é o número de espiras da bobina.

Realizando as devidas substituições na Eq. (2.2.1), obtêm-se:

$$L = 1,256 \cdot \frac{\pi \cdot R^2 \cdot n}{d} \cdot 10^{-8}$$

$$L = 1,256 \cdot \frac{\pi \cdot 2,25^2 \cdot 25}{0,051} \cdot 10^{-8} = 97,9206 \mu H \quad (2.2.2)$$

Substituindo este valor na Eq. (1.1), e isolando a capacitância, obtêm-se:

$$C = \frac{1}{4.\pi^2 . fo^2 . L} = \frac{1}{4.\pi^2 . 200000^2 . 97,9206 . 10^{-6}} = 6,4670 \text{ nF} \text{ (2.2.3)}$$

Foi projetado um circuito para a aplicação do conceito de ressonância acoplada conforme demonstrado na Figura 2.2.1.

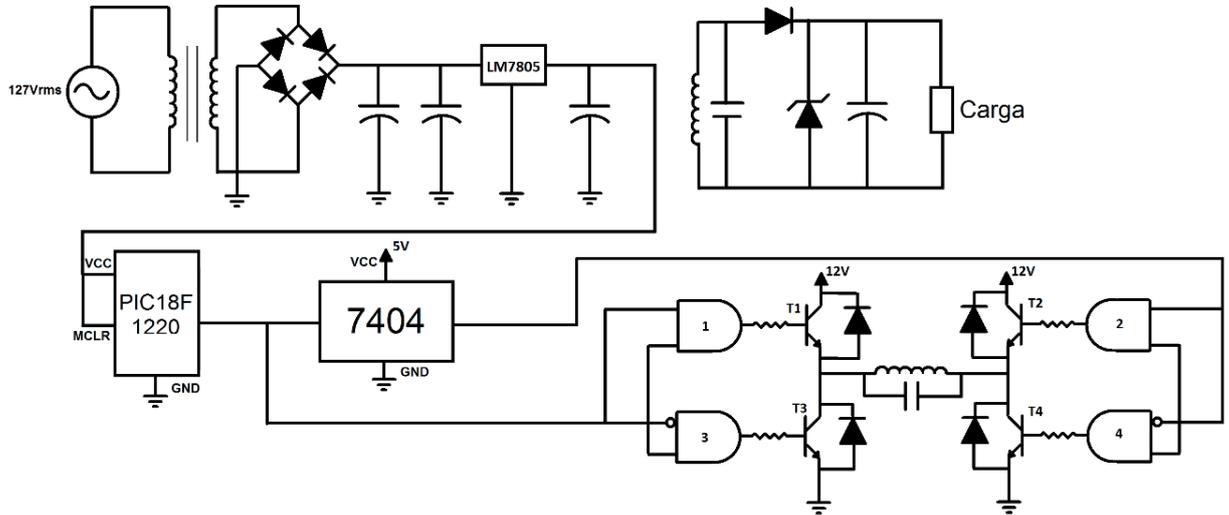


Figura 2.2.1 – Circuito ressonante

Fonte: Autores

Para isso, foram utilizados os seguintes componentes, listados na Tabela 2.2.1.

	Material	Quantidade	Especificação
	Bobina	1	Ø=0,51mm, 25 voltas
	Capacitor	2	Cerâmico, 3,3nF
	Capacitor	2	Cerâmico, 10nF
	Capacitor	1	Cerâmico, 100nF
	CI 7404	1	-
Circuito	LM 7805	1	-
Transmissor	Módulo L298N	1	-
	Protoboard	1	840 furos
	Bobina	1	Ø=0,51mm, 25 voltas
Circuito	Cabo de carregador	1	Padrão Nokia
Receptor	Capacitor	5	Cerâmico, 3,3nF
	Celular	1	Nokia 201 RM
	Diodo	1	1N4007
	Diodo Zener	1	1N4734
	Protoboard	1	840 furos

Tabela 2.2.1 – Lista de Materiais Protótipo Ressonância

Fonte: Autores

A Figura 2.2.2 mostra o esquema do circuito de configuração do microcontrolador PIC18F1220.

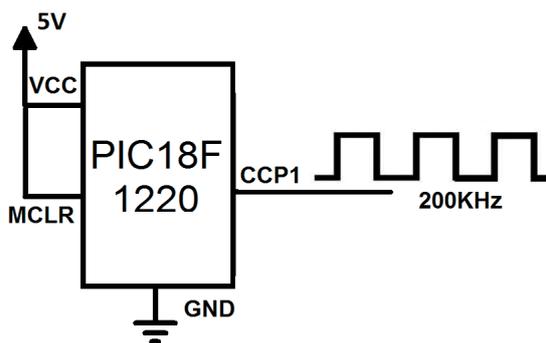


Figura 2.2.2– Circuito de configuração do microcontrolador PIC18F1220

Fonte: Autores

Primeiramente, foi configurado para o PIC18F1220 ter saída de onda quadrada com um *duty cycle* de 50%. Verificando o *datasheet* do fabricante do componente, nota-se as seguintes fórmulas para a sua configuração:

$$T_{pwm} = (PR2 + 1) \cdot 4 \cdot T_{osc} \cdot (\text{Prescaler do TMR2}) \quad (2.2.4)$$

$$DutyCycle = \frac{CCPRxL:CCPxCON < 5:4 >}{(PR2 + 1) \cdot 4} \quad (2.2.5)$$

Onde: T_{pwm} é o período do *PWM*;

T_{osc} é o período do oscilador principal;

$CCPRxL$ é o registrador dos números mais significativos;

$CCPxCON$ é o registrador que armazena os dois números menos significativos.

Lembrando que a frequência F_o calculada é de 200 KHz, logo, o período do *PWM* é igual a $5 \mu s$. O oscilador principal do microcontrolador tem a frequência de 4 MHz, portanto, o período é de $1 \mu s$. Calculando os valores dos registradores de acordo com as Eq. (2.2.4) e (2.2.5):

$$PR2 = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{\frac{4}{4 \cdot 10^{-6}} \cdot (1)} - 1 = 4 \quad (2.2.6)$$

$$CCPRxL:CCPxCON < 5:4 > = 0,5 \cdot (4 + 1) \cdot 4 = 10 \quad (2.2.7)$$

$$CCPRxL = 00000001$$

$$CCPxCON < 5:4 > = 10$$

Para selecionar o grupo de transístores a serem acionados, foi utilizado o circuito integrado 7404, uma porta lógica *not*. Seu circuito interno pode ser visto na Figura 2.2.3.

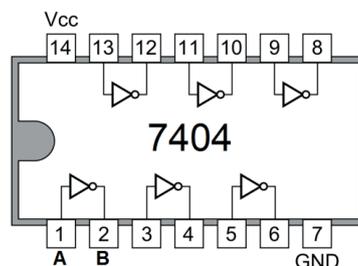


Figura 2.2.3 – Circuito interno do CI 7404

Fonte: Freescale Semiconductor, 2016

A fim de se obter uma corrente alternada nos terminais da bobina, com tensão de 16,4 V no semiciclo positivo e negativo, foi utilizado o módulo ponte H L298N. A Figura 2.2.4, representa o circuito do módulo.

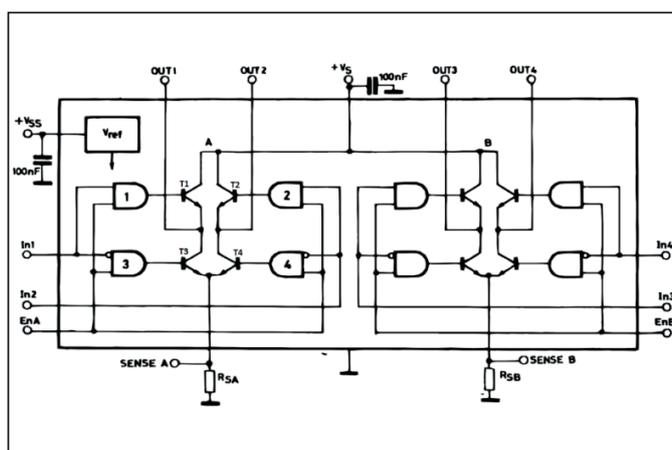


Figura 2.2.4 – Circuito do módulo L298N

Fonte: Stmicroelectronics, 2016

Se atentando apenas à ponte H da esquerda da figura 2.2.4, a saída do PIC18F1220 está conectada ao pino In1 do módulo L298N e, a saída do CI7404, ao pino In2. Deste modo, quando a saída do microcontrolador está em nível lógico 1 (um), a corrente aciona as portas lógicas 1 e 4, logo, a corrente flui entre os transístores T1 e T4. Em seguida, em nível lógico 0 (zero), as portas lógicas 2 e 3 são acionadas, logo, a corrente flui entre os transístores T2 e T3.

A Tabela 2.2.2 representa a tabela verdade do módulo L298N:

Entradas		Saídas					
In1	In2	T1	T2	T3	T4	Out 1	Out 2
0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1	1	0
1	1	0	0	0	0	0	0

Tabela 2.2.2 – Tabela Verdade L298N

Fonte: Autores

É importante ressaltar que, ao se desenergizar uma bobina, flui-se uma corrente no sentido oposto ao original, sendo capaz de queimar os componentes. Portanto, o módulo L298N, possui diodos em paralelo com os transístores, que funcionam como um sistema de proteção. Em subsequência, nas saídas Out 1 e Out 2, foram conectados os terminais da bobina em paralelo com dois capacitores de 3,3nF, finalizando o circuito transmissor.

Como representado na Figura 2.2.1, primeiramente no circuito receptor, tem-se a bobina em paralelo com cinco capacitores de 3,3 nF. Em seguida, com intuito de transformar a corrente alternada em corrente contínua, há um retificador de meia onda utilizando um diodo 1N4007. Para a estabilização da tensão após a retificação, foi colocado um capacitor de 100 nF. Devido à necessidade de alimentar a carga com aproximadamente 5 V, foi utilizado o diodo zener, que regula a tensão para 5,6 V, finalizando o circuito receptor.

Para aumentar a distância na transmissão de energia, é possível a construção de repetidores, apenas utilizando uma bobina de 25 espiras em paralelo com 5 capacitores de 3,3 nF.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Finalizados os protótipos de transmissão de energia por indução e ressonância, foram analisadas as formas de ondas nas bobinas transmissoras e receptoras bem como, a distância máxima de detecção de campo magnético entre as bobinas.

A princípio, para simular a indução eletromagnética, com o auxílio de um osciloscópio digital, analisou-se as formas de onda do circuito transmissor e receptor do protótipo, a uma distância de aproximadamente 1 cm e sem nenhuma carga no circuito receptor. A tensão da fonte era de 16,5 V, a frequência do circuito de 100 KHz, bobinas 97,92 μ H e a capacitância de 100 nF.

As Figuras 3.1 e 3.2, representam a forma de onda da bobina transmissora e receptora, respectivamente.



Figura 3.1 – Indução circuito transmissor

Fonte: Autores

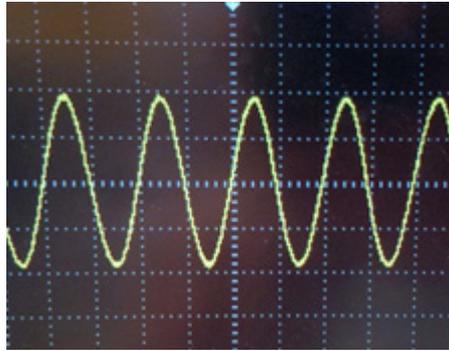


Figura 3.2 – Indução circuito receptor

Fonte: Autores

Posteriormente, para simular a ressonância foram feitas as análises das formas de ondas do circuito transmissor e receptor, a uma distância de aproximadamente 2 cm sem nenhuma carga no circuito receptor. A tensão da fonte era de 16,5 V, a frequência do circuito de 200 KHz, bobinas $97,92 \mu\text{H}$ e a capacitância de 6,6 nF.

As Figuras 3.3 e 3.4, representam a forma de onda da bobina transmissora e receptora, respectivamente.

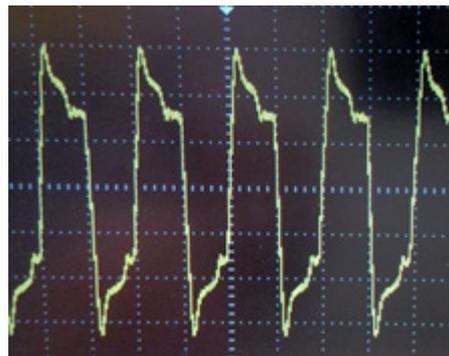


Figura 3.3 – Ressonância circuito transmissor

Fonte: Autores

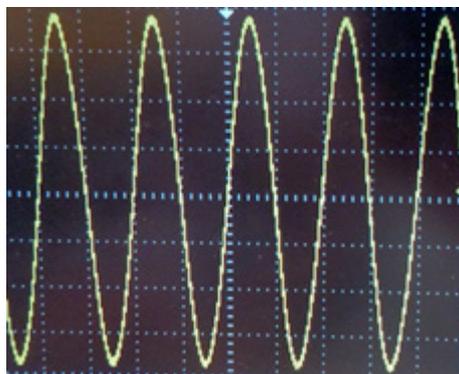


Figura 3.4 – Ressonância circuito receptor

Fonte: Autores

Subsequentemente, foram coletadas as tensões detectadas pelas bobinas receptoras, em função da distância das bobinas transmissoras, representadas pela

Tabela 3.1:

Distância	Tensão	
	Indução	Ressonância
1 cm	10,4 V	25,4 V
3 cm	2,6 V	15 V
6 cm	1,04 V	3,6 V
9 cm	480 mV	1,5 V
12 cm	192 mV	720 mV
15 cm	144 mV	256 mV
35 cm	16 mV	108 mV
50 cm	-	11,8 mV

Tabela 3.1 – Comparação de Tensão x Distância

Fonte: Autores

A Figura 3.5 representa os resultados obtidos na indução e na ressonância eletromagnética.

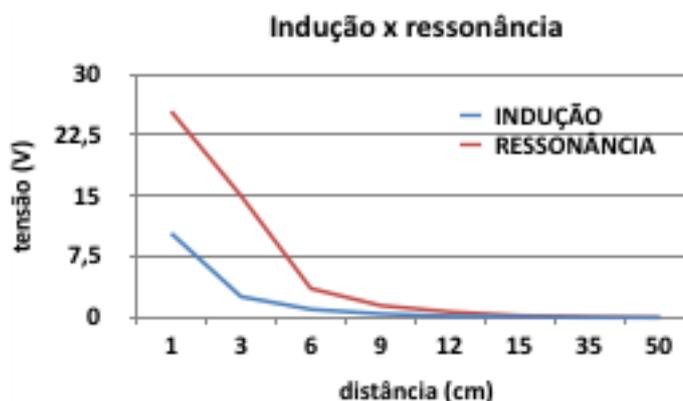


Figura 3.5 – Gráfico indução x Ressonância

Fonte: Autores

A Figura 3.6 representa a detecção de campo magnético a uma distância de aproximadamente 50 cm.

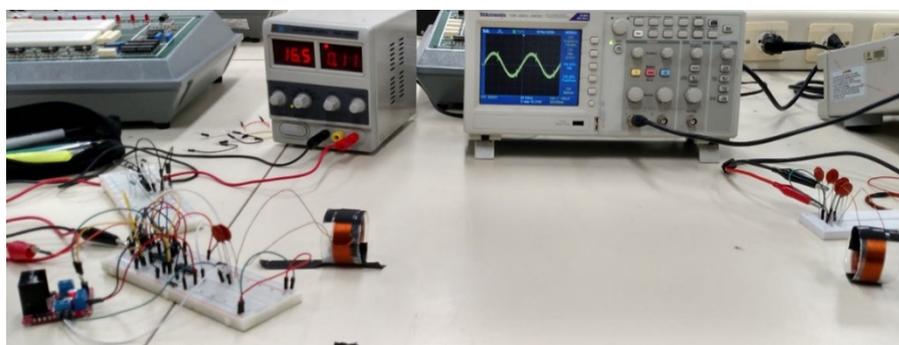


Figura 3.6 – Detecção do campo magnético

Fonte: Autores

Ao colocar um led no circuito receptor de ambos os protótipos, para acender

o led, na indução, a distância máxima foi de 4 cm entre as bobinas, enquanto na ressonância, 9 cm. Todavia, utilizando um repetidor na ressonância, essa distância aumentou para 12 cm. O último passo dos testes foi carregar um celular através da ressonância acoplada magneticamente, representado na Figura 3.7.

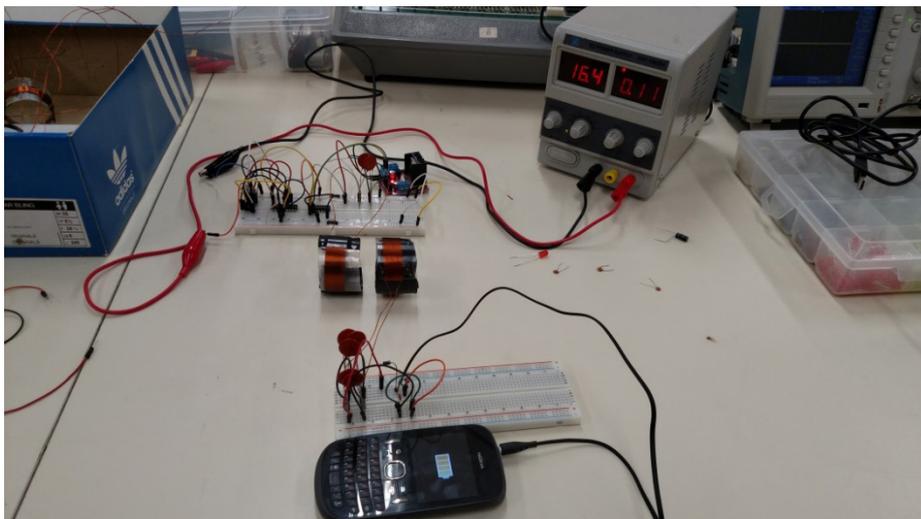


Figura 3.7 – Carregamento do celular

Fonte: Autores

Analisando as Figuras 3.1 e 3.2 (indução) e comparando-as com as Figuras 3.3 e 3.4 (ressonância), fica visível que a amplitude da onda da ressonância é muito maior em termos de tensão. Na Tabela 3.1, na indução eletromagnética, nota-se que há uma perda de tensão entre o gerador e a bobina transmissora. A uma distância de 1 cm, de 16,5 V da fonte de alimentação, apenas 10,4 V é apresentada na bobina. Isto ocorre pelo fato da presença da potência reativa, ou seja, a corrente não estava em fase com a tensão. O gerador não oscilava na mesma frequência natural de oscilação do circuito LC em paralelo, com isso, ocorre uma perda considerável de campo magnético que “volta” para a fonte, devido este não ser um circuito puramente resistivo. Na ressonância, acontece o processo inverso da indução. Como citado anteriormente, quando a frequência de oscilação da fonte coincide com a frequência natural de oscilação do circuito LC, a amplitude tende a aumentar. Com a montagem do protótipo isto pode ser comprovado na prática, visto que, a uma distância de 1 cm, a tensão da fonte era de 16,5 V e a tensão na bobina primária de 25,4 V.

Outro ponto positivo da ressonância é a questão da distância de detecção do campo magnético. Enquanto na indução foi medido 16 mV a uma distância de apenas 35 cm, na ressonância atingiu-se 11,8 mV a uma distância de 50 cm.

A Figura 3.7 apresenta o carregamento de um celular pelo protótipo de ressonância a uma distância de aproximadamente 4 cm entre as bobinas. Mesmo chegando 5,6 V no celular, nota-se que a corrente ainda é muito baixa (10 mA). Para aumentar a corrente, é necessário diminuir o número de espiras da bobina, visto que, o tempo de carregamento do indutor diminuiria. Um cuidado a ser tomado, é não permitir que

o indutor se carregue totalmente pois, com isso, ele se torna um curto circuito. Uma possível hipótese, seria o aumento da frequência. Para tal feito, é necessário realizar o cálculo da equação (2.2.3) para definir um novo valor de capacitância, que, em paralelo com o indutor, tenha a mesma frequência natural de oscilação que a do gerador.

Devido à limitação de 300 KHz do módulo ponte H L298N, não foi possível aumentar a frequência para obter melhores resultados, pois neste módulo, acima desta frequência, o sinal de saída é muito distorcido.

Calculando o valor do campo magnético através da equação (1.3):

$$B = \frac{(4.\pi . 10^{-7}) . (10.10^{-3}) . (25)}{4,5 . 10^{-2}}$$

$$B = 6,98\mu T \quad (4.1)$$

Logo, é constatado que o valor do campo magnético é muito inferior ao limite imposto pela ICNIRP, assim como a frequência, que é de 200 KHz.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transmissão de energia sem fio, pode ser considerada uma tecnologia relativamente nova. A indução é facilmente encontrada no mercado, no entanto, ainda possui suas deficiências em termos de distância e desempenho.

Quanto ao risco à saúde, por meio da equação (4.1) é constatado que o valor do campo magnético é muito inferior ao limite imposto pela ICNIRP, assim como a frequência, que é de 200 KHz.

Com esta tecnologia é possível presumir uma residência onde se tenha um transmissor de energia sem fio e, repetidores distribuídos pela casa, permitindo uma maior comodidade e segurança no uso dos aparelhos eletrodomésticos.

Feitos os testes da máxima tensão de pico, máxima detecção de campo magnético e carregamento sem fio de uma carga, a partir dos dados obtidos conclui-se que, a ressonância é mais eficiente e melhor se encaixou no objetivo do projeto. Com isso, pode-se concluir que a ressonância é um novo passo para o melhoramento desta tecnologia.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles; SADIKU, Matthew. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: Grupo A, 2013.

BLUNDELL, Stephen. **Magnetism: a very short introduction**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2012.

BRAGA, Circuitos Ressonantes LC. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque/1368-alm18.html>>. Acesso em: 08 de maio de 2015.

BRAGA, Calculando e Enrolando Pequenos Indutores. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/49-curiosidades/4151-art572.html>>. Acesso em: 19 de abril de 2016.

CENCI, Bárbara R. **Transmissão de Energia Elétrica Sem Fio**: uma proposta para integração entre conhecimentos de engenharia elétrica e de ensino médio. 2013. 10 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

FREESCALE SEMICONDUCTOR. 74LS04 Datasheet (PDF) - Motorola, Inc. 2016. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/5638/MOTOROLA/74LS04.html>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física**: eletromagnetismo. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ICNIRP, Static Magnetic Fields. Disponível em: <<http://www.icnirp.org/en/frequencies/static-magnetic-fields-0-hz/index.html>> Acesso em: 06 de maio de 2015

JORGE, Luis Filipe Romba. **Sistema de Transmissão de Energia Elétrica**: sem utilização de cabos nem meios ferromagnéticos. 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012. Cap. 2.

MICROCHIP. PIC18F1220 Datasheet (PDF) - Microchip Technology. 2016. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/87779/MICROCHIP/PIC18F1220.html>>. Acesso em: 13 mar. 2016.

POWERSTREAM. Wire Gauge and Current Limits Including Skin Depth and Strength. 2016. Disponível em: <http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm>. Acesso em: 20 set. 2015.

STMICROELECTRONICS. L298N Datasheet (PDF) - STMicroelectronics. 2016. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22440/STMICROELECTRONICS/L298N.html>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

ST MICROELETRONICS. L7805 Datasheet (PDF) - STMicroelectronics. 2016. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22615/STMICROELECTRONICS/L7805.html>>. Acesso em: 16 mar. 2016

TESLA, Nikola. **Minhas Invenções**: A autobiografia de Nikola Tesla. 1. ed. São Paulo: Unesp, 2012.

TESLA, Nikola Tesla's Electricity Inventions. Disponível em: <<http://www.teslasociety.org/>>. Acesso em: 03 de maio de 2015.

WITRICITY, Witricity Technology: The Basics. Disponível em: <<http://witricity.com/pages/technology.html>> Acesso em: 2 de maio de 2015.

TARIFAS HORÁRIAS PARA SISTEMA DE TRANSMISSÃO CONSIDERANDO O SINAL LOCACIONAL

Marcio Andrey Roselli

Agência Nacional de Energia Elétrica
Brasília – DF

André Meister

Agência Nacional de Energia Elétrica
Brasília – DF

Denis Perez Jannuzzi

Agência Nacional de Energia Elétrica
Brasília – DF

Robson Kuhn Yatsu

Agência Nacional de Energia Elétrica
Brasília – DF

André Veiga Gimenes

Universidade de São Paulo
São Paulo – SP

Miguel Edgar Morales Udaeta

Universidade de São Paulo
São Paulo – SP

RESUMO: O estudo se baseia na avaliação dos custos horários dos sistemas de transmissão, utilizando metodologia inspirada na estrutura tarifária horizontal dos sistemas de distribuição de energia elétrica, de modo a aprimorar a forma de cálculo das Tarifas de Uso dos Sistemas de Transmissão - TUST. O produto final é a definição das tarifas por postos tarifários, obedecendo a necessidade da arrecadação da receita requerida para a concessionária de transmissão, com a obtenção do custo por

posto tarifário e o diagnóstico da relação entre as tarifas ponta e fora ponta. Dessa forma, busca-se definir uma melhor alocação dos custos entre os postos tarifários.

O estudo torna-se relevante, considerando a migração de consumidores das redes de distribuição para a Rede Básica, e sobremaneira o aumento previsto para o custo das redes de transmissão.

Na análise dos resultados, deve-se considerar que a carga das distribuidoras possui restrita liberdade para resposta ao sinal tarifário horário, uma vez que o custo de transmissão irá compor a Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) juntamente com as demais componentes tarifárias, como a rede de distribuição, encargos setoriais, perdas. Soma-se a isso na percepção final do consumidor o custo da energia.

O resultado do trabalho demonstra que a demanda do segmento consumo se mostra inelástica às variações de preço do uso do sistema de transmissão e que o método proposto pode promover uma alocação de custos mais eficiente, aderente àquela empregada no cálculo das tarifas de distribuição de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Tarifas Horárias, Contratação de Demanda, Transmissão.

ABSTRACT: The study is based on the

evaluation of transmission system hourly costs, inspired on the horizontal tariff structure methodology of distribution systems, in order to improve the method of calculation for the transmission tariff. The final product is a time-of-use tariff, that meets the revenue required for transmission companies, obtaining the cost per time-of-use and the diagnosis of the relationship between the peak load price and off-peak load price. Thus, it is defined a better allocation of costs in time.

The study becomes relevant, considering consumers migration from distribution to transmission system and especially by the expected increase in the cost of transmission networks.

In result analysis, it is considered that the distribution loads have restricted freedom to respond a hourly rate signal, since the cost of transmission will comprise the distribution tariff added by other tariff components, such as distribution network, taxes, losses. The consumer perception still includes the energy cost.

The results show that the demand of the consumption segment is inelastic to price variations of the transmission system and that the methodology proposed can induce a more efficient costs allocation, adherent to the one employed in distribution tariff.

KEYWORDS: Hourly Rates, Demand Contracts, Transmission.

1 | INTRODUÇÃO

Um dos problemas atuais na sinalização de custos é a chamada convergência tarifária entre os ambientes de distribuição e de transmissão. O modelo de cálculo tarifário da distribuição difere conceitualmente do modelo da transmissão. Enquanto na transmissão o modelo segue o conceito de tarifas locacionais, com preço definido por ponto de conexão, o sistema de distribuição preza por critérios de isonomia tarifária e de sinal de preço horário. A divergência conceitual provoca distorções, muitas vezes sanadas por critérios ad hoc, se distanciando do ótimo global do sinal de preço.

Existe uma discussão sobre o porquê de tais sistemas não terem tarifas convergentes, ou seja, por que não conduzem a um resultado similar de modo a garantir que os custos de conexão sejam aqueles que determinem o ponto de conexão (ANDREY-ROSELLI; TOMASELLI, 2009). Nesse sentido, usuários vêm optando por efetuar migrações do ambiente de distribuição para o de transmissão com base nas tarifas praticadas. Muitas vezes com significativos investimentos com a nova conexão e, ainda, resultando em ociosidade de ativos de uso comum nas redes em que anteriormente se conectavam, com custo alocado aos demais usuários de rede.

As metodologias dos segmentos de distribuição e transmissão tratam o problema de modo independente, obtendo resultados diferentes. Ainda, como complicador há a não padronização nos regimes de regulação econômica: *price cap* na distribuição e *revenue cap* na transmissão. No que tange a alocação de custos, denominada de estrutura vertical, para a transmissão adota-se o método locacional, construído com base em um fluxo de potência linear utilizando um cenário de simulação atualizado a

cada ano; ainda, efetuando um despacho proporcional, dentro do submercado, para atender a carga determinada por contratos e considerando um fator de correção do custo com base na relação de fluxo calculado sob capacidade nominal (ANDREY-ROSELLI; TOMASELLI, 2009). Para o ambiente de distribuição o método preza pela isonomia tarifária, com tarifas independentes do posicionamento geográfico ou custos regionalizados dos sistemas de distribuição, baseados em agrupamentos tarifários definidos por níveis de tensão.

Os custos da transmissão, tais como Rede Básica, fronteira, conexão, possuem sinal locacional que, ao serem repassados para a parcela A da distribuição os custos são rateados de forma isonômica, perdendo o sinal locacional na distribuição. Isto conduz a um desvio especialmente para usuários atendidos em alta tensão, onde os custos de transmissão são mais sensíveis. Na prática, em casos em que os custos de conexão à Rede Básica (locacional) são menores que os custos da distribuição (isonomia), há forte incentivo para a migração.

Outro ponto de destaque é a estrutura horizontal, na qual os custos por período de tempo são definidos, de modo a sinalizar os custos das redes no tempo. Para a distribuição são utilizadas informações do comportamento dos consumidores por meio de curvas de carga e de redes, considerando a teoria marginalista, enquanto que a transmissão adota critério *ad hoc*, desassociada do comportamento das cargas do sistema interligado nacional ou do estado das redes ao longo do tempo.

2 | PEAK LOAD PRICING

Na definição de tarifas das redes, a base conceitual adotada é a de que a sociedade é mais bem servida quando os preços praticados refletem os custos incorridos (STEINER, 1957, p. 572). É possível demonstrar que para uma rede radial hipotética o preço do período de ponta T_p e preço do período fora de ponta T_{FP} de certa rede radial, que maximiza o benefício social, é dado por:

$$T_p = \frac{\partial C_c(d_p)}{\partial d_p} + \frac{\partial C_{OM}(d_p)}{\partial d_p} \quad (1)$$

$$T_{FP} = \frac{\partial C_{OM}(d_p)}{\partial d_p} \quad (2)$$

Onde d_p é a demanda que reflete o contrato na ponta; C_c o custo de capacidade; e $C_{O\&M}$ é o custo de Operação e Manutenção da rede.

O preço no período de ponta do sistema deve ser igual ao custo marginal de capacidade mais o custo marginal de operação e manutenção, enquanto que no período fora de ponta os custos devem ser iguais aos custos marginais de operação e manutenção. Avaliando as equações depende-se que independente do período a ser

considerado, as tarifas devem refletir os custos marginais de operação e manutenção, adicionados os custos marginais de capacidade no período de ponta.

3 | TARIFA DE TRANSMISSÃO E CONTRATAÇÃO DO USO DA REDE

A Resolução Normativa ANEEL nº 559/2013 estabelece o procedimento de cálculo das Tarifas de Uso dos Sistemas de Transmissão - TUST. Para o segmento de consumo, a TUST é definida para dois postos tarifários: ponta e fora ponta, enquanto que para o segmento geração não são definidos postos tarifários, sendo aplicada a um único montante de uso (MUST) contratado.

Anteriormente à Resolução Normativa ANEEL nº 399/2010, o cálculo da TUST do segmento consumo, atendido diretamente pela Rede Básica, era apurado somente para o posto tarifário ponta, não sendo tarifado para o posto fora ponta. Contudo, foi observado que existiam casos em que o consumidor modulava a carga, utilizando a quase totalidade da energia no posto fora ponta, resultando em faturas com valores reduzidos.

Atualmente, no caso do segmento consumo, atendido por redes de distribuição, os postos tarifários são definidos: para o posto ponta, três horas consecutivas nos dias úteis, e o posto fora ponta, as 21 horas restantes destes dias, sendo que os finais de semana e feriados nacionais as 24 horas do dia são consideradas como fora ponta. Além disso o posto pode se deslocar em uma hora durante a vigência da hora de verão, a critério da distribuidora. Apesar de ser caracterizado por tarifas horárias um ponto notável é a equidade tarifária na distribuição, onde as tarifas não obedecem a lógica locacional.

Para as unidades consumidoras na distribuição, os postos são definidos pela própria distribuidora, em seu processo de revisão tarifária periódica. Já as unidades consumidoras atendidas diretamente pela Rede Básica devem observar os postos tarifários da distribuidora que atende o local de sua conexão.

Inicialmente pode-se observar que os postos tarifários não são coincidentes, o que traz uma imprecisão na alocação dos custos de atendimentos das demandas máximas. Assim, um dos produtos do presente estudo é o diagnóstico da não coincidência dos postos tarifários, mensurando o desvio acrescentado na definição da tarifa locacional.

A metodologia locacional nodal atualmente empregada no cálculo tem como premissa um cálculo baseado nas demandas máximas contratadas da carga e do despacho proporcional da geração existente, para garantir o atendimento da carga por submercado. Este cálculo é feito para os dois postos tarifários.

Neste processo, simplificadaamente considera-se as demandas coincidentes para cada posto tarifário. Contudo, sabe-se que estas cargas não são coincidentes, sobremaneira se observarmos um período de 21 horas, duração do posto fora ponta.

Desta forma, o processo ideal seria observar, numa referência horária o

comportamento da carga, apurando o custo horário para cada barra do sistema, ainda segundo a premissa do despacho proporcional das gerações. O cálculo horário permite uma acurácia maior na alocação e sinalização dos custos de transmissão diante das mudanças que podem ocorrer no comportamento da carga.

O método de alocação de custos de transmissão deve observar: sua facilidade de entendimento, habilidade de refletir mudanças no sistema ao longo do tempo, estabilidade das tarifas resultante do método de alocação e incentivos para geração e carga se posicionarem em ponto de menor custo global. Dentre os métodos estudados tem-se aqueles que traduzem comportamentos médios ou métodos marginais e incrementais. Como exemplos podem-se citar métodos segundo: a energia consumida ou gerada, o pico de demanda, o fluxo nas instalações ou métricas monetárias. Os métodos elencados podem ser trabalhados em conjunto.

A Lei nº 9.427/1996 estabelece que na definição das tarifas de uso dos sistemas de transmissão deve-se utilizar sinal locacional visando assegurar maiores encargos para os agentes que mais onerem o sistema. Assim, a Receita Anual Permitida das transmissoras é rateada para os usuários da Rede Básica segundo um critério que observa a localização do agente na rede elétrica.

A metodologia atualmente utilizada é a Nodal, segundo a qual a tarifa do agente é baseada no fluxo na rede e no pico de demanda dos usuários. Assim, o agente que se localizar em ponto da rede que sinalize sua expansão e, portanto, aumento dos custos da Rede Básica, terá sua tarifa majorada. De outro modo, aquele agente que contribua para diminuição do uso da rede perceberá uma tarifa menor. Como resultado carga e geradores possuem sinalização tarifária contrária. Um gerador terá incentivo tarifário para se localizar em região de muita carga e um novo consumidor terá menor tarifa caso se instale em região com muita injeção de potência.

A demanda das cargas é modelada segundo o critério de contratação da Rede Básica definido em regulamento da ANEEL. Dessa forma, a tarifa é calculada conforme a potência contratada, porém o faturamento é realizado mediante a verificação do maior valor entre o medido e o contratado.

Historicamente, desde 1999, a tarifa das unidades consumidoras era calculada considerando valor nulo para uso dos sistemas de transmissão no horário fora de ponta. Naquela época as tarifas eram aplicadas anualmente para cada unidade da federação. Somente a partir de 2004 é que as tarifas passam a ser calculadas individualmente para cada agente conectado à Rede Básica. O valor nulo da tarifa para o horário fora de ponta permaneceu até 2010, quando os agentes passaram a contratar e pagar pelo uso da rede nos horários de ponta e fora de ponta. Observou-se à época que os valores contratados no segmento consumo apresentavam pequena variação entre os postos tarifário, e que poucos eram os consumidores que realmente modulavam sua carga. A alteração foi realizada para incentivar um uso mais racional das redes de transmissão, de forma a minimizar os custos de expansão.

3.1 Estudo de Estrutura Tarifária para a Transmissão

A estrutura tarifária das redes, é subdividida em estrutura vertical, na qual é realizada a alocação das receitas de forma proporcional aos custos marginais de cada subsistema por nível de tensão, e estrutura horizontal, em que as receitas do nível são alocadas nos diversos postos tarifários, ao longo do tempo, em função da distribuição temporal dos custos marginais (ANDREY-ROSELLI; TOMASELLI, 2009).

Uma forma de sinalizar os custos de expansão como proposto por Andrey-Roselli e Tomaselli (2008) é a aplicação da probabilidade de a rede estar em estado de máxima em determinado período de tempo. Dessa forma, para períodos em que a rede não apresenta incidências de máximas, o uso da carga não demandaria expansão nas redes. Para o caso das redes de transmissão a incidência de pontas, ou períodos de máxima demonstra que a ponta do sistema nacional interligado ocorre sobremaneira entre as 14 horas e 22h, podendo haver alterações a depender do subsistema.

Uma questão fundamental para a definição da relação de preços entre ponta e forma de ponta é o período a ser considerado como horário de ponta, pois os custos estão associados ao período de uso do sistema.

Dessa forma, pode-se calcular a probabilidade de a rede estar em estado de máxima, ou de outra forma, o percentual de redes incrementais que são ultrapassadas em uma determinada hora. Contudo, a probabilidade deve ser condicional: os investimentos devem ser realizados no máximo uma única vez no período. Assim:

$$P_h(A/B) = \frac{P_h(A \cap B)}{P_h(B)} \quad (3)$$

Onde A é o estado de máxima na hora h e B é o evento de investir no máximo uma única vez no período de análise. Assim, é possível demonstrar que:

$$P_h(A/B) = \frac{P_h(A) \times \prod_{t=1/t \neq h}^{24} (1 - P_t)}{\sum_{h=1}^{24} P_h(A) \times \prod_{t=1/t \neq h}^{24} (1 - P_t)} \quad (4)$$

Ou seja, o numerador representa a probabilidade de se investir em um posto horário h e não investir nos postos horários restantes, que por sua vez deve ser normalizado (denominador). A Figura 1 apresenta a probabilidade condicional de ultrapassagem para cada hora.

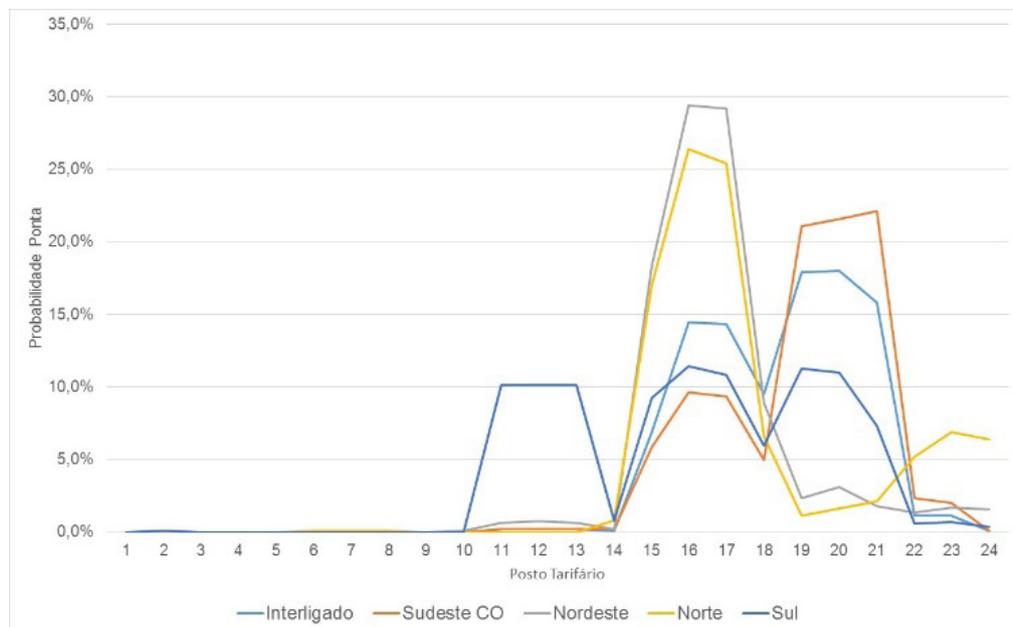


Figura 1 – Probabilidade de Ponta nos Subsistemas (ONS, 2014)

Os postos de ponta para cada submercado foi selecionado de modo a cobrir a máxima de cada região. A Tabela 1 apresenta as relações entre custos ponta fora de ponta, bem como os respectivos horários de ponta conforme expressão 4.

Subsistema	Relação custos ponta e fora de ponta	Horário
Sudeste Centro Oeste	2,31	17h às 20h
Sul	2,19	10h as 17h
Norte	3,08	14h 17h
Nordeste	2,08	15h 17h

Tabela 1 – Relações Ponta e Fora de Ponta

Os períodos de ponta foram definidos de modo a adequar os períodos de ponta das redes de cada submercado, seguindo as respectivas curvas de carga agregadas. Em específico, para o submercado Sul foi definido um período de ponta de 8 horas, aderente a grande variabilidade dos perfis de carga da região.

De posse das relações ponta e forma de ponta e das receitas, conforme metodologia atual (ANEEL, 2011), as tarifas podem ser definidas pelas equações 5 e 6.

$$T_{FP}^i = \frac{R_i}{D_{FP} + F_s \cdot D_p} \quad (5)$$

$$T_p^i = T_{FP}^i \cdot F_s \quad (6)$$

Onde T_p^i é a tarifa no posto de ponta para a barra i ; T_{FP}^i é a tarifa no posto fora de ponta para a barra i ; R_i é a receita final a ser recuperada, considerando a parcela de ajuste

aditivo; é a demanda contratada para o posto fora de ponta; é a demanda contratada para o posto de ponta; e F é o fator que representa a relação entre ponta e fora de ponta do submercado s , tal como disposto na Tabela 1.

A partir dos dados do ciclo tarifário 2016-2017, foram calculadas as tarifas médias para cada subsistema, considerando (i) as relações ponta e fora ponta atuais e em estudo; e (ii) que a receita de cada subsistema equivale ao produto da receita total pelo percentual de carga de cada região. Os resultados estão dispostos na Tabela 2.

Subsistema	Ciclo 2016-2017		Estudo em análise	
	TUST-P média	TUST-FP média	TUST-P média	TUST-FP média
Sudeste Centro Oeste	1,542	1,542	2,173	0,941
Sul	1,484	1,484	2,085	0,952
Norte	1,504	1,504	2,329	0,756
Nordeste	1,557	1,557	2,114	1,017

Tabela 2 – Tarifas médias Ponta e Fora de Ponta (R\$/kW)

Cumprir destacar que as relações ponta e fora de ponta podem ser calculadas em áreas com menor granularidade, considerando características regionais de carga e uso da rede, ou ainda, a sazonalidade das cargas, segregando em períodos de verão e fora do período de verão.

3.2 Resposta ao Preço

O ano de 2011 foi um divisor na forma de faturamento da demanda dos consumidores, quando se passou de uma cobrança somente no horário de ponta para cobrança nos horários de ponta e fora de ponta. A alteração foi realizada por meio de uma transição em 3 anos de forma a evitar grandes flutuações na contratação e no pagamento dos encargos de uso. Essa alteração permite verificar a resposta dos consumidores à variação do preço conforme pode ser visto nas Figuras 2 e 3.

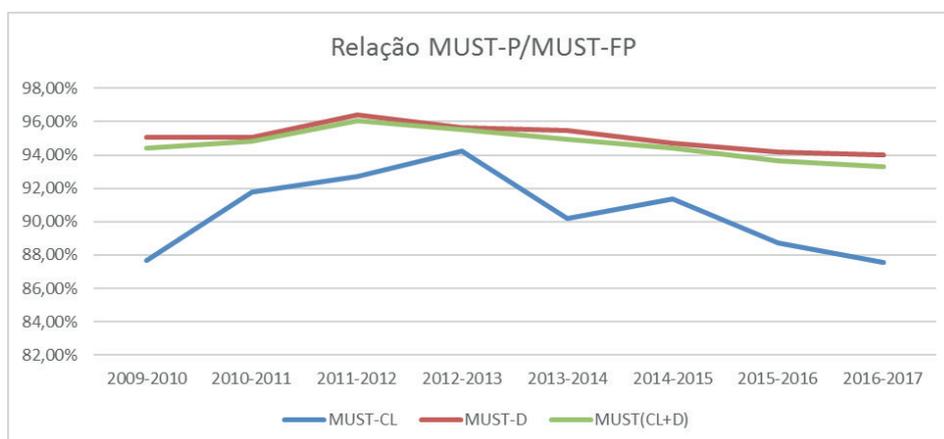


Figura 2 – Relação MUST-P/MUST-FP do segmento consumo

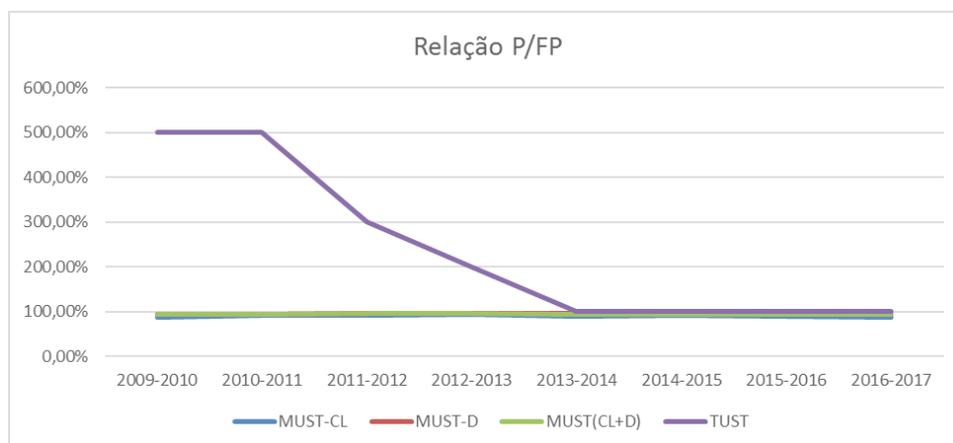


Figura 3 – Comparação das relações MUST-P/MUST-FP e TUST-P/TUST-FP do segmento consumo

A relação TUST-P/TUST-FP dos ciclos 2009-2010 e 2010-2011 foi definida em 500% em função da escala do gráfico, porém é infinita pois as TUST-FP nestes ciclos é zero.

Verifica-se de uma forma geral que não houve um movimento na contratação dos consumidores que evidencie elasticidade em relação ao preço definido, entre os ciclos 2009-2010 e 2016-2017. Em parte, isso é explicado porque muitos dos consumidores livres possuem processos que demandam uma contratação fixa ao longo do dia, o que pode ser verificado nos valores contratados. Para o caso das distribuidoras, onde se tem uma maior variabilidade dos processos industriais, também foi verificada pouca alteração no perfil de contratação. Depreende-se, portanto, que a sinalização de preços, embora expressiva, não foi suficiente para alterar o perfil de contratação do segmento consumo.

4 | CONCLUSÃO

O trabalho apresentou análise da alteração da precificação do uso da rede de transmissão nos horários de ponta e fora de ponta. Observa-se que a contratação da carga de consumidores livres e concessionárias de distribuição se mostra inelástica à variação de preço.

No entanto, é possível estudar novas formas de precificação do uso da rede de forma a alocar custos de forma mais eficientes, mesmo que não induzam resposta do segmento consumo. O estudo apresentou uma forma de alocação de custos entre postos tarifários que segue princípios da teoria marginalista, aderente a metodologia atualmente empregada no cálculo das tarifas de distribuição de energia elétrica.

A alteração dos períodos de ponta, incorporando as características de carga do submercado a amplitude dos postos, pode promover uma alocação de custos mais eficiente.

REFERÊNCIAS

ANDREY-ROSELLI, M.; TOMASELLI, L. C. **Tarifas Zonais dos Sistemas de Distribuição**. In: SEPEF 2008, 2008, São Paulo - SP. SEPEF 2008.

ANDREY-ROSELLI, M.; TOMASELLI, L. C. **Modelo de Cálculo de Custos Marginais de Capacidade dos Sistemas de Distribuição Considerando os Custos de Transmissão**. In: SNPTEE, Olinda. SNPTEE 2009.

ANEEL. **Programa Nodal: Manual do Usuário**. Maio de 2011. Obtido no site http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Manual_Nodal_v45.pdf, acesso em 24/03/2017.

BOITEUX, Marcel. **Peak Loading Price**. Traduzido por H. W. Izzard. The Journal of Business, Chicago, volume 33, número 2, p. 157-179, 1960.

DNAEE/MME. **Nova Tarifa de Energia Elétrica: Metodologia e Aplicação**. Brasília, 1985.

EL HAGE, F. S.; FERRAZ, L.; DELGADO, M. A. P. **A Estrutura tarifária de energia elétrica: teoria e aplicação**. Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

ONS. **Dados Reunião técnica Horário de Ponta**. Realizada em 19/02/2014.

STEINER, P. O., 1957, **Peak Loads and Efficient Pricing**, Quarterly Journal of Economics, 71, pp. 572-587.

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

Alessandra da Costa Barbosa Pires de Souza

Pesquisadora responsável pelo Laboratório de Iluminação do Cepel
Rio de Janeiro – RJ

Maurício Barreto Lisboa

Chefe do Departamento de Laboratórios do Fundão - DLF
Rio de Janeiro – RJ

Willians Felipe de Oliveira Rosa

Técnico do Laboratório de Iluminação do Cepel
Rio de Janeiro – RJ

device for home use by evaluating the electrical and photometric performance of the products available in the market, comparing models of LED lamps with and without certification. Among the certified models will also be evaluated the performance of the models that performed the tests required by Portaria n ° 389 in Brazilian laboratories accredited by Inmetro and foreign laboratories with mutual recognition agreement.

PALAVRAS-CHAVE: Lâmpada, LED, certificação, qualidade, eficiência

RESUMO: Esse artigo visa mostrar a importância da regulamentação nacional e específica para lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base para uso doméstico avaliando o desempenho elétrico e fotométrico dos produtos disponíveis no mercado, comparando modelos de lâmpadas LED com e sem certificação. Dentre os modelos certificados serão avaliados também o desempenho dos modelos que realizaram os ensaios exigidos na Portaria n° 389 em laboratórios brasileiros acreditados pelo Inmetro e laboratórios estrangeiros com acordo de reconhecimento mútuo.

ABSTRACT: The purpose of this article is to show the importance of national and specific regulations for LED lamps with integrated control

1 | INTRODUÇÃO

Com o intuito de zelar pela eficiência energética e segurança elétrica das lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base para uso doméstico, o Inmetro instituiu através da Portaria n° 144 de 13 de março de 2015, a certificação compulsória desses produtos, a qual deverá ser realizada por um Organismo de Certificação de Produtos (OCP), estabelecido no Brasil e acreditado pelo Inmetro.

Os critérios e requisitos mínimos de eficiência energética e segurança elétrica exigidos no processo de certificação das lâmpadas LED foram estabelecidos pelo Inmetro através da Portaria n° 389, de 25 de agosto de 2014. Os ensaios para a comprovação do

desempenho dos produtos são providenciados pelo Organismo de Certificação de Produtos e podem ser realizados em laboratórios brasileiros acreditados pelo Inmetro e laboratórios estrangeiros com acordo de reconhecimento mútuo com o Inmetro.

A regulamentação nacional e específica para as lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base para uso doméstico é uma medida de suma importância para o controle da qualidade dos produtos comercializados no mercado brasileiro.

Apesar de a certificação ser compulsória e exigida desde fevereiro de 2016, estamos em uma fase transitória que requer bastante atenção dos consumidores, visto que os fabricantes e importadores poderão comercializar os produtos não certificados em estoque até outubro de 2016, os atacadistas e varejistas poderão comercializar esses produtos até julho de 2017 e os atacadistas e varejistas, cadastrados como Micro e Pequenas Empresas poderão comercializar as lâmpadas LED sem certificação até janeiro de 2018.

2 | METODOLOGIA

As amostras foram compradas diretamente no mercado e escolhidos modelos de lâmpadas LED com e sem certificação.

O desempenho elétrico e fotométrico das amostras foi avaliado pelo laboratório de iluminação do Cepel, através de ensaios em um goniofotômetro e em uma esfera integradora, conforme procedimento de ensaio da IESNA LM-79 para lâmpadas e luminárias LED, ver Figuras 1 e 2.

Os principais resultados exigidos na Portaria n° 389 e que serão objetos desse estudo serão: a medição das grandezas fotométricas, tais como: fluxo luminoso, índice de reprodução de cor, temperatura de cor correlata, ângulo do fecho luminoso, valor de intensidade luminosa de pico, distribuição luminosa, manutenção do fluxo luminoso e definição da vida nominal, a medição de grandezas elétricas, tais como: potência, corrente nominal, fator de potência e limite de correntes harmônicas e ensaios de resistência, tais como: ciclo térmico, ciclos de comutação e durabilidade do dispositivo de controle incorporado. Também serão verificadas a eficiência energética, a equivalência de fluxo luminoso com lâmpadas incandescentes e fluorescentes e a durabilidade do capacitor eletrolítico, quando aplicável.

Os ensaios de manutenção do fluxo luminoso e definição da vida nominal e a durabilidade do capacitor eletrolítico são ensaios demorados, que podem levar meses e são decisivos na aprovação do produto.



FIGURA 1 – Esfera integradora utilizada para os ensaios fotométricos

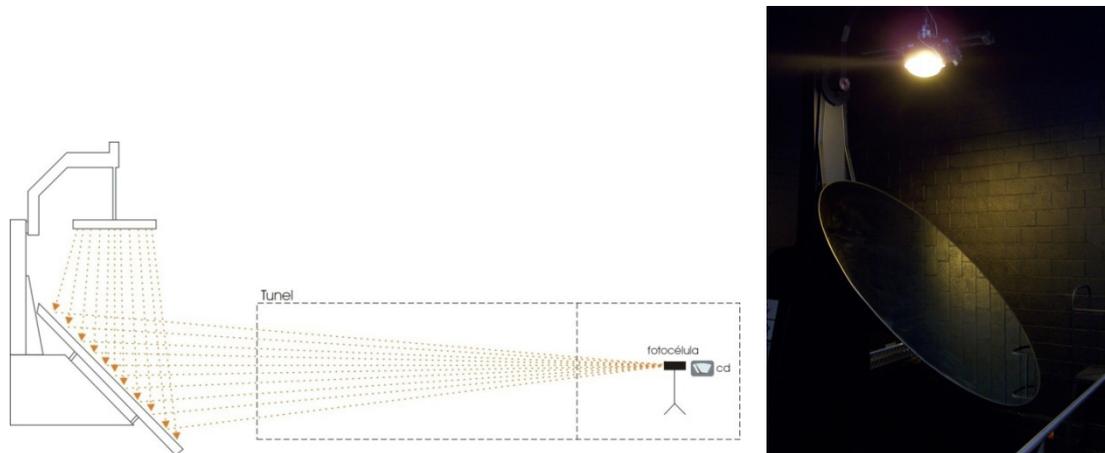


FIGURA 2 – Goniofotômetro utilizado para a determinação do ângulo de fecho das lâmpadas

2.1 Resultados e comentários

Foram avaliados 21 modelos de lâmpadas LED, sendo 4 modelos sem certificação e 17 modelos com certificação.

Todos os ensaios foram realizados em 127 V.

Amostra	Fluxo luminoso (lm)	Potência Medida(W)	Fator de Potência	Eficiência energética (lm/W)
01 – 9 W – E-27	842,80	8,54	0,63	98,62
02 – 13,5 W – E-27	1466,80	13,38	0,96	109,65
03 – 20 W – E-27	1720,60	19,11	0,44	90,04
04 – 40 W – E-27	3623,00	38,89	0,46	93,15
05 – 18 W - Tubular	1710,42	19,00	0,52	90,02

Tabela 1 – Resultados dos modelos não certificados

Após os ensaios iniciais de fotometria e grandezas elétricas, apenas a amostra 02 atenderia a portaria no 389 do Inmetro, todas as demais ficariam reprovadas no fator de potência, pois para lâmpadas com potências entre 5 e 25 W deve apresentar fator de potência de no mínimo 0,70 e para lâmpadas com potências superiores a 25 W e tubulares de qualquer potência deve apresentar fator de potência de 0,92.

Amostra	Fluxo luminoso (lm)	Potência Medida(W)	Fator de Potência	Eficiência energética (lm/W)
06 – 9 W - E27	826,60	8,53	0,96	116,83
07 – 12 W – E27	1041,70	11,04	0,98	94,30
08 – 30 W – E27	2599,80	21,35	0,98	121,75
09 – 7 W – E27	621,5	6,59	0,96	94,27
10 – 9 W - E27	897,30	9,19	0,97	97,63
11 – 10 W - E27	1006,70	9,42	0,96	106,89
12 – 13,5 W - E27	1461,70	13,01	0,97	112,33
13 - 7 W – E27	624,40	6,73	0,96	92,73
14 - 9 W – E27	782,80	8,21	0,97	95,39
15 – 10 W - Tubular	906,99	9,80	0,92	92,55
16 – 18 W - Tubular	1755,00	18,00	0,95	97,50
17 – 10 W - Tubular	1079,81	10,00	0,96	107,98
18 – 20 W - Tubular	1892,70	19,77	0,98	95,75
19 – 20 W - Tubular	2056,75	20,00	0,98	102,83
20 - 9 W - Tubular	947,09	8,9	0,94	106,41
21 – 18 W - Tubular	1876,73	16,80	0,98	111,71

Tabela 2 – Resultados dos modelos certificados

Após os ensaios iniciais de fotometria e grandezas elétricas, todas as amostras atenderiam a portaria no 389 do Inmetro. Apenas a amostra 08 deve redeclarar a sua potência pois o valor medido está inferior a 90% do valor declarado, porém não é um item reprobatório.

Dois modelos foram comprados idênticos, porém com e sem certificação.

Amostra	Fluxo luminoso (lm)	Potência Medida(W)	Fator de Potência	Eficiência energética (lm/W)
01 – 9 W – E-27	842,80	8,54	0,63	98,62
10 – 9 W - E27	897,30	9,19	0,97	97,63
02 – 13,5 W – E-27	1466,80	13,38	0,96	109,65
12 – 13,5 W - E27	1461,70	13,01	0,97	112,33

Tabela 3 – Resultados dos modelos com e sem certificação

Os modelos 01 e 10 são idênticos porém o modelo 01 não possui certificação e o 10 possui certificação.

Podemos observar que antes da certificação o modelo não atendia no fator de potência e com a certificação o produto melhorou e passou a atender com folga.

O modelo 02 já atenderia a portaria no389 antes do processo de certificação e o modelo 12 manteve a qualidade após o processo de certificação.

Um dos ensaios considerados críticos é a manutenção do fluxo luminoso, que é o percentual do fluxo luminoso em um determinado momento em relação ao fluxo luminoso inicial. O mínimo exigido pela portaria no389 é L70 a 25.000 horas, que quer dizer que após 25.000 horas de uso a lâmpada estará com 70% do seu fluxo luminoso inicial.

Apenas 4 modelos concluíram 1000 horas de ensaio, seguem os resultados na Tabela 4.

Amostra	Fluxo luminoso (lm)	Fluxo luminoso (lm) a 1000 horas	Manutenção do fluxo luminoso (%)
01 – 9 W – E-27	842,80	842,5	100,50
03 – 20 W – E-27	1720,60	1449,11	84,13
04 – 40 W – E-27	3623,00	3150,10	86,96
07 – 12 W – E27	1041,70	567,37	54,43

Tabela 4 – Resultados da manutenção do fluxo luminoso a 1000 horas

A portaria no 389 exige um percentual de manutenção do fluxo luminoso de 95,8% a 3000 horas e 91,8% a 6000 horas.

Podemos observar pela Tabela 4 que os modelos 03, 04 e 07 ficariam reprovados nesse ensaio.

O modelo 07 é um modelo já certificado pelo Inmetro.

2.2 Laboratórios de ensaio

Os 21 modelos utilizados nos ensaios são de 6 fabricantes diferentes, sendo que dos modelos certificados são 5 fabricantes distintos. Através do site do Inmetro é possível consultar o Organismo de Certificação de Produtos utilizado por cada fabricante para o seu processo de certificação e qual o laboratório de ensaio utilizado, conforme Figura 2.

O Organismo de Certificação de Produtos de 3 fabricantes utilizaram laboratório nacional para a realização dos ensaios, 1 utilizou laboratório chinês e o outro não consta a informação no site do Inmetro.

A Eletrobras, através do Procel, investiu muito nos últimos anos na capacitação dos laboratórios nacionais para a atendimento aos ensaios de lâmpadas fluorescentes compactas e agora as lâmpadas LED.

É importante que os Organismos de Certificação de Produtos utilizem os laboratórios nacionais para atendimento a essa demanda de ensaios.

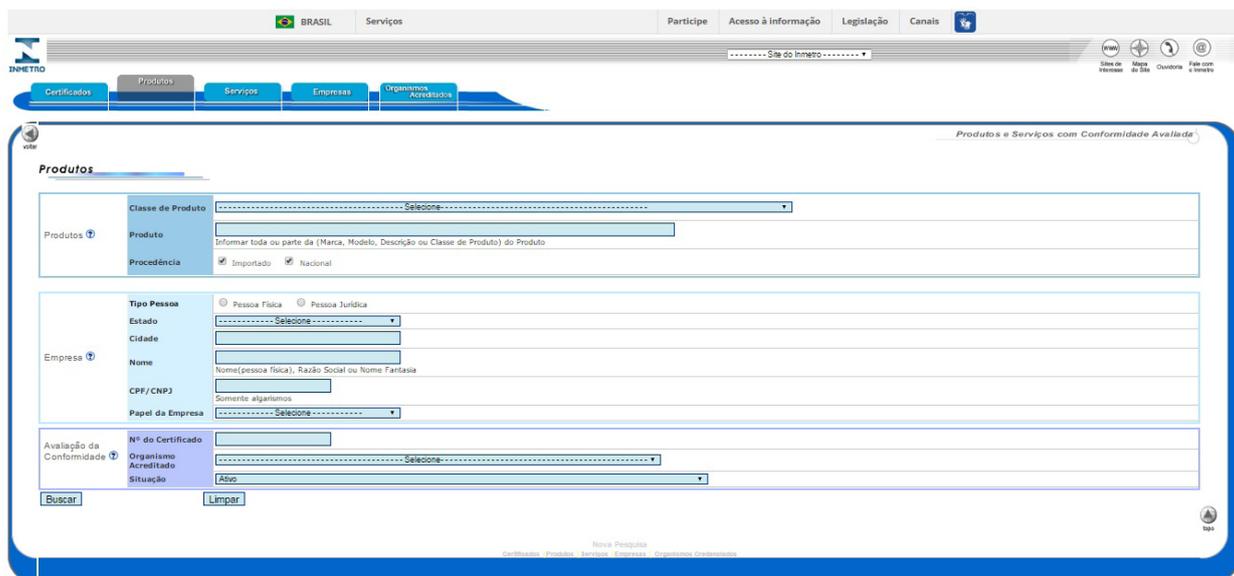


FIGURA 2 – Site do Inmetro para consulta dos produtos certificados

3 | CONCLUSÃO

O processo de certificação obrigatório para as lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base contribuiu para a melhoria da qualidade desses produtos.

Os ensaios de desempenho são importantes porém não são decisivos para garantir a qualidade do produto.

Os índices de eficiência energética da Portaria nº 389 precisa ser revisada, o mínimo exigido é 55 lm/ W para lâmpadas com potência inferior a 15 W, 60 lm/ W para lâmpadas com potência superior a 15 W e 85 lm/ W para lâmpadas tubulares de todas as potências. Pelos resultados obtidos todos os modelos apresentaram eficiência energética superior a 90lm/ W, portanto atendendo com folga a portaria.

Os ensaios de manutenção do fluxo luminoso e de durabilidade do capacitor eletrolítico são ensaios de suma importância e que dependem do projeto e qualidade de construção da lâmpada e do driver e da escolha dos materiais empregados.

O estudo ainda está em andamento e por isso não foi possível concluir os resultados dos ensaios de segurança, manutenção do fluxo luminoso e de durabilidade do capacitor eletrolítico.

O consumidor deve ficar atento e consultar a etiqueta de certificação do produto, comparando as informações entre as marcas disponíveis.

REFERÊNCIAS

- (1) Portaria do Inmetro nº 389, de 25 de agosto de 2014.
- (2) Portaria do Inmetro nº144, de 13 de março de 2015.
- (3) *IESNA LM-79-08 – Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products*, 2008.
- (4) Site do Inmetro, www.inmetro.gov.br

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

Pesquisadora responsável pelo Laboratório de Iluminação do Cepel
Rio de Janeiro – RJ

Maurício Barreto Lisboa

Chefe do Departamento de Laboratórios do Fundão - DLF
Rio de Janeiro – RJ

Willians Felipe de Oliveira Rosa

Técnico do Laboratório de Iluminação do Cepel
Rio de Janeiro – RJ

RESUMO: Esse artigo visa avaliar o método alternativo de ensaio do anexo B da CISPR 15 para lâmpadas e luminárias LED, um método independente de medição de perturbações eletromagnéticas radiadas, que apresenta uma configuração de ensaios mais compacta e menos onerosa devido a não utilização de câmara anecóica.

Se o equipamento de iluminação estiver em conformidade com os requisitos do anexo B da CISPR 15, é considerado cumpridor dos limites estabelecidos no ensaio completo para perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de frequência de 30 a 300 MHz a uma distância de medição de 10m em uma sala blindada.

ABSTRACT: The purpose of this article is to calculate the alternative test method for CISPR 15 Annex B for LED lamps and luminaires, an independent method for measuring irradiated electromagnetic disturbances, which has a more compact and less expensive test configuration due to the non-use of anechoic chamber.

If the lighting equipment complies with the requirements of Annex B of CISPR 15, it shall be deemed to comply with the limits laid down in the complete test for radiated electromagnetic disturbances in the frequency range 30 to 300 MHz at a measuring distance of 10 m in a room armored.

PALAVRAS-CHAVE: Iluminação, LED, compatibilidade, eletromagnética, eletroeletrônicos

1 | INTRODUÇÃO

Equipamentos eletroeletrônicos podem gerar perturbações eletromagnéticas que tendem a prejudicar o desempenho de outros aparelhos. O ideal é que os equipamentos convivam em um ambiente de equilíbrio onde não sofram interferências por perturbações eletromagnéticas do ambiente e nem interfiram no funcionamento dos demais dispositivos do sistema.

As perturbações eletromagnéticas podem provocar desde pequenos danos de funcionamento, como interferências em televisões ou rádios, a queima do equipamento até mesmo danos mais sérios como queda de aviões devido a falhas de controles eletrônicos e vítimas humanas por interferências em equipamentos hospitalares.

A capacidade dos equipamentos de operarem normalmente em um ambiente eletromagnético sem causar interferência em outros equipamentos, bem como não serem interferidos por perturbações eletromagnéticas presentes é conhecido como compatibilidade eletromagnética.

Na Europa, tanto as normas de emissão de perturbações quanto de imunidade são obrigatórias. Nos Estados Unidos, as normas de emissão de perturbações são obrigatórias e as normas de imunidade são voluntárias, pois se entende que produtos com baixa imunidade serão rejeitados pelo mercado.

No Brasil, a utilização de equipamentos eletroeletrônicos na área de iluminação cresceu muito nos últimos anos e a compatibilidade eletromagnética de equipamentos de iluminação é um fenômeno que até pouco tempo não era avaliado. Porém, com a publicação da Portaria nº 389, de 25 de agosto de 2014, do Inmetro, essa avaliação torna-se obrigatória para lâmpadas de LED com dispositivos de controle integrados à base.

O ensaio para a avaliação da compatibilidade eletromagnética das lâmpadas de LED com dispositivos de controle integrados à base faz parte dos ensaios de segurança e pode ser reprobatório para certificação da lâmpada de LED. O ensaio é realizado em uma lâmpada completa conforme a norma *CISPR 15 – Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment* ou sua versão brasileira ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014 – Limites e métodos de medição das radioperturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação e similares, o que estiver mais atualizado.

A norma define três ensaios para avaliação da compatibilidade eletromagnética em lâmpadas LED, são eles: Tensões de perturbação em terminais de alimentação, Perturbações eletromagnéticas radiadas – Campo magnético e Perturbações eletromagnéticas radiadas – Campo elétrico.

Atualmente, existem poucos laboratórios equipados e capacitados para este ensaio, por envolver dispositivos e infraestrutura bastante onerosa, conforme Figura 1.

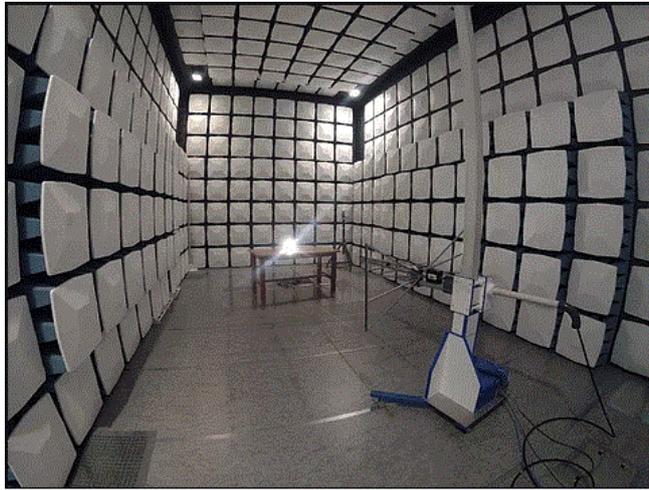


FIGURA 1 – Ensaio de perturbações radiadas em uma sala blindada com mais de 10m de comprimento

Fonte: site www.expersolution.com.br

2 | METODOLOGIA

O laboratório de iluminação do Cepel separou 3 modelos diferentes de lâmpadas LED e enviou a dois laboratórios distintos, acreditados pelo Inmetro, para o ensaio de compatibilidade eletromagnética, sendo o laboratório 1 para realizar o ensaio completo para perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de frequência de 30 a 300 MHz a uma distância de medição de 10m em uma sala blindada e o laboratório 2 para realizar o método alternativo de ensaio do anexo B da CISPR 15.

Todos os ensaios foram realizados em 127V.

As amostras enviadas foram:

- Amostra 1: Lâmpada tubular de LED, soquete G13, 9W, bivolt, 4000K, mostrada na Figura 2.
- Amostra 2: Lâmpada LED tipo bulbo, soquete E-27, 9W, bivolt, 5000K, mostrada na Figura 2.
- Amostra 3: Lâmpada LED tipo bulbo, soquete E-27, 20W, bivolt, 6500K, mostrada na Figura 2.



FIGURA 2 – Modelos utilizados nos ensaios

2.1 Ensaio para perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de frequência de 30 a 300 MHz

A irradiação eletromagnética é o fenômeno em que a energia na forma de onda eletromagnética é emanada da fonte para o espaço. Em sua medição, tem-se interesse na intensidade de campo elétrico a certa distância do equipamento sob teste. Devem ser tomadas precauções para que as medidas representem de maneira confiável a emissão do equipamento sob teste. Comumente utiliza-se a câmara anecóica, que provê facilidades de medidas internas e alta isolamento do meio externo. Como o seu custo aumenta muito com suas dimensões, nem sempre é possível uma construção de grande tamanho. A Figura 3 apresenta a configuração para ensaios de emissão irradiada em uma câmara anecóica.

Os sinais captados pela antena são encaminhados ao receptor com emprego de um cabo de conexão. O receptor realiza a medição e, através de cálculos em que se leva em conta o ganho da antena, encontra-se a intensidade de campo elétrico a uma distância definida do equipamento sob teste, que para lâmpadas e luminárias LED é de 10m.

O equipamento sob teste deve ter sua orientação modificada através de mesas giratórias, localizando-se os pontos de maiores níveis de emissão para cada frequência. A medição é feita com as antenas em polarização horizontal e vertical. Após as medições apresentam-se gráficos da intensidade de campo elétrico em função da frequência para cada caso.

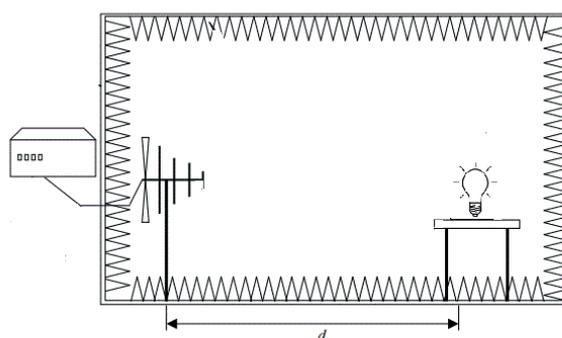


FIGURA 3 – Configuração para ensaios de emissão radiada em uma câmara anecóica – adaptado de (6)

2.2 Método independente de medição de perturbações eletromagnéticas radiadas

No método alternativo, o equipamento de iluminação é colocado em blocos não condutivos, com altura $(10 \pm 0,2)$ cm, que por sua vez são colocados em uma placa de metal ligada a terra, com dimensões pelo menos 20 cm maiores que o equipamento de iluminação.

O equipamento de iluminação é ligado através de cabo de alimentação em uma rede de acoplamento/desacoplamento (CDN) adequada.

A medição pode ser realizada em uma sala não blindada.

Se o equipamento de iluminação atender aos limites estabelecidos por esse ensaio, é considerado cumpridor dos requisitos no ensaio completo para perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de frequência de 30 a 300 MHz.

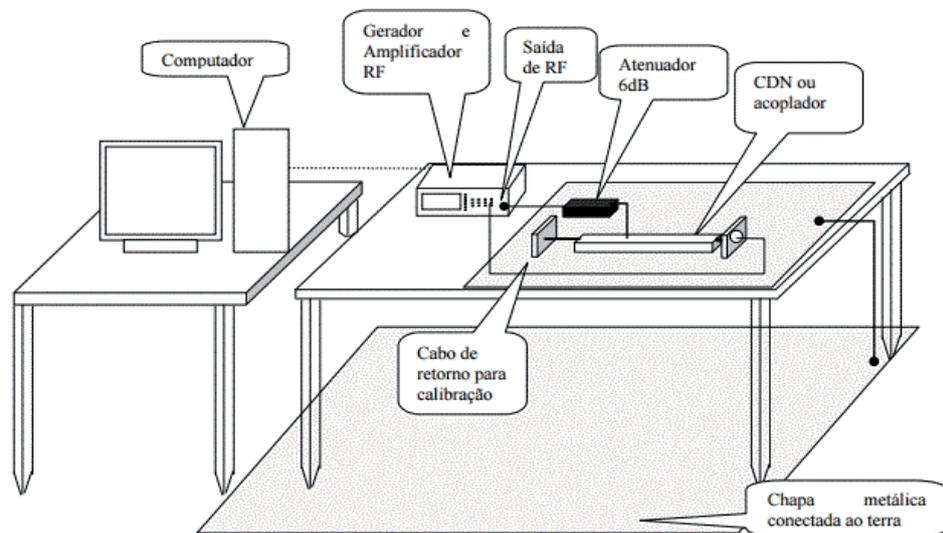


FIGURA 4 – Configuração para método alternativo – adaptado de (6)

2.3 Resultados e comentários

A seguir são apresentados os resultados obtidos na comparação entre o ensaio completo para perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de frequência de 30 a 300 MHz e o método alternativo.

A Figura 5 apresenta a comparação entre o ensaio completo e o método alternativo para a amostra1, onde a linha vermelha representa o limite de quase pico, em $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$, exigido pela CISPR 15, o gráfico à esquerda representa a medição realizada pelo laboratório 1 (ensaio completo) e o gráfico à direita representa a medição realizada pelo laboratório 2 (método alternativo).

O nível de perturbação medido ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$), já corrigido pelos respectivos fatores, utilizando o detector de quase-pico está representado nos gráficos da Figura 3 por losangos azuis para o laboratório 1 (ensaio completo) e por setas vermelhas para o laboratório 2 (método alternativo).

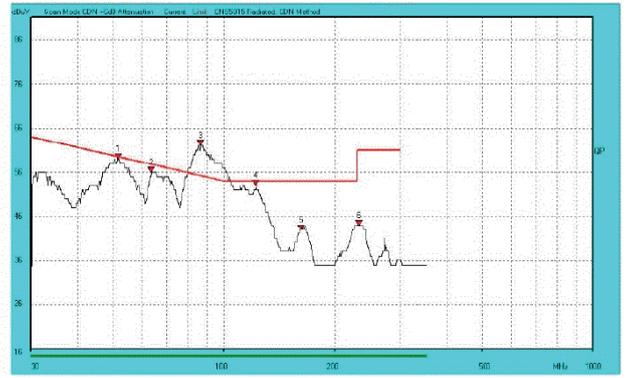
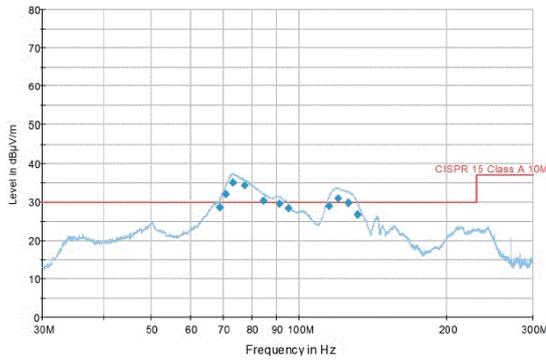


FIGURA 5 –Ensaio completo x método alternativo – Amostra 1

Podemos verificar que o nível de perturbação medido, em $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$, na amostra 1 ultrapassou os limites exigidos pela CISPR 15, nos dois métodos de ensaio, o que reprovava a amostra para a portaria do Inmetro n° 389.

A Figura 6 apresenta a comparação entre o ensaio completo e o método alternativo para a amostra 2.

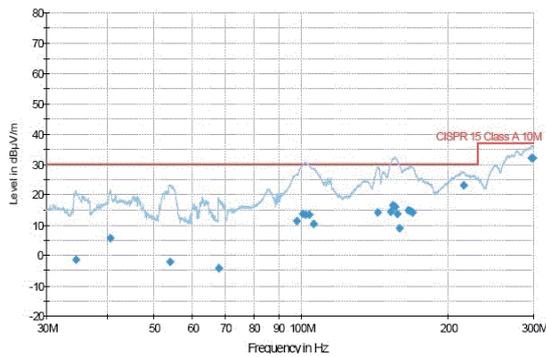


FIGURA 6 – Ensaio completo x método alternativo – Amostra 2

Podemos verificar que o nível de perturbação medido na amostra 2 não ultrapassou os limites exigidos pela CISPR 15, nos dois métodos de ensaio, o que aprova a amostra para a portaria do Inmetro n° 389.

A Figura 7 apresenta a comparação entre o ensaio completo e o método alternativo para a amostra 3.

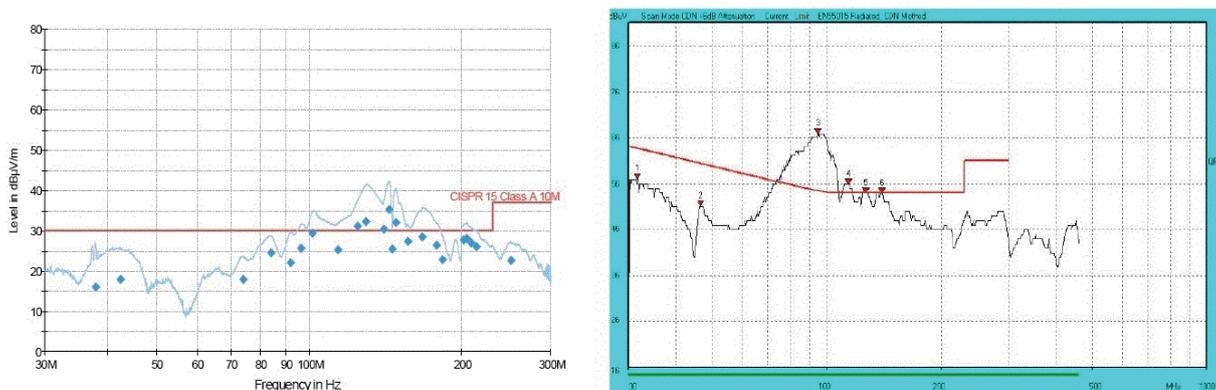


FIGURA 7 – Ensaio completo x método alternativo – Amostra 3

Podemos verificar que o nível de perturbação medido na amostra 3 ultrapassou os limites exigidos pela CISPR 15, nos dois métodos de ensaio, o que reprova a amostra para a portaria do Inmetro n° 389.

Podemos ver pelos resultados das medições nos gráficos das Figuras 3, 4 e 5 que os dois métodos se equivalem e os ensaios dos dois laboratórios obtiveram os mesmos resultados.

A norma CISPR 15 trata dos limites e métodos de medição das radioperturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação e similares de diversas tecnologias, incluindo o LED.

O item 6 da norma CISPR 15 aborda as condições de funcionamento dos equipamentos de iluminação estipulando alguns índices das tecnologias mais conhecidas como as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e de descarga.

Para as lâmpadas e luminárias LED, por se tratar de uma tecnologia nova, não foram estipuladas algumas condições de ensaio, como o tempo de estabilização das lâmpadas no item 6.5.3 da CISPR 15.

Não existe um tempo de estabilização fixo para as lâmpadas e luminárias LED, onde a verificação da estabilização deve ser feita para cada amostra medindo-se a intensidade luminosa e a potência a cada 15 minutos, a lâmpada estará estabilizada se após 3 medições consecutivas a diferença entre o valor mínimo e máximo for menor que 0,5% para as duas grandezas (5).

Nenhum dos dois laboratórios respeitaram o tempo de estabilização das amostras, realizando os ensaios antes do tempo correto.

Embora a norma admita uma temperatura de ensaio na faixa de 15°C a 25°C, as condições de ensaio para lâmpadas e luminárias LED é de temperatura ambiente de 25°C ± 1°C (5).

O laboratório 1 não realizou o ensaio dentro da temperatura ambiente ideal para a tecnologia LED.

3 | CONCLUSÃO

O Método Independente de Medição de Perturbações Eletromagnéticas Radiadas, descrito no anexo B da CISPR 15, mostrou-se uma alternativa eficaz para o ensaio de perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de frequência de 30 a 300 MHz a uma distância de medição de 10m em uma sala blindada, apresentando resultados equivalentes e uma infraestrutura laboratorial mais simples e menos onerosa.

A norma exige outros dois ensaios para a verificação da compatibilidade eletromagnética e as três amostras ficaram reprovadas nos outros ensaios, o que mostra que os ensaios para a avaliação da compatibilidade eletromagnética são de suma importância, não só para as lâmpadas e luminárias LED como para a maioria dos equipamentos eletroeletrônicos.

No Brasil existem poucos laboratórios capacitados para a realização dos ensaios de compatibilidade eletromagnética em lâmpadas e luminárias LED, embora existam bastante laboratórios capacitados para a realização desses ensaios em equipamentos das áreas de telecomunicações, automobilística e aviação.

Os laboratórios utilizados no presente trabalho demonstraram não ter conhecimento na tecnologia LED, não respeitando as condições de temperatura de ensaio e o tempo de estabilização das lâmpadas para a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

(1) *CISPR 15 – Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment*, 2015.

(2) ABNT NBR IEC/CISPR 15 – Limites e métodos de medição das radioperturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação e similares, 2014.

(3) *CISPR 22– Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of information technology equipment*, 2005.

(4) Portaria do Inmetro nº 389, de 25 de agosto de 2014.

(5) *IESNA LM-79-08 – Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products*, 2008.

(6) Magalhães, G. V. B., Implementação de medições automatizadas de interferências eletromagnéticas – Dissertação de mestrado, 2008.

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

Alberto Pires Ordine

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel
Rio de Janeiro – RJ

Cristina da Costa Amorim

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel
Rio de Janeiro – RJ

Marcos Martins de Sá

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel
Rio de Janeiro – RJ

Elber Vidigal Bendinelli

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel
Rio de Janeiro – RJ

RESUMO: A garantia de qualidade dos serviços de pintura anticorrosiva no setor elétrico, tanto para obras novas quanto para manutenção de equipamentos e estruturas metálicas depende de boas práticas de proteção anticorrosiva. Desde março de 2016 estão vigentes as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva, que estabelecem requisitos técnicos de procedimentos e tintas para realização de tais serviços. Neste artigo, apresenta-se uma pesquisa experimental de dois anos, destacando a importância das boas práticas da proteção anticorrosiva, e que é motivadora para a utilização das Normas citadas, como meio de garantir que padrões de qualidade sejam atendidos nos serviços de pintura. Este trabalho foi apresentado no XXIV Seminário Nacional de

Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE 2017.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão, Pintura, Custo, Qualidade, Norma.

ABSTRACT: In order to guarantee quality standards for the anticorrosive painting services in the electric sector, in new projects as well as in the maintenance of equipments and metallic structures, good practices must be carried out. Since March of 2016, the anticorrosive standards for painting services of Eletrobras Enterprises are available for public use. They establish technical requirements for procedures and paints during painting services. In this paper, the results of a two-year experimental research are presented, which highlight the importance of following good practices for anticorrosive protection. These results were a motivator to the use of Eletrobras Standards, that are means of guarantying quality control during painting services. This work was presented in the XXIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE 2017.

KEYWORDS: Corrosion, Painting, Cost, Quality, Standard

1 | INTRODUÇÃO

Muitos parâmetros podem afetar o desempenho de uma pintura anticorrosiva, tais como a especificação do esquema de pintura, o método de preparação de superfície, as condições climáticas durante a pintura, a mistura das tintas, as operações realizadas nas suas aplicações, entre outros (NUNES, 1998). Uma vez aplicado, o esquema de pintura deve atender certos padrões de qualidade (NE-001, 2016) para que apresente o desempenho anticorrosivo desejado, protegendo adequadamente as estruturas metálicas da agressividade do meio em que se encontram. Porém, nem sempre as boas práticas de proteção anticorrosiva são aplicadas nos serviços de pintura industrial, seja por desconhecimento técnico, negligência ou razões relacionadas à redução de custos. Neste último caso, as decisões podem ser tomadas apenas com base numa avaliação imediata, em que aquele procedimento de menor custo é selecionado como a melhor opção. O que não se avalia é por quanto tempo a escolha manterá a vida útil da estrutura protegida em relação a outras opções de diferentes custos. E como selecionar o procedimento de proteção anticorrosiva mais apropriado tecnicamente às condições reais de trabalho das estruturas, de modo a garantir um bom desempenho anticorrosivo das mesmas? Esta questão foi motivadora para a elaboração das Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva. Um projeto realizado por meio de um esforço conjunto das empresas Eletrobras, no âmbito do SCMT – Subcomitê de Manutenção das Empresas Eletrobras e da CPT – Comissão de Política Tecnológica da Eletrobras. Tais Normas padronizam procedimentos e produtos a serem utilizados em serviços de pintura anticorrosiva, específicos para equipamentos e estruturas metálicas do setor elétrico, tanto para obras novas como para serviços de manutenção. A fim de destacar a importância da seleção de procedimentos técnicos adequados na proteção de estruturas metálicas, foi realizado um ensaio de exposição atmosférica por dois anos, em ambiente urbano com contaminação de solução salina, avaliando-se o desempenho anticorrosivo de um esquema de pintura preparado por diferentes procedimentos, com diferentes custos associados, suprimindo-se etapas durante sua preparação ou usando especificações fora dos padrões de qualidade. Estimou-se custos e avaliou-se o desempenho anticorrosivo, sendo possível comparar a relação entre o custo dos diferentes procedimentos e o benefício obtido na proteção anticorrosiva. Com base neste estudo experimental, evidenciou-se a importância da utilização de padrões de qualidade nos serviços de pintura anticorrosiva aplicados ao setor elétrico. No artigo, também são apresentadas as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva, como estão organizadas e como podem ser acessadas. Discutem-se os requisitos técnicos das Normas e como estas podem trazer benefícios na proteção anticorrosiva de equipamentos e estruturas metálicas para o setor elétrico brasileiro.

2 | METODOLOGIA

Foi realizado um ensaio de exposição atmosférica, em que corpos de prova foram confeccionados a partir de chapas de aço carbono nas dimensões de 100 mm x 150 mm e espessura de 6,4 mm. Inicialmente, as chapas apresentavam grau A de intemperismo (carepa de laminação intacta), e a preparação de superfície foi realizada por meio de jateamento abrasivo seco, utilizando-se granalha de aço angular como abrasivo. O grau de limpeza obtido foi Sa 3 (ao metal branco), conforme a norma ISO 8501-1, 2007. O perfil de rugosidade médio foi igual a $30 \mu\text{m}$, medido com um rugosímetro digital do tipo agulha, conforme o método B da norma ASTM D4417, 2014. Após a preparação de superfície, aplicou-se um sistema de pintura de alto desempenho, contendo uma tinta de fundo rica em zinco, normalmente utilizado no setor elétrico para a proteção de estruturas metálicas expostas em ambientes de elevada agressividade atmosférica como, por exemplo, atmosferas industriais e marinhas (NE-004, 2016). Seguiu-se o procedimento padrão de preparação do esquema e realizaram-se outras condições fora do padrão, conforme a seguinte descrição para os esquemas de pintura (ver também Tabela1):

- “A” - pintura realizada adequadamente, seguindo recomendações do fabricante e especificações técnicas.
- “B” - pintura realizada repetindo-se a condição A, exceto pela aplicação de 50% a mais de espessura seca da tinta de fundo, supondo-se que assim será obtido um melhor desempenho anticorrosivo.
- “C” - pintura sobre carepa de laminação, supondo-se que a preparação de superfície não é necessária para o bom desempenho do esquema, podendo ser suprimida para reduzir custos. A carepa de laminação constitui-se na camada de óxido, lisa, dura e quebradiça que se forma durante o processo de laminação à quente do aço.
- “D” - pintura sem tinta de acabamento, supondo-se que esta não seria necessária porque a tinta de fundo e a intermediária já confeririam uma boa espessura para o esquema de pintura e, além de reduzir o custo, diminuiria o tempo de trabalho, aplicando uma demão a menos.

Esquema	Grau de limpeza	Espessura seca das tintas (mm)			Espessura seca dos esquemas de pintura (mm)
		De fundo	Intermediária	De acabamento	
		Epóxi-Zinco Poliamida	Epóxi Poliamida de Alta Espessura	Poliuretano Acrílico Alifático	
A	Sa 3	80	180	70	330
B	Sa 3	120	180	70	370
C	Não realizado	80	180	70	330
D	Sa 3	80	180	Não aplicada	260

Tabela 1 – Esquemas de pintura investigados.

A tinta de fundo dos esquemas é pigmentada com zinco metálico e seu mecanismo de atuação é baseado nos princípios da proteção catódica, em que o pigmento de zinco corrói-se preferencialmente ao aço, preservando a integridade da estrutura. Para avaliar as características de proteção galvânica da tinta de fundo, em cada esquema estudado, foram realizados ensaios eletroquímicos, pela medição de potencial eletroquímico ao longo do tempo, em duas condições: sem exposição do substrato e com exposição de 5% do substrato em relação à área total imersa em solução de cloreto de sódio 3,5%. As medições foram realizadas utilizando-se um eletrodo de referência de calomelano saturado e um multímetro de alta impedância. A fim de complementar a análise de resultados dos ensaios eletroquímicos, foi realizada microscopia ótica da seção transversal dos corpos de prova. O ensaio de exposição atmosférica foi conduzido por dois anos na estação de corrosão atmosférica do Cepel, localizada na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro. A Ilha está situada na Baía de Guanabara, numa região de mangues, com teores relativamente elevados de sulfeto de hidrogênio (H_2S). A atmosfera local foi classificada em trabalho anterior (REIS, 2016) e é caracterizada como uma atmosfera urbana de média agressividade para o aço carbono. Além disso, o ensaio natural foi acelerado pela pulverização de solução de cloreto de sódio (NaCl 1%) sobre os corpos de prova, duas vezes por semana. O desempenho anticorrosivo foi avaliado, realizando-se uma incisão nos corpos de prova para simular um defeito mecânico no revestimento e o avanço de corrosão a partir da incisão foi medido, conforme a norma ASTM D1654, 2008. Outros parâmetros de desempenho foram utilizados, após o ensaio, como a determinação do grau de gizamento, conforme a norma ISO 4628-6, 2011, e o método Helmen, e a verificação do grau de aderência, pelo método de resistência à tração, conforme a norma ASTM D4541, 2009. O gizamento é um defeito de pintura que surge durante a condição de serviço referente à degradação do revestimento pela exposição à radiação ultravioleta. A resina da tinta degrada-se, os pigmentos ficam soltos na superfície e são facilmente removíveis por meio de esfregamento ou lavagem com água. A avaliação do gizamento pela norma ISO 4628-6, 2011, envolve a fixação de uma fita adesiva transparente à superfície do revestimento. Após a sua remoção, e pela quantidade de pó aderido à fita, determina-se o grau de gizamento através de comparação com padrões fotográficos apresentados na Norma. O grau de gizamento pode variar desde 0 (zero), que indica sua ausência, até 5 (cinco), que corresponde a uma intensa quantidade do mesmo na superfície. Quanto à avaliação segundo o método Helmen, o grau de gizamento é determinado num equipamento que mede a diminuição da intensidade de luz que atravessa a fita adesiva, contendo o pigmento solto. Neste caso, o resultado é expresso em (%), numa escala de 0 a 100%. Valores abaixo de 10%, em geral, indicam ausência de gizamento no revestimento. Adicionalmente, elaborou-se uma metodologia de classificação de desempenho dos diferentes esquemas de pintura, com base em um sistema de pontuação. Para cada parâmetro de desempenho, atribuiu-se pontos aos esquemas de pintura, conforme o resultado experimental. Na Tabela 2, são descritos

o sistema de pontos e sua interpretação. A utilização desta metodologia foi uma forma de padronizar por um único parâmetro a classificação de desempenho a partir de diferentes resultados experimentais.

Pontos	Interpretação
0	O esquema de pintura não atendeu o desempenho esperado
1	O esquema de pintura atendeu parcialmente o desempenho esperado
2	O esquema de pintura atendeu integralmente o desempenho esperado

Tabela 2 – Pontuação de desempenho de esquemas de pintura em ensaios.

Os custos dos esquemas de pintura foram estimados pelo somatório entre o custo de sua mão-de-obra e das tintas. A parcela de custo referente à mão-de-obra foi calculada pelo produto entre o total de tempo gasto nas operações técnicas realizadas para concluir a proteção anticorrosiva e o valor monetário de homem-hora (HH) do técnico de aplicação. As etapas para realização dos esquemas de pintura foram discriminadas em tratamento de superfície, preparação de tintas e aplicação de tintas. O gasto de tempo total (GT) de cada esquema de pintura foi calculado pela equação [1]. Os custos das tintas (R\$/m²) foram levantados a partir de informações fornecidas pelo fabricante, permitindo-se estimar também custos para recuperar os diferentes esquemas que apresentaram problemas, após os dois anos de ensaio, supondo a realização de um serviço de manutenção.

$$GT = GTS + GPE + GAE \text{ [1]}$$

Onde: GT é o gasto total de tempo para aplicar o esquema de pintura, em h/m²; GTS é o gasto de tempo na etapa de tratamento de superfície, em h/m²; GPE é o gasto de tempo na etapa de preparação das tintas, em h/m²; GAE é o gasto de tempo na etapa de aplicação do esquema de pintura, em h/m².

Além dos resultados do estudo experimental, apresentam-se neste artigo as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva, que contêm requisitos técnicos para a realização de procedimentos e para os produtos (tintas) utilizados nos serviços de pintura anticorrosiva do setor elétrico. O estudo experimental deixou evidente a partir da avaliação de desempenho anticorrosivo, e de custo dos esquemas de pintura, com as metodologias apresentadas, a importância das boas práticas de proteção anticorrosiva. Estas boas práticas de proteção anticorrosiva podem ser garantidas tendo-se como referência os padrões de qualidade estabelecidos nas Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação de Desempenho

A Figura 1 apresenta resultados dos ensaios eletroquímicos com as tintas de fundo pigmentadas com zinco, com 5% de área do substrato, na solução de cloreto de sódio 3,5%.

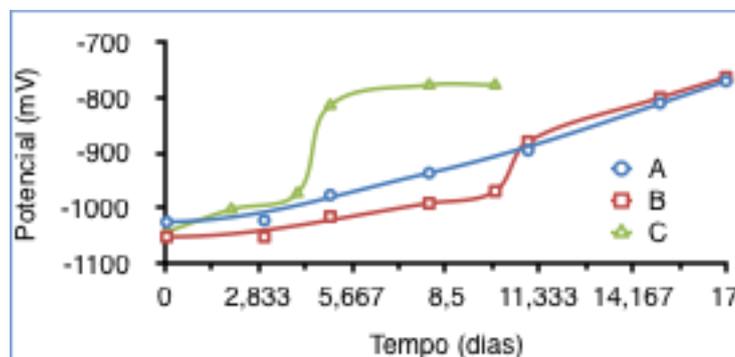


Figura 1 – Potencial eletroquímico ao longo do tempo, em solução de cloreto de sódio 3,5%, com 5% de área de substrato exposta. Observar que o resultado da tinta do esquema D é igual ao da A.

As tintas dos esquemas A e D apresentam a mesma curva, nas duas condições de ensaio. Sabe-se do comportamento eletroquímico de tintas pigmentadas com zinco em solução salina que medidas de potencial apresentam valores próximos a -1000 mV, enquanto houver zinco metálico disponível para proteger o substrato (FRAGATA, 2009). Na medida em que o zinco vai sendo oxidado, o potencial começa a elevar-se para valores mais anódicos e quando atinge valores próximos a -700 mV, observa-se o aparecimento de corrosão vermelha do substrato. Assim, o desempenho neste ensaio será melhor quanto mais tempo for observado até o aparecimento de corrosão vermelha ou quanto mais tempo o registro do potencial demore a atingir patamares de -700 mV. Pela Figura 1, observou-se que o potencial da tinta do esquema B esteve mais catódico (mais eletronegativo) do que o da A e D até, aproximadamente, 12 dias de ensaio, o que é esperado, já que no caso B, a espessura do filme era 50% maior que nos demais. Porém, a partir de 12 dias de ensaio, tal diferença deixa de existir. No caso do esquema C, observou-se que a elevação de potencial e o aparecimento de corrosão vermelha aconteceram na metade do tempo das demais. Os resultados comparativos entre os esquemas de pintura foram equivalentes no ensaio sem área de substrato exposta, porém o tempo para ocorrência das mudanças de potencial foi maior, chegando a 60 dias. Não se chegou a detectar o aparecimento de corrosão vermelha, pois o consumo de zinco para proteger o substrato apresentou uma cinética mais lenta. Através de análises de microscopia ótica da seção transversal dos corpos de prova (ver Figura 2), comprovou-se que, apesar da quantidade de zinco disponível na tinta ser a mesma entre os esquemas A, D e C, a carepa de laminação dificultou o contato elétrico das partículas de pigmento (círculos brilhantes na Figura 2) com

o metal base e, por isso, o zinco metálico não conseguiu atuar no esquema C tão bem quanto nos esquemas A e D. Portanto, torna-se muito importante a limpeza da superfície anteriormente à aplicação do revestimento, sobretudo para aqueles que têm tintas de fundo pigmentadas com zinco. Nestes casos, sabe-se que o melhor padrão de limpeza (Sa 3, no caso de jateamento abrasivo seco) é o mais indicado. O ensaio natural, conduzido de forma acelerada já fora estudado pela equipe de Corrosão do Cepel (REIS, 2016), no qual foram determinadas as taxas de corrosão de metais padrão (zinco, cobre, alumínio e aço carbono). Comparando-se a condição de exposição exclusivamente natural com aquela adicionada de pulverização da solução salina, observou-se que, no aço carbono, a taxa de corrosão aumentou de 170 g/(m².ano), na primeira condição, para 1650 g/(m².ano), na última. Isto significa que a atmosfera caracterizada como de média agressividade, tornou-se equivalente a uma atmosfera de extrema agressividade. A mesma característica é encontrada em atmosferas marinhas, tal como em Fortaleza (MORCILLO, 2012), justificando-se a utilização de um esquema de pintura com tinta de fundo rica em zinco, no presente trabalho.

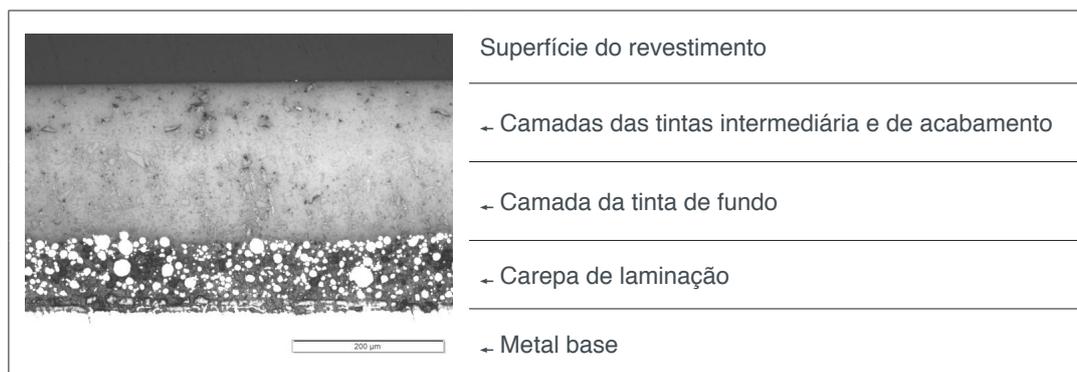


Figura 2 – Microscopia da seção transversal do esquema C, em ampliação de 300 vezes.

A Tabela 3 apresenta os resultados de avanço de corrosão, dos métodos de determinação do grau de gizamento dos esquemas de pintura, e de aderência por resistência à tração, após o ensaio natural. Pelo avanço de corrosão, verifica-se que o único esquema que não apresentou um desempenho coerente com o tipo de tinta de fundo utilizada foi o C. Como a tinta rica em zinco atua por um mecanismo baseado nos princípios da proteção catódica, a partir da incisão, esperava-se um excelente desempenho, com avanço de corrosão próximo de zero. Entretanto, este comportamento não ocorreu no caso do esquema C, confirmando seu resultado dos ensaios eletroquímicos. Mais uma vez, a presença da carepa de laminação foi responsável por prejudicar o contato elétrico dos pigmentos de zinco com a base metálica, comprometendo o desempenho da tinta. Vê-se que o comportamento do esquema C no ensaio eletroquímico se reproduziu no ensaio natural acelerado. Quanto aos resultados obtidos pelos dois métodos de determinação do grau de gizamento, deve-se interpretá-los com certo cuidado. Devido ao fato da estação de

ensaio estar localizada em uma área urbana, observou-se a presença de uma grande quantidade de material particulado e sujidades aderidas na superfície dos corpos de prova, após os 2 anos de ensaio. Os resultados obtidos com os esquemas A, B e C estiveram relacionados a estas sujidades e não ao gizamento da tinta da última demão. Nestes esquemas, a tinta que era, inicialmente, branca não apresentou pó branco aderido na fita adesiva, o que seria resultante do pigmento da tinta, no caso de gizamento. O que estava aderido na fita adesiva foi um pó escuro, provavelmente constituído de sujidades e particulados do ambiente. De modo contrário, o esquema D apresentou uma quantidade significativa de pó branco aderido na fita adesiva, resultante do gizamento intenso. Portanto, somente no caso deste último, o que se mediu foi o gizamento formado. Nos outros casos, pode se considerar que este defeito foi nulo. Tais resultados são coerentes e esperados, porque somente no esquema D não foi aplicada a tinta de acabamento de poliuretano acrílico alifático, que apresenta alta resistência à radiação ultravioleta. A tinta intermediária, a base de resina epóxi não tem a mesma resistência e não é indicada para ambientes desabrigados (NE-004, 2016). Portanto, seguir a especificação do esquema de pintura aplicando todas as demãos de tinta previstas é uma maneira de garantir a qualidade do serviço na proteção anticorrosiva. Cada tinta tem uma função no esquema e sua especificação depende das condições de exposição ao ambiente, para o correto dimensionamento da proteção anticorrosiva. Em relação aos resultados do ensaio de aderência, todos os esquemas apresentaram tensões de ruptura na faixa de 8 a 11 MPa. Nos casos dos esquemas A, B e C, o resultado de falha de aderência é esperado, pois tintas de fundo pigmentadas com zinco são porosas e não apresentam muita coesão. A porosidade é uma característica necessária ao bom contato elétrico entre as partículas de zinco e o metal base, para que o pigmento atue de forma satisfatória, corroendo-se para proteger o substrato. Por isso, os resultados de aderência são de natureza coesiva B (na camada de tinta de fundo). No caso do esquema D, obteve-se um resultado de aderência não desejável, com falha de natureza adesiva entre o substrato e a tinta de fundo (A/B), o que pode ser explicado pela ausência da tinta de acabamento. Esta, por ser mais impermeável que a tinta intermediária, forneceu uma maior proteção aos esquemas A, B e C. No caso do esquema D, o revestimento ficou mais susceptível aos agentes de intemperismo, deteriorando mais rapidamente a película e ocasionando um resultado insatisfatório na aderência ao substrato. Novamente, tem-se um resultado que corrobora a importância da correta especificação do esquema de pintura. Com base em todos os resultados apresentados da avaliação de desempenho dos diferentes esquemas de pintura investigados, a Tabela 4 apresenta a pontuação para classificar o desempenho. Este resultado será avaliado em conjunto com o custo dos esquemas de pintura (R\$/m²), apresentados a seguir.

Esquema de pintura	Avanço de corrosão (mm)	Grau de gizamento		Aderência - ASTM D 4541, 2009	
		Padrão fotográfico ISO 4628-6, 2011	Método Helmen (%)	Tensão de ruptura (MPa)	Natureza da Falha
A	0,0	2	20	8,6	B (coesiva da tinta de fundo)
B	0,0	3	30	10,4	
C	9,3	3	28	11,4	
D	0,0	5	82	8,3	A/B (adesiva)

Tabela 3 – Resultados de avanço de corrosão e grau de gizamento, após ensaio natural acelerado.

Ensaio	Esquema de pintura			
	A	B	C	D
Potencial vs. tempo com 5% de área de substrato exposta	2	2	0	2
Potencial vs. tempo sem área de substrato exposta	2	2	1	2
Ensaio de exposição atmosférica – avanço de corrosão a partir da incisão	2	2	0	2
Ensaio de exposição atmosférica – presença de gizamento	2	2	2	0
Aderência após ensaio de exposição atmosférica	2	2	2	0
Total de pontos	10	10	5	6

Tabela 4 – Pontuação de desempenho para os esquemas de pintura.

3.2 Avaliação de Custo

Com base nas observações experimentais, as parcelas e o resultado da equação [1] foram estimados para cada esquema de pintura. A partir do tempo total gasto, estimou-se o custo de mão-de-obra, que junto com o custo das tintas, resultaram no custo total dos esquemas de pintura (ver Tabela 5).

Avaliação de custo	Esquema de pintura			
	A	B	C	D
Tempo gasto no tratamento de superfície, GTS (h/m ²)	0,55	0,55	0,0	0,55
Tempo gasto na preparação das tintas, GPE (h/m ²)	1,70	1,70	1,70	1,10
Tempo de aplicação das tintas, GAE (h/m ²)	1,94	1,94	1,94	1,39
Tempo total gasto para o esquema, GT (h/m ²)	4,19	4,19	3,64	3,04
Custo de mão-de-obra (R\$/m ²)	41,90	41,90	36,40	30,40
Custo de tintas (R\$/m ²)	24,24	30,43	24,24	20,20
Custo total do esquema de pintura (R\$/m ²)	66,14	72,33	60,64	50,60

Tabela 5 – Dados de avaliação de custos dos esquemas de pintura.

O esquema C não teve tratamento de superfície, reduzindo-se uma etapa. Na etapa de preparação de tintas, o tempo gasto depende da quantidade de demãos do esquema de pintura e se a tinta é bicomponente ou monocomponente. Todas as tintas foram bicomponentes, e como somente o esquema D foi aplicado com uma demão a menos (sem acabamento), seu gasto de tempo nesta etapa foi menor. Na etapa de aplicação das tintas, o tempo depende sobretudo da quantidade de demãos e,

portanto, novamente o esquema D, consumiu menos tempo. O maior custo de tintas foi com o esquema B, devido à aplicação de uma maior espessura da tinta de fundo, aumentando também o custo total do esquema. O segundo maior custo total foi o do esquema A, mas em termos de tintas, o gasto foi equivalente ao do esquema C. Este ficou com custo total menor em relação ao A, uma vez que teve menor custo de mão-de-obra, pela supressão da preparação de superfície. Como o esquema D não recebeu a demão de tinta de acabamento apresentou os menores custos.

3.3 Avaliação de Desempenho e Custo

Os resultados obtidos no item anterior referem-se a uma análise exclusivamente econômica. Com base somente nestes dados, poderia se escolher o esquema D como melhor opção para a proteção anticorrosiva, por ser o de menor custo. Porém, há uma mudança nesta avaliação, quando se associa o resultado do custo com o de desempenho anticorrosivo. Neste sentido, tomando-se o esquema A como referência, o desempenho e o custo dos demais esquemas foram calculados em relação a este. Os resultados são apresentados na Figura 3, onde valores negativos indicam que houve redução de desempenho ou custo e os positivos, aumento, em relação ao esquema A. O esquema de referência escolhido foi o A, porque é o esquema onde todos os procedimentos para adequação aos padrões de qualidade foram seguidos em sua aplicação. A preparação de superfície foi realizada de forma adequada, todas as demãos de tinta foram aplicadas nas espessuras indicadas pelo fabricante em suas especificações técnicas. Por isso, este esquema apresentou o melhor desempenho anticorrosivo, atendendo completamente o esperado. Pelos resultados da Figura 3, pode-se fazer uma análise de desempenho e custo dos demais esquemas em comparação ao esquema de referência. O esquema de pintura B apresentou um custo 9% maior que o esquema de referência, porque foi aplicada uma espessura da tinta de fundo 50% maior que no caso do esquema A. Esta simulação foi realizada supondo-se que uma maior quantidade de tinta corresponderia a uma maior proteção, em função do aumento da quantidade de pigmento anticorrosivo na película. Entretanto, este fato não foi observado e os esquemas A e B foram equivalentes em termos de desempenho, não havendo vantagem no aumento da espessura da tinta de fundo. Além disso, pelo fato das tintas ricas em zinco serem muito porosas, tecnicamente, a sua especificação quanto à espessura seca deve ser obedecida, uma vez que, neste tipo de tinta, o aumento da espessura pode gerar a formação de trincas e perda de aderência ao substrato.

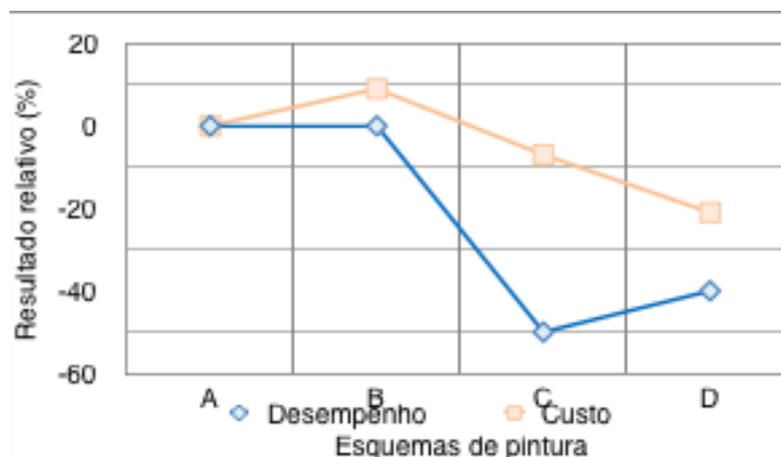


Figura 3 – Desempenho e custo dos esquemas de pintura em relação ao esquema A.

O esquema de pintura C foi aplicado seguindo todas as especificações técnicas das tintas, tal como no esquema A, porém não foi realizada a preparação de superfície e o esquema foi aplicado sobre carepa de laminação. A redução de custo em relação ao esquema de referência foi de apenas 7% e a perda de desempenho de 50%, evidenciando que a proteção anticorrosiva de um esquema de pintura pode ser bastante comprometida, quando a preparação de superfície não segue procedimentos padronizados. No caso deste estudo, o esquema de pintura C possui alto custo e alta performance para proteção de estruturas metálicas em meios de elevada agressividade (industriais ou marinhos), porém teve seu desempenho comprometido por um procedimento equivocado na etapa de preparação de superfície. De fato, comprovou-se que a carepa de laminação deve ser removida, pois esta impediu o contato elétrico das partículas de zinco da tinta de fundo com a base metálica, fornecendo resultados insatisfatórios. Quanto ao esquema D, este apresentou um custo 21% menor em comparação ao A, devido à ausência da demão de tinta de acabamento. Como o tipo de esquema em questão foi elaborado para ser utilizado em áreas desabrigadas, com incidência solar, a tinta de acabamento possui uma função importante no esquema de pintura, deve ter resistência à radiação ultravioleta e ser impermeável aos agentes de intemperismo. A tinta intermediária não apresenta tais características, pois não fica exposta aos agentes de intemperismo, e sua função é conferir selagem à tinta de fundo e aumento de espessura ao esquema de pintura, para aprimorar suas propriedades de barreira. Portanto, o desempenho do esquema D deixou a desejar quanto à resistência à radiação ultravioleta e à aderência, com formação de gizamento e falha de aderência adesiva entre o substrato e a tinta de fundo, apresentando um desempenho 40% menor do que no caso do esquema de referência.

Neste estudo, também foi considerado o custo de manutenção destinado à correção dos erros cometidos por ocasião da aplicação. Verificou-se que após 2 anos de exposição nas condições de agressividade atmosférica do ensaio, os esquemas A e B apresentavam excelentes desempenhos e foram equivalentes entre si, com a diferença que o custo do esquema B foi 9% maior que o do A. Nestes casos pode

se considerar que não é necessário realizar qualquer manutenção, uma vez que os mesmos continuarão protegendo as estruturas metálicas com um desempenho esperado e o seu custo de manutenção seria igual a zero. Nos esquemas C e D, simulou-se uma manutenção após os 2 anos de ensaio, necessária para corrigir as falhas e adequar os desempenhos anticorrosivos ao que se espera de esquemas deste tipo. Para esta adequação, no caso do esquema C é necessário realizar o jateamento abrasivo seco em toda a pintura, a fim de removê-la junto com a carepa de laminação, preparando a superfície até o grau de limpeza Sa 3 e então, aplicar o esquema de pintura, seguindo suas especificações técnicas, tal como foi feito para o esquema A. No caso do esquema D, duas formas de recuperação diferentes foram avaliadas, em termos de manutenção. Num primeiro momento, poderia se pensar em simplesmente lavar, lixar levemente e passar um solvente na superfície da tinta intermediária e então, aplicar a demão da tinta de acabamento. Este é um procedimento tipicamente realizado quando se ultrapassa o intervalo de repintura entre a tinta intermediária e a tinta de acabamento e costuma apresentar bom resultado de aderência entre as demãos. Porém, o procedimento é realizado ainda em fase de aplicação do esquema de pintura. Como a proposta é realizar o procedimento depois de 2 anos nos quais o revestimento ficou submetido às condições de intemperismo, deve ser levado em conta o grau de comprometimento do esquema de pintura em termos do seu desempenho anticorrosivo. Neste quesito, o resultado do ensaio de aderência por tração evidenciou uma deterioração da película, ocasionando a perda de aderência da mesma ao substrato. Portanto, é arriscado realizar a manutenção neste esquema somente com o lixamento e aplicação da tinta de acabamento, pois a aderência do revestimento ao substrato já está comprometida. Será um custo menor no momento, para dali a pouco tempo, novamente se fazer necessária outra manutenção, devido à possível perda de aderência do esquema de pintura. Assim, fica justificado que a melhor prática para serviços de manutenção no caso do esquema D é a repintura total, tal como no esquema C. A repintura parcial somente seria indicada se a aderência não estivesse comprometida, pela deterioração da película frente aos agentes de intemperismo. Este resultado mostra que é importante também se realizar uma avaliação de desempenho de esquemas de pintura antigos antes de definir o plano de manutenção (NE-009, 2016). Com base nesta análise, os custos de manutenção dos esquemas D seriam os mesmos do esquema C, considerando a repintura total nos dois casos. Estes custos estão apresentados em forma gráfica na Figura 4(a), em conjunto com os custos da fase de aplicação de todos os esquemas de pintura. Comparam-se os custos iniciais de aplicação com os custos estimados de manutenção, ficando claro que a correção dos problemas apresentados, no caso dos esquemas C e D, tornou estes mais onerosos que os esquemas A e B, e que a manutenção somente foi necessária porque não foram seguidas as boas práticas de pintura anticorrosiva no tempo inicial. A Figura 4(b) complementa o resultado da Figura 4(a), apresentando em termos percentuais o quanto cada esquema foi mais oneroso em relação ao esquema A (referência),

considerando a soma dos custos inicial e de manutenção.

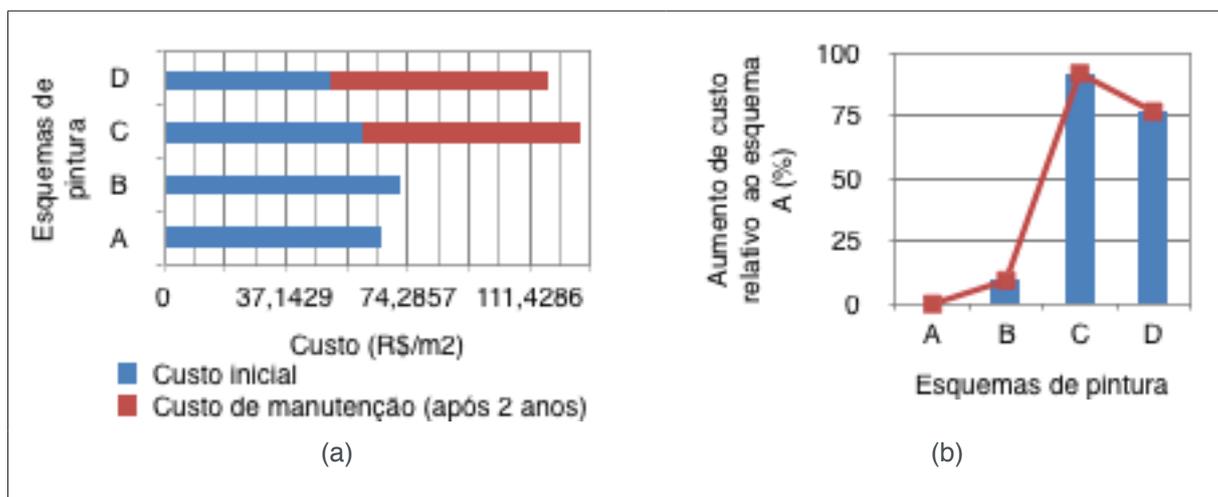


Figura 4 – Custo inicial e custo de manutenção após 2 anos de condição de serviço dos esquemas de pintura.

3.4 Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva

Os resultados experimentais apresentados evidenciam a importância de se atender requisitos de qualidade na elaboração de serviços de pintura. Por isso, as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva foram elaboradas, sendo uma ferramenta que contém padrões de qualidade para a realização de procedimentos e utilização de tintas em esquemas de pintura, na proteção anticorrosiva de estruturas metálicas e equipamentos elétricos. Estas Normas foram as primeiras Normas Técnicas da Eletrobras, elaboradas pelas Empresas Eletrobras, a fim de atender uma demanda do setor elétrico. Uma vez que são garantidas as boas práticas nos serviços de proteção anticorrosiva, amplia-se a vida útil das estruturas, exigindo-se menos paradas para manutenção, diminuindo-se custos, tal como foi mostrado pelos resultados experimentais. Com as Normas foram padronizados os procedimentos de todas as etapas de serviços de pintura anticorrosiva, compreendendo recebimento de materiais, preparação de superfície, aplicação de esquemas de pintura, inspeção e critérios de aceitação e rejeição. São 9 (nove) Normas de procedimentos, em que estão contemplados:

- requisitos gerais para os serviços de pintura;
- aplicação de pintura nova;
- pintura em aço galvanizado;
- pintura em aço carbono tratado por ferramentas mecânicas;
- requisitos sobre jateamento abrasivo e hidrojateamento;
- testes de compatibilidade para identificação de pintura existente;
- definição de cores de equipamentos e estruturas metálicas das empresas Eletrobras;
- classificação do grau de degradação de pintura existente.

Adicionalmente, foi criado um Guia Prático para os serviços de pintura, contendo os requisitos das demais Normas, de forma condensada, e fluxogramas para orientação do uso das Normas, conforme o tipo de pintura a ser realizado. Além dos procedimentos, o conjunto dos documentos inclui Normas de tintas, onde estão estabelecidos requisitos técnicos de diferentes tecnologias de tintas de fundo, intermediária e de acabamento, que compõem esquemas de pintura utilizados em serviços de proteção anticorrosiva, no setor elétrico. Estas Normas contemplam 21 (vinte e uma) diferentes tecnologias disponíveis no mercado, em que estão estabelecidas condições de ensaio para análise das tintas líquidas e para avaliar as películas secas na proteção dos substratos metálicos. São definidos critérios de aceitação dos resultados destes ensaios, ou seja, os padrões de desempenho anticorrosivo, cujos produtos testados devem atender. Dessa forma, tem-se uma garantia de qualidade para o desempenho das tintas, nas reais condições de utilização. O trabalho de elaboração das Normas permitiu uma maior integração dentro das empresas Eletrobras, entre os funcionários que estão em contato com problemas de corrosão, nos seus trabalhos do dia-a-dia. Assim, iniciou-se uma troca de experiências benéfica para evitar perdas de tempo e custos. Uma vez que, muitos dos problemas de corrosão são semelhantes entre as Empresas e a experiência de uma equipe pode facilitar ou direcionar a solução para outra. Este intercâmbio de conhecimentos possibilitou a obtenção de subsídios técnicos práticos para adequar as Normas a real condição de uso. Com vigência desde março de 2016, as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva são de domínio público e estão disponíveis para acesso na página da Eletrobras na internet em: <http://eletrobras.com/pt/Paginas/Normas-Eletrobras-de-Pintura-Anticorrosiva.aspx>

4 | CONCLUSÃO

Neste artigo, mostrou-se que atender padrões de qualidade para a realização de serviços de pintura é fundamental para garantir um bom desempenho da proteção anticorrosiva. Tal fato foi comprovado com base em uma pesquisa experimental, conduzida por dois anos em ensaio de exposição atmosférica com elevada agressividade de corpos de prova de aço carbono, revestidos com esquemas de pintura contendo tinta de fundo rica em zinco. Por uma análise de desempenho e de custos associados à elaboração dos esquemas de pintura, bem como à manutenção daqueles que apresentaram problemas na proteção anticorrosiva, foi possível verificar que seguir procedimentos adequados no emprego dos esquemas de pintura resultaram na melhor proteção e num menor custo relativo. Aqueles procedimentos que fugiram aos padrões de qualidade e inicialmente apresentaram menor custo, a longo prazo, tiveram desempenho inferior e necessitaram de intervenção para manutenção. O trabalho destacou que o bom desempenho anticorrosivo da pintura está relacionado

ao atendimento dos padrões de qualidade, evitando necessidade de manutenção prematura e por isso, sendo a opção de menor custo. As Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva contemplam tais padrões de qualidade de procedimentos e de tintas, a serem utilizados nos serviços de pintura aplicados a qualquer tipo de equipamento e estrutura existentes nas empresas do setor elétrico. Vale destacar que as decisões tomadas apenas com base numa avaliação imediata, em que esquemas de pintura de menor custo são selecionados, não levam em consideração a vida útil e disponibilidade das estruturas e equipamentos, indicador de desempenho sobre o qual está estruturada a remuneração das empresas do setor elétrico. Ficou claro pelo artigo que a escolha de esquemas e procedimentos de proteção tecnicamente mais apropriados às condições operacionais e ambientais dos equipamentos e estruturas é a garantia de um melhor desempenho anticorrosivo, maior intervalo entre as manutenções, e representa uma grande economia a médio e curto prazos. Além do custo para a manutenção da pintura é preciso levar em consideração que em muitos casos é necessário tirar os equipamentos de operação, indisponibilizando os ativos.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a equipe técnica das empresas Eletrobras pelo trabalho em conjunto de elaboração das Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva, bem como pela experiência e conhecimentos técnicos resultantes deste trabalho. Este artigo foi aprovado e incentivado por esta equipe, comprometida com a disseminação das boas práticas de proteção anticorrosiva.

REFERÊNCIAS

ASTM D1654, **Standard test method for evaluation of painted or coated specimens subjected to corrosive environments**, ASTM INTERNATIONAL, 2008.

ASTM D4417, **Standard test methods for field measurement of surface profile of blast cleaned steel**, ASTM INTERNATIONAL, 2014.

ASTM D4541, **Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers**, ASTM INTERNATIONAL, 2009.

FRAGATA, F. L., ORDINE, A. P. **Desempenho anticorrosivo de esquemas de pintura com tintas primárias em pó pigmentadas com zinco**. Corrosão e proteção de materiais, v. 28, p. 55-64, 2009.

ISO 4628-6, **Paints and varnishes -- Evaluation of degradation of coatings -- Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance -- Part 6: Assessment of degree of chalking by tape method**, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011.

ISO 8501-1, **Preparation of steel substrates before application of paints and related products**

- **Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings**, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007.

MORCILLO, M., CHICO, B., FUENTE, D., SIMANCAS, J. **Looking back on contributions in the field of atmospheric corrosion offered by the Micat Ibero-american testing network**. International Journal of Corrosion, vol. 2012, Article ID 824365, 24 pages, 2012.

NE-001, **Requisitos técnicos de serviços de pintura anticorrosiva**, NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, 2016.

NE-004, **Esquemas de pintura de equipamentos e estruturas metálicas**, NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, 2016.

NE-009, **Classificação de grau de degradação em pintura**, NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, 2016.

NUNES, L. P., LOBO, A. C. O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**, 1998.

REIS, C. B., BENDINELLI, E. V., ORDINE, A. P., AMORIM, C. C., CAFÉ, Y. H. P. **Análise crítica do ensaio de perda de massa para classificação do grau de agressividade atmosférica**. 6th International Corrosion Meeting - INTERCORR 2016, Búzios – RJ, 2016.

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

Cristina da Costa Amorim

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel,
Rio de Janeiro - RJ

Alberto Pires Ordine

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel,
Rio de Janeiro - RJ

Marcos Martins de Sá

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel,
Rio de Janeiro - RJ

Wendell Porto de Oliveira

FURNAS Centrais Elétricas, Rio de Janeiro - RJ

RESUMO: O aço galvanizado é bastante utilizado no setor elétrico por suas boas propriedades de proteção anticorrosiva. Esse material é, por exemplo, empregado em perfis de fundações de torres de linhas de transmissão que ficam em contato direto com o solo. O solo onde as fundações de torres de linhas de transmissão são construídas pode apresentar variadas condições de agressividade, acarretando processos corrosivos que demandam serviços de manutenção contínuos. Assim, o Cepel em conjunto com Furnas avaliou diferentes sistemas de proteção anticorrosiva para recuperação de estruturas enterradas, contemplando uma investigação de desempenho anticorrosivo, de produtividade e custos envolvidos nas tecnologias estudadas. O presente trabalho foi apresentado no XXIV SNPTEE - Seminário

Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica e recebeu o prêmio de 1º lugar no Grupo de Estudo de Aspectos Técnicos de Gerenciais de Manutenção – GMI 12.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão, Custo, Produtividade, Desempenho Anticorrosivo

ABSTRACT: Galvanized steel is widely used in the electrical sector for its good anticorrosion protection properties. This material is, for example, used in foundations of foundations of transmission lines towers which are in direct contact with the ground, that have many aggressive conditions, leading to corrosive processes that demand continuous maintenance services. Thus, Cepel and Furnas evaluated different corrosion protection systems for the recovery of buried structures, including an investigation of the anticorrosive performance, productivity and costs involved in the technologies studied. The present work was presented at the XXIV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica and received the 1st prize in the Study Group on Technical Aspects of Maintenance Management - GMI 12.

KEYWORDS: Corrosion, Cost, Productivity, Anticorrosive Performance

1 | INTRODUÇÃO

As torres de linhas de transmissão, cujas fundações são constituídas de grelhas metálicas em aço galvanizado, podem apresentar intensos processos de corrosão na sua parte enterrada. Por este motivo, as equipes de manutenção das empresas Eletrobras realizam inspeções frequentes nestas torres, para programar e realizar serviços de recuperação nas fundações das mesmas. Essa atividade é de fundamental importância na preservação da integridade estrutural das torres.

Fatores como o teor de umidade, o pH, a presença de substâncias poluentes e de microrganismos são capazes de gerar diferentes condições de agressividade do solo. Além destas, condições específicas podem acelerar os processos corrosivos de estruturas metálicas em solo, como por exemplo, a presença de lençóis freáticos, condições de encharcamento periódico, regiões onde se usam fertilizantes e defensivos agrícolas e existência de diferentes condições de aeração do terreno em torno da estrutura (SERRA, 2006). Sobre esta última, um processo comum que se observa em fundações de torres de linhas de transmissão é a corrosão intensa na zona de afloramento.

Neste caso, um pouco abaixo da superfície do solo observa-se um processo de corrosão desencadeado pela menor disponibilidade de oxigênio em relação às zonas superficiais (SERRA, 2006), formando o mecanismo de corrosão conhecido como pilha de aeração diferencial (JONES, 1962). As regiões menos aeradas tornam-se anódicas, favorecendo a corrosão e as regiões mais aeradas da estrutura tornam-se catódicas, onde ocorre a redução do oxigênio presente no solo úmido que envolve a estrutura metálica. Quando as condições se tornam secas, este mecanismo tem velocidade reduzida.

Para evitar o mecanismo de corrosão por aeração diferencial nas zonas de afloramento de pés de torres de linhas de transmissão, é uma prática comum das equipes de manutenção das empresas Eletrobras recuperar os pés e realizar proteção anticorrosiva pelo uso de esquemas de pintura numa extensão que compreende aproximadamente 0,5 metros acima do nível do solo e 1,0 metro abaixo deste nível. Dessa forma, isola-se toda a região com possibilidades de apresentar pilhas de aeração diferencial, impedindo o contato da área com o meio corrosivo, evitando a corrosão da estrutura metálica. A tecnologia tradicionalmente utilizada neste serviço de recuperação compreende a limpeza de superfície por meio de ferramentas mecânicas ou de jateamento abrasivo seco ou úmido, seguido da aplicação de um sistema de pintura. O sistema pode ser constituído por uma tinta de fundo epóxi pigmentada com alumínio e por duas demãos de tinta com alcatrão de hulha.

Como o alcatrão de hulha é nocivo ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores, houve o desenvolvimento de uma tinta alternativa no mercado de tintas industriais, conhecida como tinta epóxi *tarfree* ou isenta de alcatrão de hulha. Tais esquemas de pintura são normatizados pela Eletrobras para os serviços de pintura anticorrosiva

(NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, NE-006, 2016).

Devido à importância do assunto para o setor elétrico, o Cepel em conjunto com Furnas realizou um estudo experimental para avaliar o desempenho anticorrosivo de alternativas tecnológicas ao esquema de pintura tradicionalmente utilizado na proteção de estruturas enterradas. Além da avaliação de desempenho, realizou-se uma avaliação de produtividade e custos dos esquemas de pintura aplicados, cujos resultados são apresentados neste artigo. Observou-se que o esquema com a tinta epóxi isenta de alcatrão de hulha foi uma boa alternativa ao esquema tradicional. Ressalta-se também que a análise de custos associada ao desempenho anticorrosivo foi uma informação útil na seleção de métodos de proteção anticorrosiva para estruturas enterradas.

2 | METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido em solos, dispostos em caixas d'água de 250 L, previamente peneirados, para a remoção de detritos, em duas condições de agressividade diferentes, por um período total de 6,5 anos. Os solos foram caracterizados e mantidos em constante condição úmida durante todo o ensaio, sendo que uma das condições apresentava o solo natural e a outra, o solo mais agressivo. O solo agressivo foi obtido através da adição de cloreto de sódio em concentração de 3,5%, para acelerar os eventuais processos corrosivos. Corpos de prova foram preparados e enterrados, para avaliar o desempenho anticorrosivo das diferentes tecnologias investigadas.

Como substratos foram utilizados perfis metálicos de torres com 7 mm de espessura, fornecidos por Furnas, e que estavam enterrados há vários anos, em avançado estágio de corrosão. Tais perfis foram cortados em chapas de 100 mm x 300 mm e recuperados por dois processos de limpeza diferentes, o tratamento com ferramentas mecânicas e o jateamento abrasivo úmido. No primeiro caso, obteve-se um padrão de limpeza de superfície St 3, já no segundo, um padrão equivalente a Sa 3, ambos em conformidade com a norma ISO 8501-1/Part 1 (2007). O jateamento abrasivo gerou um perfil de rugosidade médio de 50 μ m e a superfície apresentou um grau leve de oxidação instantânea anteriormente à pintura. Além do esquema de pintura tradicional (tinta epóxi pigmentada com alumínio e tinta epóxi alcatrão de hulha), aplicou-se um esquema substituindo a tinta epóxi alcatrão de hulha por aquela isenta de alcatrão de hulha.

Além desses esquemas, foram investigados esquemas de pintura contendo uma tinta de fundo rica em zinco, com o objetivo de avaliar o quanto este tipo de esquema pode ser comparável a uma galvanização convencional, em termos de proteção anticorrosiva.

A Tabela 1 apresenta os esquemas de pintura estudados e como foram referenciados no estudo.

Esquema	Tratamento de superfície	Tinta de fundo	Tinta intermediária / de acabamento
E1	Jateamento abrasivo	Epóxi pigmentada com alumínio, conforme NE-022 (5), 130 mm	Epóxi com alcatrão de hulha, conforme NE-012 (6), 280 mm
E1st	Ferramentas mecânicas		
E2	Jateamento abrasivo	Monocomponente e de cura por evaporação de solventes, com teor de zinco metálico na película seca de 93%, 60 mm	Poliuretano de cura com umidade do ar, contendo óxido de ferro micáceo, 120 mm
E2st	Ferramentas mecânicas		
E3	Jateamento abrasivo		Idem à tinta de fundo, 60 mm
E3st	Ferramentas mecânicas		
E4	Jateamento abrasivo	Epóxi pigmentada com alumínio, conforme NE-022 (5), 130 mm m	Epóxi com alto teor de sólidos, isenta de alcatrão de hulha, 280 mm

Tabela 1 – Esquemas de pintura, sua denominação e características técnicas

Foram realizados ensaios de aderência por resistência à tração, conforme a norma ASTM D4541 (2009), antes e após o ensaio de desempenho anticorrosivo nos solos. Além disso, como critérios de desempenho, avaliaram-se os corpos de prova após o ensaio, quanto aos graus de empoamento e corrosão (ISO 4628, 2011). Para se obter um parâmetro capaz de mensurar a proteção anticorrosiva em cada ensaio realizado, elaborou-se uma metodologia de classificação de desempenho dos diferentes esquemas de pintura, com base em um sistema de pontuação. Em cada ensaio atribuiu-se pontos aos esquemas de pintura, conforme seu desempenho.

Na Tabela 2, são descritos o sistema de pontos e sua interpretação. Como cada ensaio tem parâmetros diferentes para avaliação dos esquemas, a utilização deste sistema de pontuação foi uma forma de padronizar a classificação de desempenho entre os diferentes esquemas de pintura.

Pontos	Interpretação
0	O esquema de pintura não atendeu o desempenho esperado
1	O esquema de pintura atendeu parcialmente o desempenho esperado
2	O esquema de pintura atendeu integralmente o desempenho esperado

Tabela 2 – Pontuação de desempenho de esquemas de pintura em ensaios

A produtividade de aplicação dos esquemas de pintura foi avaliada com base no levantamento dos tempos gastos nas operações técnicas realizadas para concluir a proteção anticorrosiva em cada caso. Tais operações compreendem as seguintes etapas: tratamento de superfície; homogeneização prévia dos componentes das tintas, pesagem e mistura dos mesmos; aplicação das tintas; limpeza dos materiais

utilizados. Com exceção da primeira etapa, as demais se repetem a cada demão de tinta, conseqüentemente, os esquemas com menor número de demãos são aqueles com maior produtividade e vice-versa.

Os corpos de prova possuíam área total de 0,06 m², uma vez que os dois lados foram pintados. Observou-se que a etapa de limpeza de material consumiu o mesmo tempo, em torno de 30 minutos, independentemente do esquema aplicado. Assim, esta etapa foi uma parcela de igual contribuição para todas as demãos de tinta e incluída na etapa de aplicação das tintas. Além disso, para fins de simplificação, as etapas de homogeneização e pesagem e mistura dos componentes das tintas constituintes do esquema de pintura foram agrupadas em uma única etapa denominada “preparação das tintas”.

Dessa forma, o gasto de tempo total (GT) de cada esquema de pintura foi calculado pela equação [1].

$$GT = GTS + GPE + GAE \text{ [1]}$$

Onde: GT é o gasto total de tempo para aplicar o esquema de pintura, em h/m²;

GTS é o gasto de tempo na etapa de tratamento de superfície, em h/m²;

GPE é o gasto de tempo na etapa de preparação das tintas, em h/m²;

GAE é o gasto de tempo na etapa de aplicação do esquema de pintura, em h/m².

Os custos das tintas foram levantados junto aos respectivos fabricantes e, para fins de padronização, foram considerados sem a incidência de impostos. Neste trabalho, os resultados apresentados estão baseados nos custos relativos ao esquema tradicionalmente utilizado.

A partir da avaliação de desempenho anticorrosivo, de produtividade e custo dos esquemas de pintura, com as metodologias apresentadas foi possível selecionar mais adequadamente os esquemas de pintura para manutenção de estruturas enterradas de torres de linhas de transmissão.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação de Desempenho

O solo empregado no estudo apresentava características argilosas, nas duas condições de agressividade investigadas. A Tabela 3 apresenta os resultados da análise química dos extratos aquosos dos solos em que os corpos de prova foram enterrados, evidenciando-se que a condição agressiva apresentava um elevado teor de sais de cloreto.

Tipo de solo	pH	Condutividade (mS/cm)	Teor de cloreto (mg/kg)	Teor de sulfato (mg/kg)
Natural úmido	7,3	112	1	2
Agressivo úmido	6,9	9902	3305	11

Tabela 3 – Análise química de extratos aquosos dos solos utilizados durante os ensaios de corrosão.

O valor mais acentuado da condutividade no solo agressivo úmido está relacionado ao alto teor de cloreto presente. Além de acelerar a corrosão metálica, este torna o meio mais condutor, facilitando os processos eletroquímicos da corrosão (GENTIL, 2003). Entre os esquemas de pintura estudados, após 6,5 anos enterrados nos dois tipos de solo, verificou-se que E1, E2 e E4, independentemente do tratamento de superfície e da condição de solo, apresentaram-se visualmente íntegros ao final dos ensaios, sem descascamento e corrosão. No caso do esquema E3, observou-se um desgaste considerável da película de tinta e áreas com corrosão do substrato devido à perda de aderência do revestimento. Esse processo de degradação foi mais intenso no caso do solo agressivo e com tratamento de superfície por ferramentas mecânicas.

A Tabela 4 apresenta o desempenho dos corpos de prova nos ensaios em solo, em termos de área de corrosão, classificada conforme os padrões da Norma SSPC-VIS 2 (2000), em que o tipo de corrosão foi generalizada (G). Nesta Norma, a classificação utiliza números inteiros em sequencia, desde 1 a 9, sendo 1 aquelas superfícies com área mais corroída (50% ou mais) e 9, aquelas com área menos corroída (0,03%). Somente são apresentados os esquemas que tiveram corrosão.

Como resultados obtidos, ficou evidente que a tinta utilizada para o esquema E3 não atendeu à condição enterrada para substratos que já perderam a camada de galvanização e foram recuperados em serviços de manutenção. É um equívoco afirmar que a tinta rica em zinco, como um único constituinte de um esquema de pintura, é capaz de recuperar a galvanização da peça. Estudos já realizados mostram que estruturas em aço galvanizado por imersão a quente, com peso de camada de 900 g de Zn/m² (espessura de 125 mm), enterradas em solos agressivos proporcionam uma proteção adequada de 15 anos ou mais (SERRA, 2006). Com menos da metade deste tempo, na condição de solo agressivo, os corpos de prova com o esquema E3 apresentaram uma extensão considerável de área corroída e a tinta mostrou-se bem degradada.

Tipo de solo	Esquema	Classificação de corrosão (10)	
		Grau de corrosão	Àrea corroída (%)
Natural úmido	E3	7-G	0,3
	E3st	7-G	0,3
Agressivo úmido	E3	2-G	33,0
	E3st	1-G	50,0

Tabela 4 – Resultados do grau de corrosão dos corpos de prova ensaiados em solo, após 6,5 anos.

A Tabela 5 apresenta os resultados de aderência antes e após os ensaios nas duas condições de solo.

Esquema de pintura	Aderência inicial		Solo Natural Úmido		Solo Agressivo Úmido	
	Tensão de Ruptura (MPa)	Natureza da Falha	Tensão de Ruptura (MPa)	Natureza da Falha	Tensão de Ruptura (MPa)	Natureza da Falha
E1	19,3	C/Y	15,3	40% B; 60% C/Y	17,6	25% B; 75% C/Y
E1st	13,7	40% B; 60% C/Y	14,7	60% B; 40% C/Y	19,1	75% B; 25% C/Y
E2	11,1	C	8,4	80% C; 20% B	8,1	C
E2st	8,0	C	7,7	80% C; 20% B	4,5	C
E3	10,8	A/B	14,6	B	Não foi possível medir	
E3st	13,5	A/B	11,0	A/B	Não foi possível medir	
E4	9,2	C	14,6	50% C/Y; 50% B (*)	17,4	60% C/Y; 40% B (*)

Tabela 5 – Resultados de aderência por resistência à tração antes e após os ensaios em solos.

(*) Presença de pontos de corrosão na superfície.

Os resultados mostram que os esquemas de pintura E1, E2 e E4 tiveram boa aderência ao substrato, tanto sobre superfície tratada com jateamento abrasivo, quanto por meio de ferramentas mecânicas. Quanto ao esquema E3, os valores e, principalmente, a natureza da falha obtida na região do arrancamento dos carretéis, correspondem ao pior desempenho anticorrosivo observado. De fato, o que é menos desejado numa avaliação de ensaio de aderência por tração é a falha entre o substrato e o revestimento (adesiva A/B).

Com base em todos os resultados apresentados da avaliação de desempenho dos diferentes esquemas de pintura investigados, elaborou-se a Tabela 6, contendo a pontuação para classificar o desempenho.

Ensaio E1		Esquema de pintura						
		E1st	E2	E2st	E3	E3st	E4	
Aderência inicial		2	2	2	2	0	0	2
Natural úmido	Grau de corrosão	2	2	2	2	1	1	2
	Aderência final	2	2	2	2	2	0	2
Agressivo úmido	Grau de corrosão	2	2	2	2	0	0	2
	Aderência final	2	2	2	2	0	0	2
Total de pontos		10	10	10	10	3	1	10
Avaliação relativa de desempenho (%)		100	100	100	100	30	10	100

Tabela 6 – Pontuação de desempenho para os esquemas de pintura por ensaio.

3.2 Avaliação de Produtividade

Com base nas observações experimentais, as parcelas e o resultado da equação [1] foram estimados para cada esquema de pintura e os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tempo gasto (h/m ²)	Esquema de pintura						
	E1	E1st	E2	E2st	E3	E3st	E4
Tratamento de superfície (GTS)	0,55	2,78	0,55	2,78	0,55	2,78	0,55
Preparação das tintas (GPE)	1,70	1,70	0,55	0,55	0,37	0,37	1,70
Aplicação das tintas (GAE)	3,40	3,40	3,64	3,64	2,22	2,22	3,40
Tempo total gasto para o esquema (GT)	5,65	7,88	4,74	6,97	3,14	5,37	5,65
Avaliação relativa de produtividade (%)	55,6	39,8	66,2	45,1	100,0	58,5	55,6

Tabela 7 – Produtividade dos esquemas de pintura.

O tratamento de superfície por ferramentas mecânicas é cerca de 5 vezes mais demorado do que aquele por jateamento abrasivo. Na etapa de preparação de tintas, o tempo gasto depende da quantidade de demãos do esquema de pintura e se a tinta é bicomponente ou monocomponente. Como as tintas dos esquemas E2 e E3 são monocomponentes, toma-se menos tempo para prepará-las. No caso do esquema E3, em especial, aplicou-se 2 demãos, reduzindo ainda mais esta etapa. Todos os demais esquemas foram aplicados em 3 demãos (uma de tinta de fundo e duas de acabamento).

Já na etapa de aplicação das tintas, o tempo depende sobretudo da quantidade de demãos, porém no caso dos esquemas E2 e E3, foi necessário realizar o procedimento chamado de *mist coat*, que torna a aplicação do esquema mais lenta. O *mist coat* é feito em tintas muito porosas, geralmente as pigmentadas com zinco, e consiste em pulverizar uma demão bem fina da tinta da demão subsequente, com o objetivo

de selar a superfície da tinta de fundo. Após curto tempo de secagem, aplica-se a demão seguinte na espessura especificada. Este procedimento é um recurso para evitar formação de pequenas bolhas na segunda demão, durante a sua secagem, tipicamente observado quando se emprega uma tinta impermeável sobre uma tinta porosa (como é o caso das tintas pigmentadas com zinco). O *mist coat* aumentou o tempo de aplicação de uma demão do esquema de pintura em 50%.

A Tabela 7 também apresenta o resultado de produtividade relativa, tomando-se por base que o máximo de produtividade possível foi com o esquema E3 (100%), que registrou o menor gasto de tempo. Em relação a este esquema, calculou-se a produtividade dos demais, percentualmente.

3.3 Avaliação de Custo

A avaliação de custo dos esquemas de pintura contemplou o custo dos tratamentos de superfície somados aos custos das diferentes tintas utilizadas. Para o custo dos tratamentos de superfície, consultou-se uma empresa que presta serviços de pintura anticorrosiva para o setor elétrico, solicitando-se a diferença de custo entre a preparação de superfície até o grau de limpeza Sa 3, em comparação àquela com grau St 3. A empresa informou que a obtenção do grau de limpeza no último caso tem um custo superior ao primeiro, visto que tem maior dificuldade. Para o Sa 3, o custo varia de 35 a 40 R\$/m², e para o St 3, de 45 a 50 R\$/m². Para contabilização neste trabalho, utilizaram-se as médias, dentro destes intervalos, ou seja, R\$ 37,50/m² para obtenção do grau de limpeza Sa 3 e R\$ 47,50/m² para obtenção do grau de limpeza St 3.

Os custos das tintas (R\$/m²) foram calculados com base em dados fornecidos pelos respectivos fabricantes (R\$/L) e no rendimento das tintas (m²/L), a partir de seus boletins técnicos. Os preços das tintas foram aqueles isentos de impostos e informados no período de setembro a dezembro de 2016. Com os custos das tintas, foi possível obter os custos dos esquemas de pintura, que somados àqueles devido aos métodos de preparação de superfície, resultou na avaliação de custo deste estudo. Os valores foram convertidos em percentuais relativos ao esquema de custo máximo (100%), que se refere ao esquema E3st. A Tabela 8 apresenta os resultados.

Custo do esquema de pintura (R\$/m ²)	Esquema de pintura						
	E1	E1st	E2	E2st	E3	E3st	E4
Preparação de superfície	37,50	47,50	37,50	47,50	37,50	47,50	37,50
Custo do sistema de pintura	15,64	15,64	58,53	58,53	59,79	59,79	16,48
Custo total	53,14	63,14	96,03	106,03	97,29	107,29	53,98
Avaliação relativa de custo (%)	49,50	58,90	89,50	98,80	90,70	100,00	50,30

Tabela 8 – Custos dos esquemas de pintura.

Observou-se que o sistema E3 apresentou maior custo total, devido ao maior custo da tinta de fundo, que tem também um baixo rendimento, levando a um aumento relativo do custo por área. Mesmo este esquema sendo de duas demãos, em comparação ao E2, com três demãos. Os esquemas E2 e E3 são os mais onerosos, com tinta de fundo rica em zinco, em comparação aos esquemas do tipo barreira (E1 e E4). É interessante notar também que o uso da tinta com tecnologia isenta de alcatrão de hulha (E4) não é muito mais custosa que ao sistema tradicional com tinta epóxi alcatrão de hulha.

3.4 Avaliação de Desempenho, Produtividade e Custo

A Figura 1 apresenta os resultados relativos (%) dos parâmetros avaliados nos itens anteriores, a partir da qual foi possível realizar uma análise entre o desempenho anticorrosivo, a produtividade e o custo, comparando-se os diferentes esquemas de pintura investigados.

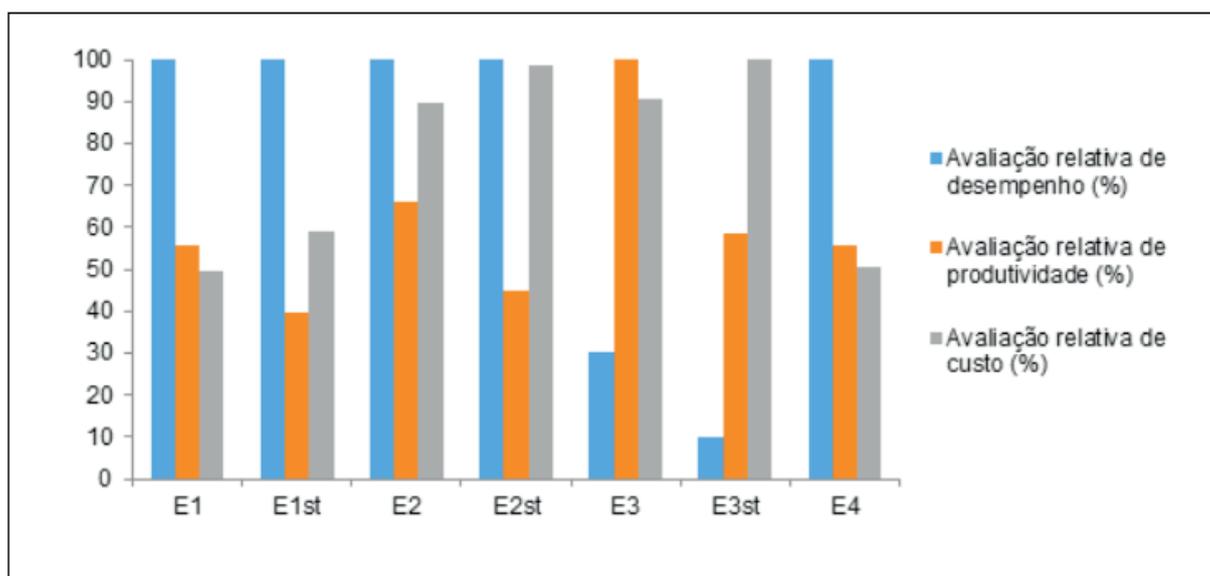


Figura 1 – Avaliação de Desempenho, Produtividade e Custo

Como pode ser observado, tomando-se como referência o esquema E1, aplicado tanto sobre o substrato tratado com jateamento abrasivo quanto por meio de ferramentas mecânicas, foi possível verificar que o esquema E4 mostrou comportamento semelhante, tanto em termos de desempenho anticorrosivo, quanto em produtividade e custo.

A influência do tipo de preparação de superfície também ficou evidenciada ao se comparar os esquemas E1 e E1st e E2 e E2st. O método utilizando ferramentas mecânicas é menos produtivo do que o jateamento abrasivo, uma vez que depende em grande parte do operador da ferramenta. Esta velocidade reduzida de processo, além de aumentar o tempo de serviço, e conseqüentemente, diminuir a produtividade, acarreta um aumento no custo em função do tempo e do valor do gasto com o HH do

operador.

Com relação aos esquemas contendo tinta de fundo rica em zinco, observa-se que o E2 apresentou bom desempenho, próximo com o do esquema de referência. Entretanto, seu custo foi muito elevado, tornando-o uma opção inadequada. Aqui, também se observa a diferença de produtividade relacionada aos métodos de preparo de superfície. Já o esquema E3 falhou em dois dos três requisitos de avaliação, mostrando-se inadequado para o caso de revestimento de estruturas enterradas, principalmente nos quesitos desempenho anticorrosivo e custo.

Ao se analisar a diferença de desempenho apresentada pelos esquemas E2 e E3, que possuíam a mesma tinta de fundo, verifica-se que a demão da tinta de acabamento aplicada, por ser mais impermeável, proporcionou uma proteção adicional ao substrato.

4 | CONCLUSÃO

Os esquemas de referência (E1 e E1st) e o sistema E4 foram aqueles que apresentaram os melhores desempenhos em todos os ensaios realizados. O sistema E4 teve um bom desempenho, com a vantagem de sua tinta de acabamento ser isenta de alcatrão de hulha, portanto é um ganho ecológico em relação à tinta de acabamento do esquema E1. Como se sabe, o alcatrão de hulha está sendo substituído devido a sua toxicidade e problemas de contaminação para o meio ambiente. Assim, o sistema E4 é uma boa alternativa ao sistema E1 na manutenção de estruturas enterradas, para uma variada condição de agressividade do solo, uma vez que se mostrou equivalente em termos, não somente de desempenho anticorrosivo, como também de custo e produtividade.

O esquema E2 mostrou bom desempenho anticorrosivo, razoável produtividade, porém seu custo foi elevado.

O esquema E3 mostrou-se inadequado às condições de ensaio, em função do baixo desempenho anticorrosivo e elevado custo.

REFERÊNCIAS

ASTM INTERNATIONAL, ASTM D4541, **Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers**, 2009.

GENTIL, V. **Corrosão**, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 4628, **Paints and varnishes - Evaluation of degradation of coatings - Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance**, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 8501-1, **Preparation of steel**

substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings, 2007.

JONES, D. A. **Principles and prevention of corrosion**, Macmillan Publishing Company, 1992.

NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, **NE-006, Pintura de aço galvanizado**, 2016.

NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, **NE-012, Tinta epóxi alcatrão de hulha, curada com poliamida**, 2016.

NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, **NE-022, Tinta de fundo epóxi pigmentada com alumínio, curada com poliamina**, 2016.

SERRA, E. T. **Corrosão e proteção anticorrosiva dos metais no solo**, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel, 2006.

SSPC THE SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS, SSPC-VIS 2, **Standard method of evaluating degree of rusting on painted steel surfaces**, 2000.

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

Institutos Lactec

Curitiba - Paraná

Cresencio Silvio Segura Salas

Institutos Lactec

Curitiba - Paraná

RESUMO :Estudos na gestão de segurança do trabalho defendem o uso de quase-acidentes como meio eficaz e proativo na prevenção de acidentes. Uma ferramenta, que pode ser utilizada para definição de ações preventivas e corretivas para o bloqueio destes eventos é identificar em quais atividades acontecem e quais são estas situações de riscos. Para isso foram analisados os registros de quase-acidentes, ocorridos entre janeiro de 2014 a dezembro de 2015, que aconteceram durante a execução de manutenção de redes de distribuição de energia elétrica aérea de média tensão ocorridos em uma empresa de distribuição de energia elétrica na região leste do estado do Paraná. Os quase-acidentes foram analisados utilizando como base as técnicas do Método de Árvore de Causas, os quais foram agrupados pelo mesmo tipo de risco. Para cada grupo foi elaborada a árvore de causa com base em técnicas de álgebra booleana, visando ilustrar os principais fatores e causas que geram este risco e como a combinação destes

fatores e causas pode gerar um acidente, sendo possível visualizar os níveis de barreiras que podem evitar um acidente relacionado ao risco analisado. Através destas etapas, foi possível identificar oportunidades de melhorias que visam aumentar o nível de segurança na execução destas atividades.

PALAVRAS-CHAVE: Quase-acidente; Segurança do Trabalho; Árvore de causas.

ABSTRACT: Several studies in the management of workplace safety advocate the use of near misses as effective and proactive in preventing accidents through. A tool that can be used to define preventive and corrective actions to block these events is to identify what activities these problems happen and what are these risk situations. For this the records of near misses, a company that occurred between January 2014 to December 2015, which occurred during the execution of maintenance of distribution networks air electricity, medium voltage was analyzed. The almosts accidents were analyzed using techniques based on the Method of Tree Causes, which were grouped by the same type of risk. For each group was drawn tree concerned based on boolean algebra techniques, aiming at illustrating the main factors and causes behind this risk and how the combination of these factors and causes can generate an accident, being able to view the levels of barriers that

can related to avoid an accident risk analysis. Through these steps, it was possible to identify improvement opportunities to improve the level of security in the execution of these activities.

KEYWORDS: Near misses. Safety. Tree causes.

1 | INTRODUÇÃO

Uma das diretrizes da NR 10 determina o dever de informar, garantir o direito de informação e do saber do trabalhador, sobre os riscos e possíveis perigos a segurança e à saúde, elétricos e não elétricos, que serão expostos no desenvolvimento das atividades contratadas ou designadas. A identificação do risco permite eliminar ou reduzir, mantendo sobre controle, as incertezas e eventos indesejáveis.

O risco de acidentes associado a serviços com distribuição de energia elétrica e o elevado número de acidentes ocorridos na atividade, tem levado as empresas distribuidoras de energia elétrica a buscar ações para reduzir estes números. A segurança no trabalho torna-se fator preponderante nas empresas, sendo uma das principais funções dos gestores e líderes a de preservar a integridade e saúde dos seus subordinados.

Um quase acidente (QA) é um evento imprevisto que não resultou em lesão, doença ou dano para pessoas, equipamentos ou ambiente, mas que tinha o potencial para o fazer. Somente uma afortunada ruptura na cadeia de eventos impediu uma lesão, fatalidade ou dano. Alguns Quase-acidentes, ocorridos em atividades de execução de Manutenção de Redes de Distribuição Aérea (MANRD), ocorrem e retornam a acontecer em função dos mesmos fatores e causas. Em alguns casos tiveram consequências mais graves e passaram de uma situação de “quase” para acidente. Partindo da premissa que os quase-acidentes são mais frequentes que os acidentes e indicam a probabilidade da ocorrência de um acidente, aqueles podem ser utilizados como ferramenta para avaliar os riscos envolvidos em atividades de MANRD, podendo prevenir a ocorrência de acidentes.

Conforme o conceito de quase-acidente, utilizado neste trabalho, são todos os eventos que causaram uma perda de tempo, porém alguns geraram um risco de acidente muito elevado, ao passo que outros a equipe não chegou a se expor ao risco, pois o identificou previamente. Desta forma os quase-acidentes analisados podem ser divididos em duas categorias:

- Quase-acidente proativo: Quando a equipe através da realização da APR conseguiu identificar o perigo antecipadamente, não se expondo a este risco;
- Quase-acidente passivo: Quando a equipe não identificou o perigo na realização da APR, e acabou se expondo ao risco existente, gerando uma situa-

ção de risco muito crítica.

Na empresa objeto de estudo, existem padrões para execução de cada atividade de MANRD, porém uma mesma atividade possui situações de riscos distintas, algumas destas são peculiares para uma mesma tarefa em função de variáveis tais como: ambiente; condição climática; idade dos componentes da estrutura; tipo de materiais da estrutura; dentre outros fatores. Estas situações em muitos casos não estão explícitas no padrão da atividade. Para estes casos, se o risco pré-existente não for observado na execução da Análise Preliminar de Risco (APR), pode vir a causar um QA ou até mesmo um acidente. Esta falha pode estar atrelada a fatores tais como:

- a. Negligência;
- b. Falta de conhecimento;
- c. Falta de treinamento;
- d. Inexperiência;
- e. Desconhecimento da equipe de manutenção sobre o risco pré-existente relacionado a uma determinada atividade de manutenção, em função de característica do ambiente e tipo da estrutura.

O ponto de partida para bloqueio destes eventos é identificar em quais atividades acontecem estes problemas e quais são estas situações de riscos, utilizando como ferramenta a análise de dados dos quase-acidentes. O fator negligência pode ser bloqueado com ações de conscientização, já os fatores de conhecimento e treinamento podem ser bloqueados através da inclusão de informações e instruções no procedimento de trabalhos destas atividades, para bloqueio destes riscos pré-existentes. Para comprovar a efetividade dos programas de conscientização e treinamento, bem como o cumprimento dos procedimentos de trabalho, faz-se necessário também uma prática de fiscalização sistemática das atividades executadas. Através deste levantamento, possibilitar-se-á identificar quais são os principais riscos das atividades de MANRD caracterizando-os de acordo com os seguintes critérios:

- a. Tipo da atividade;
- b. Tipo de rede;
- c. Linha desligada ou ligada;
- d. Característica do local;
- e. Característica do risco.

A prática adotada na empresa em estudo mostra que os acidentes ocorridos são analisados através do Método de Árvore de Causas por um grupo de trabalho que faz parte da Comissão Interna de Prevenção de Acidente (CIPA), onde são identificados os fatores, causas e recomendações de bloqueios. Já os quase-acidentes são analisados em reuniões setoriais de segurança, porém sem nenhuma metodologia

definida. Para possibilitar a consolidação de critérios referente à identificação de fatores causais e recomendações de bloqueios, os quase-acidentes elencados, de acordo com os riscos envolvidos, serão analisados utilizando como base as técnicas do Método de Árvore de Causas. Para cada grupo formado pelo mesmo tipo de risco, será elaborada a árvore de causa com base em técnicas de álgebra booleana, visando ilustrar os principais fatores e causas que geram este risco e como a combinação destes fatores e causas pode gerar um acidente, sendo possível visualizar os níveis de barreiras que podem evitar um acidente relacionado ao risco analisado. As execuções destas etapas propiciam o mapeamento das atividades de manutenção que possuem riscos pré-existentes, que em alguns casos não são percebidos quando da execução da APR e quais são estes riscos. Possibilitando a formulação de proposição de ações de bloqueios de acordo com estes riscos.

2 | DESENVOLVIMENTO

Os quase-acidentes foram selecionados de acordo com critérios e delimitações conforme objetivos deste trabalho. Esta análise apresenta os principais riscos envolvendo as atividades de MANRD, as atividades com maior número de quase-acidentes, os principais fatores e causas, principais falhas que causaram os quase-acidentes e proposições de bloqueios para estas falhas. A partir destas análises foram elaboradas as árvores de causas, para os quase-acidentes que tiveram em comum os mesmos riscos, as quais possibilitaram entender de que maneira as diferentes causas produzem as condições necessárias para a ocorrência de acidente e como a combinação destas podem resultar em um acidente.

Os relatos de quase-acidentes são transcritos em uma ficha pelo empregado que sofreu o QA ou relatado nas reuniões setoriais de segurança, que posteriormente são cadastrados no sistema. Todos os quase-acidentes são discutidos nas reuniões setoriais de forma a divulgar os riscos e ações preventivas daquele evento para os demais empregados. No período entre janeiro de 2014 a dezembro 2015, foram registrados 647 quase-acidentes em quatro setores do Departamento de manutenção desta empresa, que neste trabalho são chamados de setores A, B, C e D.

Através da consulta em um banco de dados da empresa objeto de estudo, foram selecionados 172 quase-acidentes ocorridos em atividades de MANRD entre janeiro de 2014 e dezembro de 2015. Foram desconsiderados eventos envolvendo terceiros, comunidade, trajeto e trânsito.

2.1 Questionamentos realizados

Na primeira etapa da análise foram realizados dois questionamentos, cujas respostas foram baseadas somente nas informações contidas no registro dos quase-

acidentes. O objetivo destes questionamentos é identificar qual é o tipo do QA, e o nível de dificuldade de identificação da situação de risco que gerou o QA.

A classificação entre um quase-acidente proativo e passivo foi definida com base nas informações contidas no registro do QA, se o risco foi identificado na realização da APR. Nos casos de resposta positiva, trata-se de um quase-acidente proativo e resposta negativa, de quase-acidente passivo. Do total dos registros analisados 65,12% dos quase-acidentes são passivos, onde a equipe ficou exposta a um risco muito crítico. O setor C apresenta o pior resultado entre os setores, onde 71,43% são passivos, e o setor B apresenta o melhor resultado com 48,39% dos riscos identificados durante a execução da APR. No geral o resultado foi muito próximo entre os setores que revela uma oportunidade de melhoria na execução da APR.

2.2 Conjectura da identificação do risco previamente

Uma das análises realizadas, com objetivo de mensurar o grau de dificuldade de identificação do risco pelo trabalhador, que no contexto deste trabalho é qualquer fator que o coloque em situação vulnerável e possa afetar sua integridade, seu bem estar físico e psíquico, considerando apenas as informações contidas nos registros do QA, foi à conjectura de identificar antecipadamente o risco na situação em que ocorreu o QA. No geral, em 81% dos quase-acidentes, o risco poderia ser identificado na APR, sendo que em 17% seria difícil identificar o risco e apenas 2% dos quase-acidentes ocorreram em situação que não seria possível identificar o risco previamente. O setor A, foi o único que teve a ocorrência de QA onde não havia a hipótese de identificar o risco antecipadamente, com 7% dos casos ocorridos neste setor. O setor D é o que apresenta os riscos com maior dificuldade de identificação na realização da APR.

2.3 Estatísticas - Localidade, área elétrica, equipes e empregados envolvidos

Os registros dos quase-acidentes têm como prerrogativa a tomada de ações corretivas e a divulgação destes fatos aos demais empregados do setor. Visando obter informações sobre em quais atividades ocorrem o maior número de QA, quais empregados e equipes, quais são os riscos, quais são os fatores e causas e outras informações, foi realizada a análise estatística destas informações as quais possibilitam priorizar o direcionamento de ações corretivas e preventivas para os maiores problemas. No total 64% dos quase-acidentes ocorreram em redes de distribuição urbana e 36% em redes rurais. A maioria dos quase-acidentes ocorreram em redes de distribuição convencional de 13,8 kV, representando 83% dos quase-acidentes registrados. Este fato está relacionado à maior quilometragem de redes de distribuição ser deste tipo, requerendo uma maior quantidade de manutenção, conseqüentemente maior exposição ao risco. No total 70% dos quase-acidentes ocorreram com equipes de linha morta. Na execução das atividades com linha viva, quando acontece uma falha, as conseqüências geralmente são graves. As equipes de linha viva possuem

o hábito e cultura de planejar de forma detalhada suas atividades, pois este é um bloqueio para ocorrência de eventos não planejados e indesejáveis. No total 67 % dos quase-acidentes ocorrem com empregados próprios que representa 55% da força de trabalho. Um dos fatores para esta discrepância pode estar relacionado com a maior facilidade que os empregados próprios possuem em registrar o QA, devido ao acesso direto ao sistema informatizado de registro, ao passo que os empregados contratados não possuem esse acesso. Outro fator pode estar relacionado ao medo de algum tipo de sanção contratual, por parte dos empregados contratados bem como comportamental ou cultural da empresa contratada.

2.4 Atividades Manutenção de Redes de Distribuição de Energia – MANRD

As atividades de substituição de postes, emenda de condutores, poda de árvores, e operação de equipamentos, representam 70 % do total dos QA analisados, e são comuns entre os quatro setores de manutenção. A atividade de substituição de poste apresenta a maior quantidade de QA. Este fato pode estar relacionado às características deste serviço, pois na maioria dos casos trata-se de abalroamento por veículos, alterando totalmente as características do sistema, ensejando maiores números de riscos. O abalroamento de postes, ocorre em função de acidentes, no qual o poste é atingido por veículo em movimento, que acaba danificando a estrutura do poste. Na atividade de substituição de poste, o principal risco está associado ao choque elétrico que esteve presente em 39% dos QA ocorridos nesta atividade. A principal causa esta associada a falha no procedimento, que ocorreu em 38 % dos quase-acidentes desta atividade.

A atividade de emenda de condutores possui diversos riscos envolvidos. O choque elétrico também é o principal risco que esteve presente em 74% dos QA ocorridos nesta atividade. A principal causa esta associada à falha no primeiro atendimento, que ocorreu em 42 % dos QA desta atividade. A arborização urbana tem interferência direta com rede de distribuição aérea e isso requer manutenção constante, sendo a poda de árvores a atividade mais executada na MANRD. Os riscos relacionados ao meio ambiente de trabalho também são diversos, tais como animais e insetos, que esteve presente em 40% dos quase-acidentes ocorridos nesta atividade. O planejamento para esta atividade é fator preponderante para execução de forma segura. A principal causa esta associada à falha no procedimento, que ocorreu em 43% dos quase-acidentes analisados. O maior risco na atividade de operação de equipamentos está relacionado à abertura de arco elétrico, que esteve presente em 47% dos quase-acidentes ocorridos nesta atividade. O principal bloqueio para este risco é seguir os procedimentos de trabalho, que possuem medidas preventivas para a execução da atividade, a principal causa está associada ao defeito no material ou equipamento, que ocorreu em 33,3 % dos quase-acidentes ocorridos nesta atividade.

2.5 Riscos identificados nos quase-acidentes

Considerando todos os quase-acidentes analisados o choque elétrico, arco elétrico, animais e insetos e queda de objeto, foram fontes de risco em 77%, dos casos. O choque elétrico é o principal agente de risco de atividades de MANRD, sendo que 63 QA ocorreram com este risco, representando 37% do total dos QA analisados. Em 64% dos quase-acidentes com choque elétrico, o risco foi identificado previamente e caracterizado como quase-acidente proativo, e em 37% o risco não foi identificado previamente e a equipe ficou exposta a um risco muito elevado de acidente. O arco elétrico, também é um risco inerente à atividade, e esteve presente em 15% dos quase-acidentes analisados, porém para este risco o percentual de quase-acidentes passivos foi de 77%. Para os casos de quase-acidentes envolvendo animais e insetos, foram 14% do total analisado, onde 83% foram quase-acidente passivos. Como as atividades são executadas em altura, o risco envolvendo queda de objetos está presente nas atividades e 12% dos casos ocorreram em função de queda de objetos. Para estes casos, 90% dos eventos foram quase-acidentes passivos.

2.6 Fatores e causas

A definição dos fatores e causas serviu como base para proposições de ações corretivas ou medidas preventivas para o QA analisado 28,5% dos quase-acidentes tiveram como principal fator e causa a falha no procedimento. Considerando que os procedimentos de trabalho, já contemplam possíveis situações de riscos existentes, estes são definidos para bloquear os possíveis riscos. Quando a equipe não observa no procedimento de trabalho uma nota alertando sobre determinada situação de risco ou deixa de executar determinada etapa prevista no procedimento e vem a ocorrer um QA, a causa principal está associada à falha no procedimento. Em alguns casos, o QA ocorreu em função de mais de um fator ou causa, nesta análise foi identificada apenas uma causa principal.

2.7 Álgebra booleana

A álgebra booleana classifica as informações em dois tipos: verdadeiras e falsas. Atribui-se às informações o símbolo matemático “1” para informações verdadeiras e as falsas o símbolo “0”. Tem como base três operações básicas: *NOT*, *AND* e *OR*, das quais derivam várias outras. A figura 1 apresenta o símbolo utilizado para representar cada função a sua expressão booleana e a tabela verdade. (Lourenço *et al*, 2013).

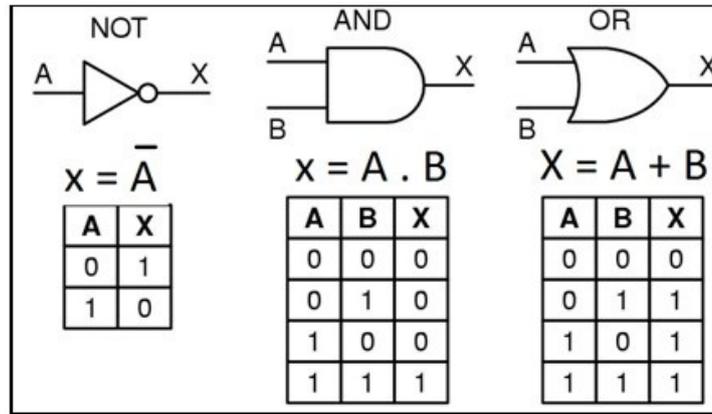


Figura 1 – Símbolo funções lógicas, expressão booleana e tabela verdade

Na utilização da álgebra booleana, para elaborar a árvore de causas, as variáveis de entrada representam as causas que propiciam as condições necessárias para a ocorrência do acidente. Um circuito combinacional é aquele que executa uma expressão booleana através da interligação das várias portas lógicas existentes (Lourenço *et al*, 2013), sendo que a saída, neste caso o acidente, depende única e exclusivamente das entradas, neste caso representado pelas causas.

Para elaboração da árvore de causa, serão utilizadas duas funções, *AND* e *OR*, cujas características são:

- A função *AND*, assume o valor 1 se, e somente se, todas as variáveis lógicas de entrada assumirem o valor 1, ou seja, ela é verdadeira somente se todas as variáveis de entrada forem verdadeiras;
- A função *OR*, assume o valor 1 se pelo menos uma das variáveis de entrada assumir o valor 1, ou seja, ela é verdadeira se pelo uma das variáveis de entrada for verdadeira.

2.8 Árvore de causas

Identificado todos os riscos, fatores e causas dos quase-acidentes, pode-se perceber que os riscos são comuns entre as atividades mesmo que estas sejam distintas. A variação encontra-se nas causas que originaram o risco. O evento não evoluiu se tornando um acidente, pois não houve mais conjunções de variações que propiciariam as condições necessárias para a ocorrência do acidente. Considerando a técnica de análise pelo método de árvores de causas, associada à álgebra booleana, foram elaboradas as árvores de causas que representam os quase-acidentes que tiveram em comum os mesmos riscos. Nas árvores de causas são representadas todas as causas agrupadas por componente juntamente com a informação da percentagem deste componente no quase-acidentes envolvendo o risco analisado. Apresentaremos a Árvore de causa, dos três principais riscos identificados nas análises dos quase acidentes, choque elétrico, arco elétrico e animais e insetos.

2.8.1 Árvore de causa – choque elétrico

Este risco representa 36,5% dos casos analisados. Com base nas informações contidas nos registros que tiveram em comum este risco, foi elaborada a árvore de causas conforme apresenta a Figura 2. O meio de trabalho representa 47,6% das causas. A falha no primeiro atendimento, falha na manobra de desligar e energização acidental, se caracterizam como ambiente, pois são ações de terceiros que alteram as condições do ambiente de trabalho.

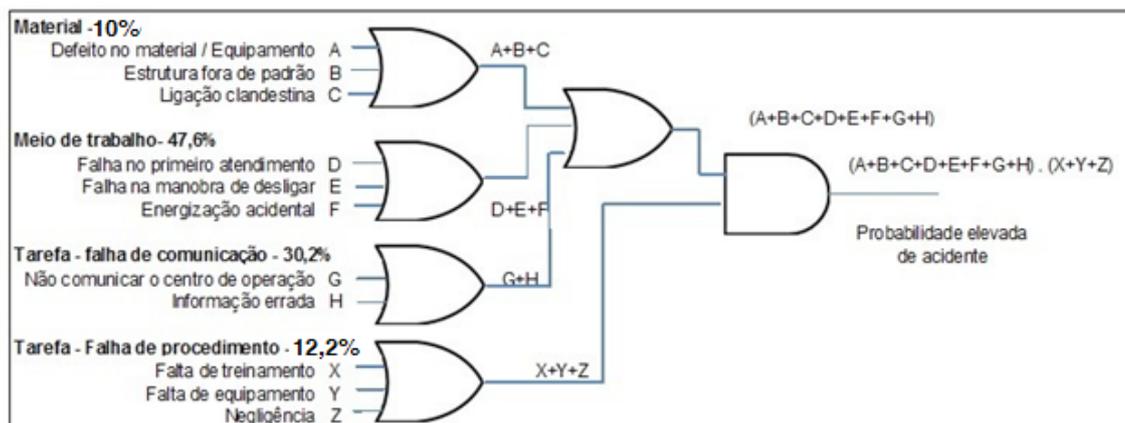


Figura 2 – Árvore de causas: risco choque elétrico

A componente tarefa, diretamente ligadas as ações da equipe, representa 52,4% das causas. A principal barreira para o acidente envolvendo este risco é a realização dos procedimentos de maneira correta por parte da equipe. Mesmo havendo falhas em qualquer um dos outros componentes, primeira variável, a lógica associada a este risco é uma operação *AND*, onde a segunda variável é a realização do procedimento correto por parte da equipe de manutenção, sendo este o principal bloqueio, no qual a equipe tem ação direta.

2.8.2 Árvore de causa – arco elétrico

Este risco representa 15,1% dos QA analisados. Com base nas informações contidas no QA que tiveram em comum este risco, foi elaborada a árvore de causas conforme apresenta a Figura 3. A lógica combinacional deste risco é semelhante à do choque elétrico. Mesmo havendo falhas em qualquer um dos outros componentes, primeira variável, a lógica associada a este risco é uma operação *AND*, onde a segunda variável é a realização do procedimento correto por parte da equipe de manutenção.

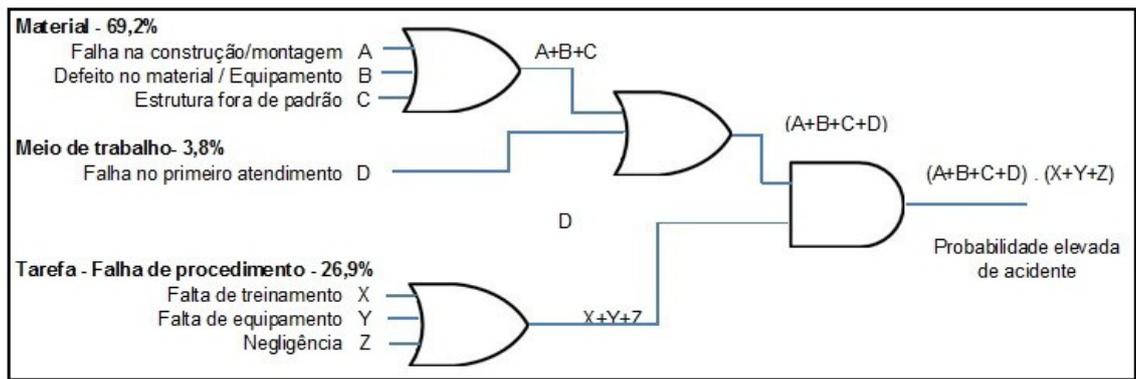


Figura 3 – Árvore de causas: risco arco elétrico

Para este risco, 69,2% das causas esta associada ao material. Nos quase-acidentes analisados houve um problema em um determinado tipo de chave de operação que apresentou problema logo em sua instalação. Este problema foi resolvido através de uma ação desencadeada após a ocorrência e registro destes quase-acidentes.

2.8.3 Árvore de causa – animais e insetos

Este risco representa 13,4% dos QA analisados. Com base nas informações contidas no QA que tiveram em comum este risco, foram elaboradas duas árvores de causas conforme apresentam as Figuras 4 e 5. Do total de QA analisados envolvendo este risco, 50% ocorreram envolvendo cobras e 50% abelha ou vespa.

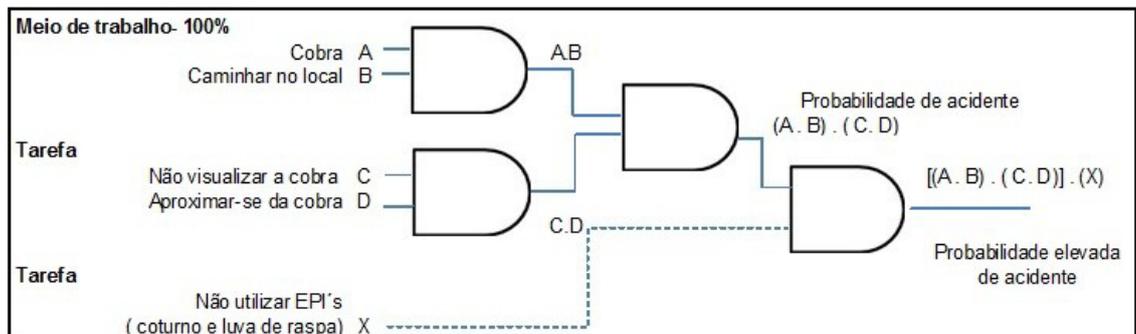


Figura 4 – Árvore de causas: cobra

Em 100% dos QA envolvendo cobra tiveram como causa o meio de trabalho. A lógica combinacional para elevada probabilidade da ocorrência do acidente apresenta funções do tipo AND. O principal bloqueio é visualizar a cobra, componente tarefa. A não utilização de coturno e luvas de raspa aumentará a probabilidade do acidente.

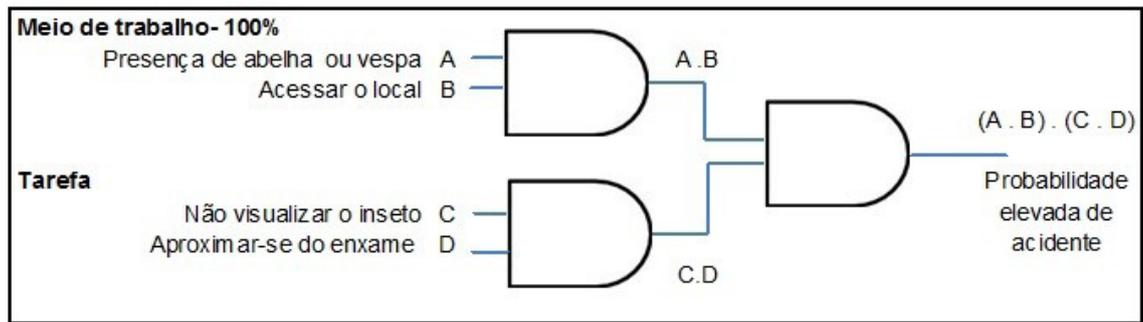


Figura 5 – Árvore de causas: abelha ou vespa

Os quase-acidentes envolvendo abelhas ou vespa são semelhantes à árvore anterior. O principal bloqueio também está relacionado à tarefa que consiste em visualizar o inseto.

2.9 Proposições de ações

Esta análise possibilita mensurar as atividades e riscos críticos, sendo uma base para o direcionamento de ações. Os quase-acidentes são um tipo de ocorrência bem mais comum que os acidentes sendo indicativo da probabilidade de ocorrência de acidentes e representa uma possibilidade de antecipação à ocorrência de eventos de maior gravidade. Através da observação, relato, análise e identificação de suas causas, passando para um estágio de tomada de ações preventivas e corretivas e controle das mesmas. Agrupando os quase-acidentes por falha de componente, pode-se observar que 46% se referem ao meio ambiente de trabalho, 28% à tarefa e 26% ao material. O acidente tem sua probabilidade elevada quando ocorre a falha na tarefa juntamente com outra falha que pode estar associada aos outros componentes (meio de trabalho, material ou indivíduo). O meio de trabalho apresenta as principais causas e o principal bloqueio para fatores relacionados ao meio de trabalho está na etapa de realização da APR. Seguem as proposições de melhorias:

- Incentivar o relato e registro dos quase-acidentes, pois estes são fontes de informação e ajudam na disseminação das informações sobre os riscos existentes nas atividades de MANRD;
- Realizar treinamento sobre a realização da APR, focando atividades práticas;
- Realizar treinamentos para equipes que prestam o primeiro atendimento, para melhorar esta atividade de maneira a evitar que fiquem “armadilhas” para equipes de manutenção;
- Fiscalizar o preenchimento da APR;
- Como a execução da atividade (tarefa) é o último estágio nesta cadeia de eventos, nesta etapa o erro pode ter consequências graves. As falhas na ta-

refa (falha de procedimento) estão relacionadas a três fatores: treinamento, falta de equipamento e negligência. Seguem as proposições de melhorias:

- Realizar reciclagem dos treinamentos sobre os padrões de trabalho;
- Intensificar a fiscalização em campo da realização da atividade conforme padrões de trabalho;
- Aplicar teste prático para equipes contratadas, referente à execução das atividades, conforme padrão de trabalho no início do contrato.

As falhas do componente material, relacionadas a defeito do material, são as mais difíceis de serem bloqueadas. Para os materiais novos, este problema já é tratado pela empresa, pois quando um determinado lote de material apresenta problema, é realizado um procedimento interno e o material deste lote é recolhido e substituído pelo fornecedor. Para os materiais já aplicados nas redes e para as estruturas fora de padrão, o bloqueio está na realização da APR e na execução das atividades conforme padrão de trabalho. Através das elaborações das árvores de causas foi possível identificar as barreiras existentes, que evitam a ocorrência do acidente, conforme apresenta o Quadro 1. Em alguns casos, as barreiras se combinam em série sendo necessária à quebra de duas barreiras para propiciar a ocorrência do acidente, porém a barreira que diz respeito à APR e ao procedimento de trabalho em grande parte dos casos analisados são barreiras que dependem somente da equipe, e estão associadas em paralelo com outras barreiras, sendo que se a equipe falhar e neste evento já tiver ocorrido uma falha em outras barreiras, a condição para a ocorrência de um acidente será ideal.

Nível	Barreiras	Componente	Ação Envolvida
6	Treinamento	Tarefa	Ação da empresa.
5	Primeiro atendimento	Material	Depende terceiros.
4	Aptidão física	Individuo	Avaliação individual do funcionário, bem como avaliação do encarregado e companheiro de equipe.
3	Comunicação (VHF e documentos)	Meio de trabalho e tarefa	Ação simples, extremamente importante evita certamente a ocorrência de acidentes.
2	Realização da APR	Meio de trabalho e tarefa	Se algumas das etapas anteriores falharem, ela pode evitar o acidente, porém a execução da APR não é simples, em função das características das atividades de MRDA.
1	Executar as atividades conforme Padrão de trabalho	Tarefa	Se algumas das etapas anteriores falharem, ela será a última barreira que irá garantir a segurança da equipe.

Quadro 1 – Barreiras identificadas nas árvores de causas

3 | CONCLUSÕES

O acidente pode ser descrito como um encadeamento de fatos, com uma relação que os une (Binder, Almeida, Monteau, 2003). Desta maneira o evento surge como um produto de fatos que se combinam de maneira lógica para a ocorrência do evento. Identificando de que maneira esta lógica se combina é possível determinar níveis de barreiras para bloquear o acidente e um dos focos deste trabalho foi identificar esta lógica para os principais riscos envolvendo as atividades de MANRD.

A análise dos quase-acidentes foi baseada somente nas informações presentes nos registros do quase-acidentes. Alguns registros apresentavam poucos detalhes nas informações, que dificultou a análise. Outro fator de grande dificuldade se refere ao banco de dados da empresa estudada, o qual não permite a exportação de arquivo. Para compilação dos dados, foi necessário imprimir todos os registros e cadastrá-los novamente em uma planilha eletrônica, gerando um trabalho considerado. A proposta de avaliar os quase-acidentes como medida proativa na gestão de segurança na execução de atividades de MANRD, foi atingida com a proposições de ações apresentadas neste trabalho, as quais foram baseadas nos possíveis bloqueios em funções dos fatores e causas identificados nos registros dos quase-acidentes analisados. Os objetivos específicos foram atendidos, através do levantamento dos quase-acidentes registrados, que foram agrupados em função dos riscos em comum. Foram identificados quais são os riscos existentes nas atividades de MANRD que mais causaram quase-acidentes, quais são as atividades e as ações de bloqueios, através das informações estatísticas apresentadas, contendo as principais atividades, equipes, riscos, fatores, causas e recomendações de bloqueios. Este trabalho procurou contribuir com os gestores das equipes de manutenção, apresentando as principais estatísticas dos quase-acidentes ocorridos na execução da atividade de MANRD, sendo uma base para implantação de medidas corretivas e preventivas visando à segurança do trabalho. Os principais resultados alcançados com o presente trabalho:

- Aplicação de conhecimentos técnicos;
- Conhecimento e aplicação de conceitos de análises de acidentes para identificar os principais fatores e causas dos quase-acidentes;
- Conhecimento sobre a organização das atividades de MANRD, envolvendo os aspectos de gestão e segurança do trabalho.

Uma leitura que se pode fazer é que se deve incentivar o registro dos quase-acidentes e as tratativas devem se limitar a ações corretivas e medidas preventivas, não sendo aconselhada a ação de punição, visto que a divulgação e registro é uma ação voluntária. O caráter punitivo pode ensejar ao não relato do fato. Mais de 65% dos quase-acidentes foram passivos e em 81% pode-se considerar a hipótese da identificação do risco de maneira antecipada. Esses argumentos reforçam a importância da APR, e a necessidade de melhorar a metodologia de sua aplicação. Mais de 27% dos

quase-acidentes tiveram como causa falha na execução do procedimento de trabalho, o que enseja uma oportunidade de melhoria no quesito treinamento e fiscalização. Mais de 70% dos quase-acidentes foram com equipes de linha morta, esse é um indicativo que estas equipes devem melhorar a execução da APR e o planejamento de suas atividades. O penúltimo bloqueio, que evita a ocorrência do acidente, está relacionado com a execução da APR. Esta ação é atribuição única e exclusiva da equipe que esta executando atividade. Isso demonstra a importância da execução desta etapa, APR. O último bloqueio, que evita a ocorrência do acidente, também está sob a responsabilidade somente da equipe, que é a realização das tarefas conforme procedimentos padronizados pela empresa. Para isso se faz necessário o prévio conhecimento destes padrões (treinamento) e a disponibilidade destas informações no momento da execução da atividade. A empresa já possui sistemáticas de treinamentos e fiscalização da execução dos procedimentos de trabalho, porém, também existe um fator relacionado à conscientização das equipes, sobre a importância da utilização destas ferramentas, APR e padrões de trabalho, as quais são as últimas barreiras para evitar a ocorrência de acidentes de trabalho. Este é um aspecto que deve ser mais bem explorado pela empresa objeto de estudo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL], (2012). **PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**. Brasília, 2012. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo1_Revisao_6.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2015.

BINDER, Maria Cecília Pereira; ALMEIDA, Ildeberto Muniz; MONTEAU Michel. *Árvore de causas: método de investigação de acidentes de trabalho*. 4º Edição. São Paulo: Editora Limiar, 2003.

BRITO, Paulo Sérgio dos Santos, **Análise Comparativa de Acidentes do Trabalho Fatais entre Funcionários Próprios e Terceirizados no Setor Elétrico Brasileiro**, dissertação de mestrado, Curitiba – PR.

BRASIL. Portaria MTE n.º 598 de 07 de dezembro de 2004. **Diário Oficial**, Brasília, 2004. Disponível em: < <http://portal.mte.gov.br/legislacao/portaria-n-598-de-07-12-2004-1.htm> >. Acesso em: 15 jul. 2014.

CAMBRAIA, Fabrício Borges, SAURIN Tarcísio Abreu, FORMOSO Carlos Torres. Diretrizes para identificação, análise e disseminação de informações sobre quase-acidentes em canteiros de obras. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v.8, n.3, p.51-62, jul./out.2008. Disponível em < http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/31664?locale=pt_BR> Acesso em 05 mai.2015.

ETGES, Bernardo Martim Beck da Silva. *Análise de quase-acidentes como medida proativa na gestão de segurança da construção civil: estudo em empresas de porto alegre/RS: Trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009*. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/79816>> Acesso em 05 mai.2015.

LOURENÇO, Antônio Carlos de *et al. Circuitos Digitais*. 9. ed. São Paulo: Érica. 2013.

MICHAELIS. *Moderno Dicionário da Língua Portuguesa, 2014 Disponível em* < <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/>> Acesso em: 20 mar. 2015.

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

Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Departamento de Arquitetura
Natal-RN

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Departamento de Ciências Sociais Aplicadas e
Humanas
Pau dos Ferros - RN

Marcelo Bezerra de Melo Tinoco

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Departamento de Arquitetura
Natal-RN

Aldomar Pedrini

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Departamento de Arquitetura
Natal-RN

Edison Alves Portela Junior

Eletrobras, Eficiência Energética
Rio de Janeiro - RJ

João Queiroz Krause

Eletrobras, Eficiência Energética
Rio de Janeiro - RJ

Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira

Eletrobras, Eficiência Energética
Rio de Janeiro - RJ

Fernando Pinto Dias Perrone

Eletrobras, Eficiência Energética
Rio de Janeiro - RJ

implementação da eficiência energética, por meio da etiquetagem de edificações no Brasil e auxiliar o atendimento a Instrução Normativa IN MPOG/SLTI No 2, de 4 de Junho 2014, que torna obrigatória a etiquetagem de edificações públicas. O portal foi desenvolvido pela Rede de Eficiência Energética em Edificações (R3E), formada por 12 dos principais laboratórios da área. O conteúdo do portal visa diferentes perfis de usuários e destaca a importância das decisões arquitetônicas como um dos principais recursos de efficientização do edifício, ainda nas primeiras fases do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Portal R3E, etiquetagem de edificações, difusão, eficiência energética.

ABSTRACT: This paper presents the Portal R3e as a tool for the implementation of energy efficiency, by Brazilian building labelling and assist the compliance with the Instrução Normativa IN MPOG/SLTI No 2, June 4, 2014, that obligate the public building labelling. The website was developed by Energy Efficiency Network in Buildings (R3E), formed by 12 of the main laboratories in this field. The content of the portal aims at different user's profiles and and highlights the importance of architectural decisions as one of the main building efficiency features in the early phases of the project.

KEYWORDS: Portal R3E, building labelling, diffusion, energy efficiency.

RESUMO: Esse artigo apresenta o Portal R3E como uma ferramenta voltada para a

1 | INTRODUÇÃO

O Governo do Brasil criou em 17 de outubro de 2001 a Lei n 10.295, que “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências», tendo em vista o desperdício de energia elétrica e a dificuldade de expansão da matriz energética brasileira. A edificação passou a receber atenção porque 42% do consumo de energia elétrica brasileira ocorre nos edifícios (Lamberts et al, 2014), sendo que é possível reduzir o consumo principalmente quando práticas de racionalização são incorporadas desde as primeiras etapas do processo projetual. Enquanto que a troca de equipamentos pode gerar uma economia de aproximadamente 39% no consumo de energia, decisões arquitetônicas apropriadas ao clima pode gerar até 60% de economia (Lima, 2007).

Com o entendimento da importância dos edifícios e da legislação, foi possível criar todo o aparato técnico e legal necessário para que o Brasil entrasse no seleto grupo de países que possuem uma certificação para suas edificações. Como resultado, o Procel Edifica, em parceria com o INMETRO e pesquisadores especializados, desenvolveu a regulamentação brasileira e em 2009 foi lançado o Regulamento Técnico da Qualidade da Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas e, em 2010 os Requisitos Técnicos da Qualidade da Eficiência Energética em Edificações Residenciais. O foco, a princípio, era incentivar a eficiência energética dos grandes consumidores, caracterizados pelas edificações de maior porte, no caso comercial, com mais de 500 m², e abastecidas por uma tensão mínima de 2,3 KV. Hoje, o regulamento abarca os consumidores em geral, inclusive a tipologia residencial: residências ou condomínios. Considera-se que a falta de informação implica no prejuízo por parte da população que deixa de adquirir um imóvel com a qualidade da redução do consumo de energia agregada ao mesmo. Seguido a esse estágio inicial de difusão, espera-se que os consumidores passem a exigir a comprovação do nível de eficiência durante a escolha do imóvel. Por fim, o suporte do ponto de vista do retorno de energia economizada, também embasaria o processo de obrigatoriedade.

O procedimento usual para se obter a etiqueta começa com o diagnóstico do projeto ou do edifício construído por um consultor, e em seguida com a solicitação de verificação por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) para a emissão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE - (INMETRO, 2009), integrante do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE - denominada no caso de edifícios, Etiqueta PBE Edifica.

Na época do seu lançamento, a regulamentação previa a obrigatoriedade de sua implementação até o ano de 2014 (INMETRO, 2009). Em 5 de junho de 2014 foi publicada em Diário Oficial a Instrução Normativa MPOG/SLTI N ° 2, de 4 de junho de 2014, tornando obrigatória a etiquetagem de edificações públicas federais (BRASIL, 2014). Dentre as principais dificuldades a serem vencidas está a formação da infraestrutura necessária para todo o ciclo do processo de etiquetagem, na qual se destaca

a formação de OIAs e a capacitação de profissionais aptos a atuar na área.

Desde o ano de 2009, a Eletrobrás tem investido na discussão e difusão do Programa Brasileiro de Etiquetagem para edificações por meio do financiamento de projetos de pesquisa junto a laboratórios especializados em conforto ambiental e eficiência energética do país, a exemplo do projeto “Capacitação do LABCON-UFRN para etiquetagem de edificações” (PEDRINI, 2009). Esse teve o intuito de treinar pessoal, incentivar a promoção de cursos para projetistas e equipar os laboratórios envolvidos. A partir de abril de 2010, deu-se início a implantação da “Rede de Eficiência Energética em Edificações (R3E)”, composta por 12 laboratórios de referência em pesquisa em eficiência energética em todo o Brasil. Constituída com recursos da Eletrobras no âmbito do Convênio ECV-314/2010, celebrado com a UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) e com a assistência administrativa da Fundação Norte Rio-Grandense de Pesquisa e Cultura – FUNPEC, tem como objetivo reunir, aprimorar, difundir, disseminar, apoiar, promover e criar a infraestrutura necessária para certificação do PBE Edifica. Nesse sentido, um dos seus produtos é a ferramenta digital “Portal R3E” que divulga e auxilia a elaboração de projetos eficientes.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar esta ferramenta, o Portal R3E, e sua contribuição para a implementação da eficiência energética no Brasil, por meio da etiquetagem de edificações e auxiliar o atendimento a Instrução Normativa IN MPOG/SLTI No 2, de 4 de Junho 2014, que torna obrigatória a etiquetagem de edificações públicas.

2 | ETIQUETA PBE-EDIFICA

O Regulamento Técnico para a Qualidade do Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e os Requisitos Técnicos da Qualidade da Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) apresentam dois métodos para determinação da classe de eficiência energética de edificações. O método prescritivo é o mais simplificado e se baseia em equações que reproduzem as características da edificação que interferem em seu consumo de energia. O método de simulação, mais complexo, requer a modelagem da edificação em um programa computacional que simula o consumo energético da edificação, além de atender às especificações constantes no regulamento. Como resultado, ambos os métodos apresentam o nível de eficiência energética, que pode variar de “A”, para o melhor desempenho até “E” para o pior (INMETRO, 2009).

Para analisar um edifício de acordo com o RTQ-C é necessário observar 3 sistemas: a envoltória (elementos arquitetônicos, ex.: paredes e coberturas), o sistema de iluminação artificial e o sistema de condicionamento de ar. Para cada um deles, são estabelecidos critérios de avaliação (INMETRO, 2009). O RTQ-R apresenta um

formato similar, mas no lugar da avaliação do sistema de iluminação artificial para a unidade habitacional unifamiliar, observa-se o aquecimento de água (INMETRO, 2010).

A etiquetagem é um investimento que beneficia quem planeja, quem constrói, quem usa ou adquire o edifício, bem como toda a sociedade e todo o país. Os benefícios para quem projeta: ampliação do mercado de atuação profissional, com destaque e diferenciação para profissionais projetistas e consultores qualificados em propor estratégias projetuais para o aumento do nível de eficiência energética das edificações, com a obrigatoriedade para etiquetagem de edifícios públicos, já a partir do ano de 2014, e no futuro, para todos os demais tipos de edifícios.

Os benefícios para quem constrói são: aumento do valor do produto; aumento da competitividade no mercado, projetos, que têm a etiqueta INMETRO ou selo Procel são garantia ao consumidor da qualidade desses produtos no que diz respeito a eficiência energética. Edifícios com a Etiqueta PBE – Edifica com classes “A” ou “B” são promovidos como sinônimo de qualidade e eficiência energética. Já os edifícios ineficientes receberão a etiqueta com classe inferior, sendo considerados de baixa eficiência energética e, portanto, de uso desestimulado e não recomendável.

Os benefícios para quem usa ou adquire um edifício etiquetado são: a melhoria do conforto ambiental na edificação e da qualidade de vida de seus usuários; a redução de gastos com energia durante a vida útil da edificação (até 30% para reformas e 50% para edificações novas) e redução da necessidade de sistemas de condicionamento de ar.

Os benefícios para a sociedade são: a redução do impacto ambiental da edificação, o incentivo às práticas de sustentabilidade ambiental e a redução da necessidade de investimentos do setor público em geração e transmissão de energia.

Os custos para obtenção de um projeto ou edificação com alto desempenho, assim como o custo da obtenção da etiqueta, variam de acordo com várias características. Por isso, recomenda-se a participação de um projetista/consultor no processo.

3 | MÉTODO

Para desenvolvimento do Portal R3E foi necessário, inicialmente, realizar uma revisão bibliográfica sobre a etiquetagem de edifícios, a fim de compreender essa demanda junto aos diversos setores da sociedade e, principalmente, mitigar as barreiras a sua implementação. A revisão bibliográfica também abarcou aspectos da arquitetura relacionados a adoção de estratégias projetuais para edifícios eficientes, bem como a organização dessas informações em linguagem gráfica adequada para consulta em páginas eletrônicas. Além disso, realizou-se um mapeamento para identificar os atores que fazem parte do processo de etiquetagem e, portanto, o público alvo. As informações foram organizadas e sistematizadas de acordo com o nível de

participação no processo de obtenção da etiquetagem.

Para o desenvolvimento de ícones, legendas gráficas e estruturação do layout do portal foram utilizados os softwares CorelDraw e Photoshop. O desenvolvimento gráfico foi realizado através da linguagem *Java Server Faces* e banco de dados MySQL

4 | PORTAL R3E

O Portal R3e visa difundir a eficiência energética e a construção de baixo impacto ambiental, por meio da divulgação da Etiqueta PBE-Edifica. Para tanto, as informações existentes no Portal R3e encontram-se agrupadas segundo diferentes perfis de usuários dispostos a contratar e/ou fornecer serviços ou buscar esclarecimentos.

Adotou-se os seguintes perfis de usuários: pesquisadores da R3e, que estão trabalhando no aprimoramento dos regulamentos; projetistas, de edifícios e de sistemas (iluminação, ar condicionado e aquecimento de água) que atendam aos critérios do regulamento; consultores, que atuam dando suporte ao arquiteto ou realizando o diagnóstico dos edifícios; fabricantes que produzem equipamentos ou materiais que atendam aos critérios exigidos pela Etiqueta PBE-Edifica; proprietários que adquirirem a edificação ou equipamentos; e empresas que prestam serviços relacionados a etiquetagem (ver Figura 1).

Na página inicial, criou-se um menu para direcionar o público para o conteúdo pertinente, de ordem geral e conceitual, e um menu rápido, para conteúdos específicos: o catálogo de materiais e equipamentos, informações gerais sobre a etiquetagem; informativos e novidades da Rede, estudos de caso sobre edifícios etiquetados, materiais de referência disponíveis para *download* e o “fale conosco” (ver Figura 1).

Na página inicial foram disponibilizados vídeos sobre o Selo Procel e sobre a etiquetagem e um vídeo tutorial que auxilia a navegação pelo Portal. Contém ainda banners informativos para notícias e relação de profissionais capacitados para atuar com etiquetagem. Essas últimas informações têm o objetivo de tornar o Portal mais acessível a setores do mercado privado e corporativo, bem como despertar o interesse da comunidade em geral de forma a torna-lo, no futuro, autossustentável (ver Figura 1).

As informações *padrão*, compreendidas como importantes para todos os perfis de usuários foram repetidas nos seis menus, são elas: eventos, as dúvidas, o fale conosco e publicações para *download*.



FIGURA 1: Página inicial do Portal R3e

4.1 Menu R3e

O Menu R3e agrega informações, organizadas em sessões, de interesse dos pesquisadores que auxiliam no aprimoramento e difusão do regulamento. Assim, apresenta sessão sobre o que é a R3e e quem são os laboratórios parceiros, bem como informações padrão a respeito da etiquetagem para ser utilizada em todo o país, sessão com as publicações disponíveis para *download* (guias técnicos livros, normas, regulamentos, manuais e casos de sucesso), além de sessão com informações sobre os materiais e sistemas construtivos. Essa última traz um *link* de acesso ao Catálogo de Sistemas Construtivos e Produtos Eficientes R3e, mais adiante tratado. O acesso ao catálogo está disponível em todos os menus, exceto no Menu Proprietário.

4.2 Menu Projetista

No Menu Projetista é possível visualizar os profissionais de arquitetura já qualificados para a etiquetagem de edifícios (ver Figura 2) bem como materiais didáticos voltados para esse público. Dentre os materiais didáticos, destaca-se a sessão dos cadernos práticos, dos casos de sucesso e a bússola com orientação de estratégias projetuais e diretrizes bioclimáticas (ver Figura 3).

CatálogoR3e info • anuncianes • login Q buscar

PORTAL R3e

R3e Projeta Consultor Fabricante Proprietário Empresas

▶ Etiquetagem em edificações
 ▶ Cadernos Práticos
 ▶ Estratégias bioclimáticas
 ▶ Materiais e Sistemas construtivos
 ▶ Quem faz esse trabalho?
 ▶ Publicações (Downloads)
 ▶ Simuladores
 ▶ Glossário
 ▶ Eventos
 ▶ Dúvidas Frequentes
 ▶ Fale Conosco

Quem faz esse trabalho?

O Portal R3e disponibiliza a relação dos projetistas capacitados para desenvolver projetos energeticamente eficientes. Veja a relação a seguir:

 R3e Clara Ovelho	 R3e Alice Burmann	 R3e Marcela Germano	 R3e Ana Carolina Veloso
 R3e Cláudio Vasconcelos	 R3e Paula Rocha Leite	 R3e Guilherme Caviera Branco	 R3e Fabiana Santos Soares
			

Foto do(a) Projetista

R3e

Nome do Projetista

R3e: Membro R3e

MEMBRADO ANTAC

Faz parte de Organismo de Inspeção Acreditado

Consultor

Espaço para empresa da qual o projetista participa

Passul Projeto Etiquetado (A)

Passul Projeto Etiquetado (B)

Filtros:

- Consultoria
- OIA
- Membro R3e
- Membro ANTAC
- Projetos com etiqueta A
- Projetos com etiqueta B

FIGURA 2: Menu Projetista - quem faz esse trabalho

Os Cadernos Práticos Temáticos (disponíveis para download) contêm recomendações de boas práticas projetuais para a produção de edifícios eficientes quanto ao uso de energia. Abordam os principais aspectos que devem ser levados em consideração durante as fases de concepção do projeto arquitetônico, contendo informações com linguagem simples e acessível, através de ilustrações e textos didáticos. Os cadernos podem ser uma ferramenta de comunicação entre os consultores e os projetistas. Os casos de sucesso permitem difundir boas práticas de eficiência energética de edificações, por meio de exemplos de obras e projetos que aplicaram a etiqueta. A divulgação dos casos de sucesso também permite conhecer as equipes de profissionais envolvidos com o projeto e construção do edifício. A bússola foi desenvolvida para utilização no próprio terreno onde será projetada a edificação. Com essa ferramenta, o arquiteto consegue visualizar quais estratégias projetuais devem ser utilizadas para cada uma das orientações, de maneira a direcionar as soluções de acordo com as diretrizes bioclimáticas.

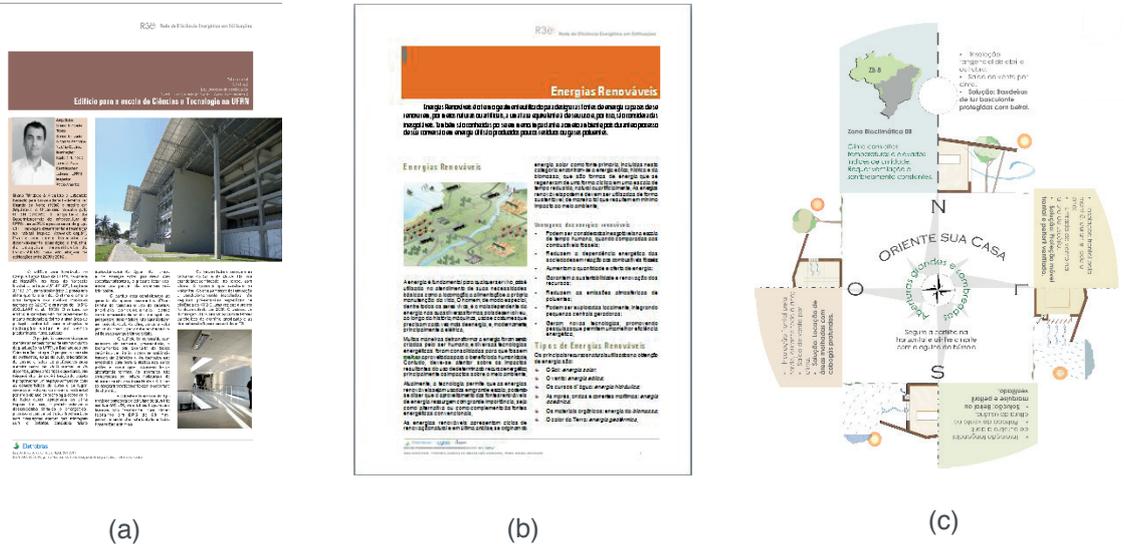


FIGURA 3 - Material didático: (a) Casos de sucesso; (b) Cadernos práticos e (c) bússola.

4.3 Menu Consultor

O Menu Consultor, apesar de similar ao Menu Projetista, tem como princípio a abordagem de assuntos como investimentos, procedimentos para etiquetagem e simulação de edifícios. Além dos regulamentos e do manual de aplicação da etiqueta, disponibiliza informações relativas aos programas de simulação que podem ser utilizados durante o processo de etiquetagem, bem como alguns tutoriais.

Também é possível localizar nessa sessão quem são os consultores que atuam na área e suas diversas especificações. É possível selecioná-los de acordo com os serviços que prestam, com a presença de projetos classificados em A ou B, ou se fazem parte da R3e ou de Organismos Acreditados, dentre outras características e perfil.

4.4 Menu Fabricante

O Menu Fabricante é direcionado para a indústria, e visa orientar o fabricante sobre quais requisitos deve atender e quais informações são necessárias especificar em seu produto para que o projetista possa escolhê-lo. Essa sessão tem conteúdo específico para fabricantes de iluminação, de ar condicionado e de materiais de construção. Futuramente, prevê-se a inserção de material específico para fabricantes de aquecimento de água.

4.5 Menu Proprietário

O Menu Proprietário apresenta informações àqueles que desejam etiquetar suas edificações. Além de disponibilizar as publicações para download e as informações gerais sobre etiquetagem e sobre a R3e, direciona o proprietário ao profissional (projetista ou consultor) ou à empresa que precise contratar para dar continuidade ao processo de etiquetagem da sua edificação (ver Figura 4).



FIGURA 4 – Menu Proprietário - direcionamento a quem faz esse trabalho

4.6 Menu Empresas

No Menu Empresas encontra-se disponível uma relação de empresas com suas especificações, que vão de Organismos de Inspeção Acreditados (OIA's), responsáveis pela emissão das etiquetas, empresas capacitadas para prestar consultorias e empresas de energia (ver Figura 5). A criação desse menu está diretamente relacionada a manutenção do Portal R3e após a conclusão do projeto de pesquisa. Estima-se que essa seja uma das possibilidades de captação de recursos para custear as despesas de hospedagem do *site* e pagamento de honorários de bolsistas.

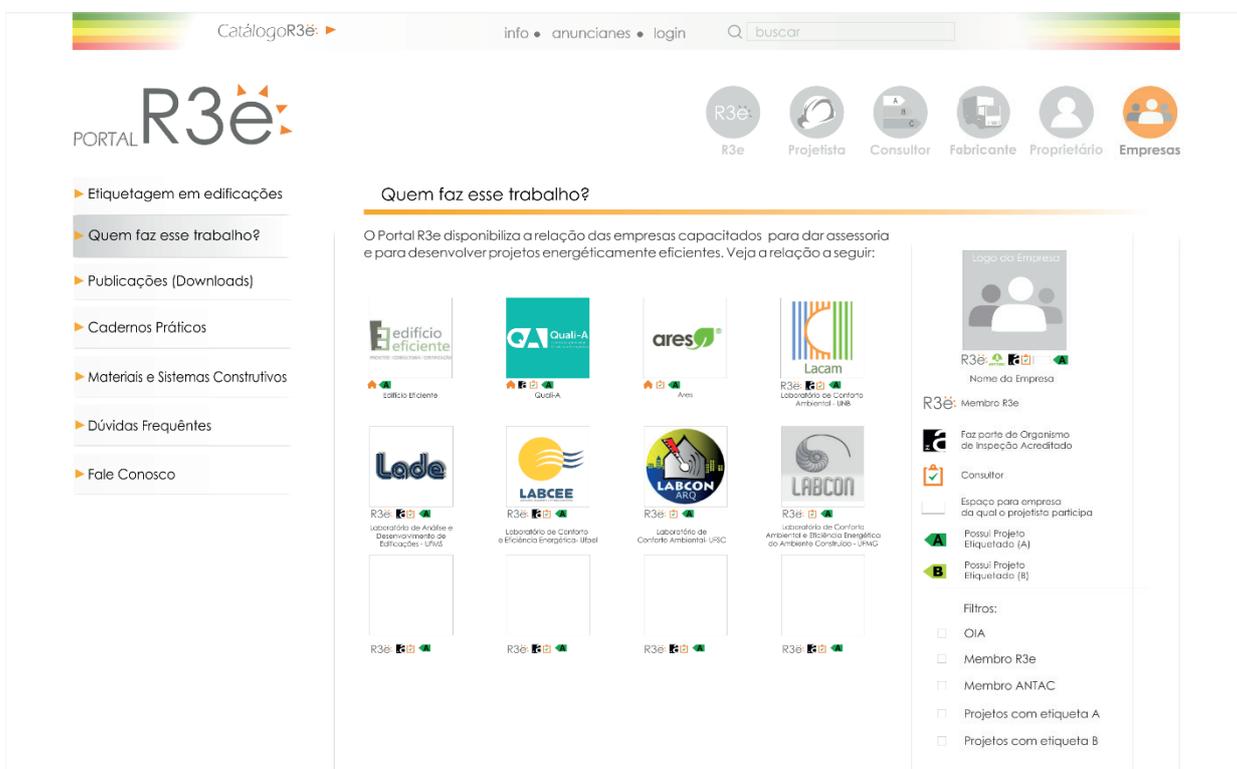


FIGURA 5 - Menu Empresas - Quem faz esse trabalho

4.7 Catálogo R3e

O Portal também disponibiliza o Catálogo R3e de Sistemas Construtivos e

Produtos Eficientes, onde estão sistematizadas as informações relevantes para a etiquetagem de edificações, de maneira a auxiliar os projetistas na escolha dos equipamentos e sistemas construtivos das edificações que visam a Etiqueta PBE-Edifica. O catálogo é constituído por três sessões: sistemas construtivos (paredes e coberturas), componentes construtivos (isolantes térmicos, blocos cerâmicos, telhas, etc) e equipamentos (aquecedores de água, condicionadores de ar e iluminação artificial).

Essas informações estão dispostas de forma que o usuário possa utilizar filtros para localizar itens com características específicas. A apresentação do material selecionado se dá com o detalhamento das características térmicas e físicas do sistema ou componente, bem como a possível etiqueta que esse sistema pode atingir ao ser utilizado em um edifício que pretende requisitar a Etiqueta PBE – Edifica. No caso dos equipamentos, além da etiqueta do equipamento, é divulgado a sua capacidade e potência (ver Figura 6). Para cadastrar seu produto, a empresa deve apresentar um laudo técnico de um laboratório reconhecido. Após a análise da consistência dos dados, o cadastro poderá ser aceito.

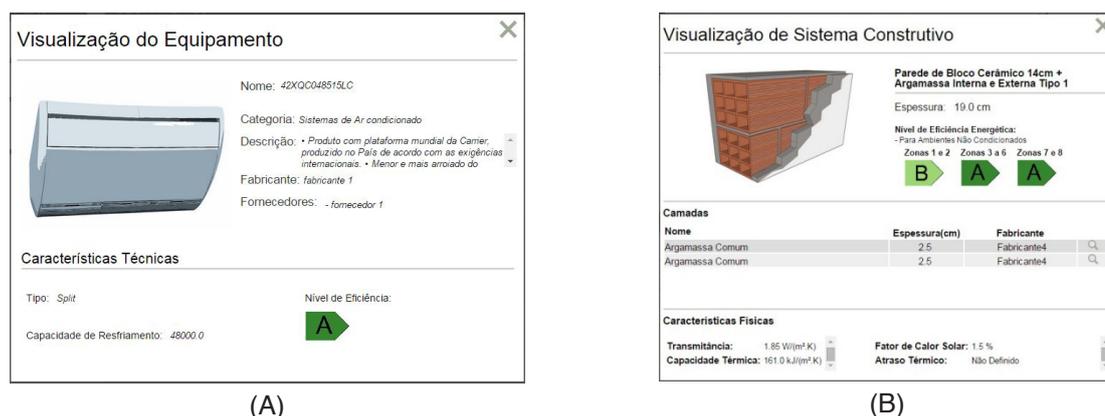


FIGURA 6 - Catálogo R3e - visualização de equipamento (A) e sistema construtivo (B)

5 | CONCLUSÃO

O Portal vem sendo testado no âmbito dos participantes da R3E, por pesquisadores, bolsistas, e alunos de cursos vinculados aos laboratórios parceiros de instituições de ensino superior. O desenvolvimento da ferramenta ressalta a importância de disponibilizar conteúdos de acordo com os diferentes perfis de usuários que compõem o público a que se destina. Dentre os desafios encontrados, destaca-se o de tornar os conteúdos acessíveis pois a linguagem técnica relativa à eficiência energética de edificações, e, sobretudo, ao processo de etiquetagem, ainda é pouco difundida entre os projetistas, e praticamente ignorada pela sociedade que ainda está se familiarizando com o tema.

A contribuição dos registros de produtos e profissionais no Portal será devidamente avaliada quando aumentar a procura por parte da sociedade, impulsionada por

campanhas de divulgação.

Mediante o uso sistemático desta ferramenta por profissionais, acadêmicos, estudantes e demais usuários são esperados projetos e construções com conceitos de eficiência energética alinhados com a nova realidade, contribuindo de forma significativa na economia de energia elétrica dentro do segmento que mais consome energia no cenário atual, o de edificações. Outro output esperado é a contribuição para atingir a meta estipulada no Plano Nacional de Energia 2030 quanto à eficiência energética na matriz energética brasileira.

Finalmente, a manutenção de uma ferramenta com essas características impõe uma permanente necessidade de aprimoramento e revisão de seus conteúdos. Sobretudo diante dos desafios colocados para a sua manutenção, após o encerramento do projeto financiado pela Eletrobrás, para o que já se discute a constituição de uma Associação sem fins lucrativos. A R3e-A seria uma estrutura adequada a congregar os setores da sociedade envolvidos com o compromisso da eficiência energética e da construção de edifícios eficientes no Brasil, através da qual o Portal R3e possa ter continuidade.

REFERÊNCIAS

INMETRO. **Anexo Da Portaria INMETRO nº 163 /2009**: RTQ-C, Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro/RJ: 2009. 60 Disponível em: < www.inmetro.gov.br >.

_____. **Anexo Da Portaria Inmetro Nº 449/ 2010**: Regulamento Técnico Da Qualidade Para O Nível De Eficiência Energética Edificações Residenciais. Rio de Janeiro: 134 p. 2010.

BRASIL, R. F. Instrução Normativa Nº 2, de 4 de junho de 2014. **Diário Oficial da União**. INFORMAÇÃO, S. D. L. E. T. D. Brasília: Imprensa Nacional 2014.

LAMBERTS, R. et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª. ed. São Paulo: ProLivros, 2014.

LIMA, G. L. F. **Influência de variáveis arquitetônicas no desempenho energético de hotéis no clima quente e úmido da cidade de Natal/RN**. (2007). 162 f. (Mestre) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo UFRN, Natal/RN, 2007

PEDRINI, A. **Projeto de pesquisa “Capacitação do LABCON-UFRN para etiquetagem de edificações”**. In: CNPQ (Ed.). Natal: UFRN, 2009

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

Centro Universitário SENAC

Campos do Jordão, Estado de São Paulo.

Fernando Amaral de Almeida Prado Jr.

Sinerconsult Consultoria Treinamento e Participações Limitada

São Paulo, Estado de São Paulo.

Carolina Rodrigues de Almeida Prado

Faculdade de Economia e Administração de Ribeirão Preto- FEA USP

Ribeirão Preto, Estado de São Paulo.

RESUMO: O artigo apresenta os resultados de uma pesquisa realizada com consumidores residenciais da cidade de Campos do Jordão. O objetivo foi identificar a hierarquia adotada para pagamento de serviços públicos contratados, frente a escassez de recursos financeiros decorrentes da crise econômica vivenciada nos últimos anos. Para tanto, foram analisados os seguintes serviços públicos: energia elétrica, gás canalizado ou GLP, telefonia móvel e ou fixa, água e internet. Como resultado verificou-se uma aderência à teoria baseada na Hierarquia das Necessidades de Maslow, onde a água e a energia elétrica foram os dois principais serviços priorizados para pagamento.

PALAVRAS-CHAVE: Inadimplência, Prioridade de Pagamento, Serviços Públicos, Hierarquia das Necessidades, Consumidor Residencial.

ABSTRACT: The article presents the results of a survey conducted with residential consumers in the city of Campos do Jordão. The objective was to identify the hierarchy adopted for the payment of contracted public services, in view of the scarcity of financial resources resulting from the economic crisis experienced in recent years. For this purpose, the following public services were analyzed: electricity, network gas service or Liquefied Petroleum Gas, mobile and land phone, water and sewage and the Internet provide services. As a result, there is an adherence to the theory based on Maslow's Hierarchy of Needs, where water and sewage and electricity were the two main services prioritized for payment.

KEYWORDS: Default, Payment priority, Utilities, Hierarchy of Needs, and Residential Consumer.

1 | INTRODUÇÃO

O índice de inadimplência dos brasileiros sofreu aumentos significativos nos últimos anos. Este fato decorre principalmente da crise econômica que repercute na sociedade, de maneira geral, e da elevação dos indicadores de desemprego. Estudo desenvolvido pela SERASA estima que existam 60 milhões de inadimplentes nas mais diversas tipologias de contas no Brasil, perfazendo uma marca que

ultrapassa R\$ 250 bilhões (1). Grande parte da sociedade brasileira, de diferentes classes sociais, está convivendo com uma nova realidade: a gestão da inadimplência, o que inclui a hierarquização das contas prioritárias para pagamento, bem como, uma estratégia do eventual rodízio de pagamento das mesmas.

O setor de energia elétrica não está imune a esta situação, pelo contrário, o reajuste tarifário extraordinário ocorrido em fevereiro de 2015, elevou em mais de 50%, na média, as faturas de energia elétrica e ainda causa repercussões na gestão do dispêndio familiar.

O artigo apresenta o estudo de caso da evolução das tarifas residenciais de concessionárias de distribuição selecionadas para o período compreendido entre 2001-2016. Estas tarifas são comparadas com a evolução do PIB e da proporção da Cesta Básica/Salário Mínimo no mesmo período.

O dilema normalmente experimentado pelo consumidor residencial de energia elétrica, que está vivenciando escassez de recursos financeiros, envolve a hierarquia das necessidades de continuidade do suprimento de serviços públicos essenciais, onde se destacam: energia elétrica, gás canalizado ou GLP, telefonia móvel e ou fixa, água e internet. Serviços privados como condomínio, escolas particulares, planos de saúde, entre outros, embora também concorram pela escassez de recursos, não são objetos desse estudo comparativo.

É importante destacar que os regulamentos dos três principais serviços de primeira necessidade; água, energia elétrica e gás, possuem regras que estabelecem prazos para que o corte do fornecimento venha a ser implementado. Na energia elétrica o prazo para a interrupção dos serviços é de no mínimo 15 dias depois do reaviso, que no caso da energia elétrica estima-se um prazo de 30 dias para o corte, considerando-se os procedimentos para consolidação bancária, identificação pela concessionária da situação de inadimplência, os procedimentos de reaviso e o corte propriamente dito. Já os regulamentos para interrupção do serviço de abastecimento de água e gás natural estabelecem, no mínimo, 30 dias de carência entre a data da fatura vencida e não paga, e o corte (3). Considerando essas tolerâncias contratuais, é razoável presumir que os consumidores, que vivenciem escassez de recursos financeiros no vencimento das faturas, “administrem” sua incapacidade financeira pontual adotando um rodízio de pagamentos. Ainda mais, especialmente no caso da energia elétrica, se considerarmos também que os valores regulatórios cobrados como ressarcimento da operação de religação, após o pagamento da fatura, são muito baixos (Os valores são respectivamente para ligações monofásicas, bifásicas e trifásicas: R\$7,23; R\$ 9,96 e R\$ 29,90, nenhum deles com capacidade de ressarcir os custos efetivamente incorridos na operação). Este custo baixo faz com que algumas concessionárias posterguem o corte, principalmente quando identificam consumidores que apesar de atrasarem seus pagamentos, acabam regularizando a situação no curto prazo. Finalmente, quando se compara este quadro com os serviços contratados na modalidade de pré-pagamento, fica claro, que nesta última situação, o consumidor tem muito menos margem de

manobra para administrar suas eventuais dificuldades financeiras.

Como referencial teórico que sustentam esse artigo se destacam a Hierarquia das Necessidades de Maslow, onde são discutidas a prioridade das pessoas no atendimento de suas diferentes necessidades e a Economia do Comportamento, abordada especialmente por Dan Ariely (4), que estudam os critérios envolvidos na tomada de decisões com o viés comportamental. Além dos referenciais teóricos, este trabalho contou com a realização de uma pesquisa de campo. A metodologia adotada neste experimento incluiu uma pesquisa primária, com questionário estruturado, aplicada à consumidores residenciais da cidade de Campos do Jordão, com renda familiar de até três salários mínimos.

O estudo não tem como objetivo identificar qual é o serviço público prioritário na ótica de seus clientes, mas sim, qual é a prioridade de pagamento entre os serviços públicos necessários e desejados pelo consumidor. Entende-se que esses serviços, embora sejam de naturezas diferentes e entreguem benefícios e serviços não comparáveis, concorrem entre si no dispêndio da renda familiar de seus consumidores.

Finalizando, os resultados apresentados no artigo tem como objetivo identificar as influencias que a adoção de diferentes modalidades de pagamento (pré ou pós consumo), associadas à diferentes processos de interrupções no fornecimento dos serviços, influenciam ou não na decisão de escolha do cliente para uma futura inadimplência consciente nos serviços públicos essenciais utilizados.

2 | A HIERARQUIA DAS NECESSIDADES E AS ESCOLHAS DO CONSUMIDOR-REVISÃO DOS CONCEITOS

A Pirâmide de Maslow é um conceito clássico da administração que permite priorizar as necessidades humanas e suas conseqüentes aquisições de produtos e serviços. Segundo Maslow, as pessoas tendem a buscar o atendimento de suas necessidades fisiológicas básicas, seguidas pelas necessidades de segurança, necessidades sociais, de autoestima e por último, as necessidades de auto-realização.

Segundo Churchill (5), as necessidades fisiológicas básicas incluem, entre outros, comida, água, descanso, sexo e ar. As necessidades de segurança contemplam, tanto a segurança física (exemplificadas por fechaduras e seguros), como a financeira. As necessidades sociais contemplam amizade, amor, filiação, associação, como por exemplo, títulos de sócios em clubes, cartões de agradecimento. As necessidades de estima, normalmente relacionadas ao ego, incluem status, respeito, autoestima, que podem ser exemplificadas pelo uso de marcas de prestígios. As necessidades de auto-realização representa a auto-satisfação e podem ser representadas por férias, cursos universitários, organizações de caridade, títulos honoríficos, entre outros.

Percebe-se, ao utilizar esse referencial teórico, que os serviços públicos aqui analisados se situam mais próximos da base da pirâmide. Especialmente, os serviços

de água, energia elétrica, gás canalizado ou GLP. Os serviços de telefonia fixa e móvel ilustram necessidades sociais e também de segurança. A mesma classificação pode ser associada aos serviços de internet.

Diante dessa classificação, espera-se que o consumidor desses serviços priorize o seu pagamento e a continuidade de seu fornecimento. O que implica, em condições de restrições orçamentárias e possível rodízio de pagamento das contas familiares, que estes serviços possuam uma hierarquia de escolha para pagamento consistente com a própria Pirâmide de Maslow.



FIGURA 1- Pirâmide de Maslow (6)

Ariely e outros (4) identificaram que dificuldades financeiras que afetam as escolhas econômicas dos consumidores normalmente devem-se a três principais fatores: desemprego, aposentadoria e financiamento dos estudos dos filhos. Shea e outros (7) identificaram que eventuais contrações do orçamento e aumento da capacidade financeira não são simétricos, sendo que em situação de falta de recursos o efeito é mais proeminente no gasto do que em situação de abundância. Russo e Carlson (8) identificaram que a nova alocação do orçamento feita a partir de uma nova realidade econômica das famílias é feita com ênfase nos itens mais valiosos, sendo que o conceito de valor utilizado neste caso é relacionado com a utilidade esperada. Assim, é de se esperar que os cortes na aquisição de bens, serviços e produtos seja feito de forma concentrada não com a redução de consumo proporcional aquela experimentada da renda, mas preservando-se todos os itens.

Finalmente, Ariely e outros (6) identificaram que em muitos casos o consumidor toma suas decisões com base na utilidade que possa ser perdida em vez daquela que realmente ocorreria.

3 | INDICADORES DE ATIVIDADE ECONÔMICA E OS PREÇOS DA ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

Os brasileiros tem vivenciando uma crise econômica sem proporções na história do país. O baixo crescimento do PIB foi substituído por uma retração econômica,

associado ainda ao aumento da inflação (que apenas recentemente conseguiu ser controlada) e elevado índice de desemprego. Considerado por muitos economistas como a “tempestade perfeita”, o Brasil e os brasileiros estão tendo que fazer escolhas difíceis no intuito de equalizar suas contas. Nas próximas seções é possível verificar as retrações do PIB, conforme Figura 2, o ganho real no valor mensal do salário mínimo e a evolução da proporção cesta básica/ salário mínimo. Na seção 3.2 é apresentada a variação do preço da energia elétrica para o consumidor residencial, o que evidencia um período de elevação contínua dos preços no passado recente, conforme ilustra a Figura 3. Estes preços estão plotados em moeda constante, atualizados pelo IPCA, na data de aniversário do contrato de concessão de cada distribuidora, sem impostos.

3.1 Indicadores Econômicos

O PIB é um indicador que mensura a atividade econômica do país. Ele pode ser calculado tanto através da soma das riquezas produzidas em território nacional ou pela ótica da demanda, pelo consumo dessas riquezas, em ambas as formas o valor final obtido deve ser o mesmo. O valor do PIB per capita nada mais é que o valor obtido dividido pelo número de habitantes da região. A Figura 2 apresenta a evolução anual do PIB, comparado com o ano anterior. Como se pode observar, deste 2014 o país tem vivenciado uma retração significativa de sua economia.

Segundo o DIEESE (10), houve um ganho real para o trabalhador de 77,18%, no período de 2002 a 2016. O ganho real é o valor auferido descontando todo efeito da inflação até o momento atual. O salário nominal representa a quantidade de moedas que o governo informa, por decreto, ou o negociado entre trabalhadores e patrões que o trabalhador recebe como ordenado (semanal, quinzenal ou mensal). Segundo o DIEESE, embora tenha sido percebido um ganho real no salário mínimo nos últimos anos, o salário mínimo necessário para o brasileiro fazer frente as suas necessidades era de R\$ R\$ 3.658,72 em fevereiro de 2017 e não o nominal de R\$ 937,00 (10). Essa situação é ainda mais agravada pelo elevado índice de desemprego que o brasileiro está vivenciando nos últimos anos.

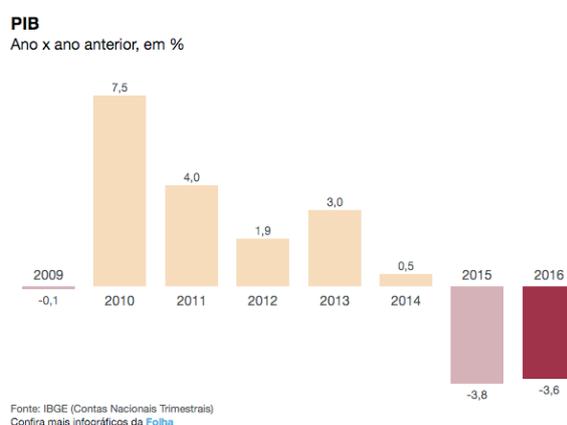


FIGURA 2 – Evolução anual do PIB - % (9)

3.2 Tarifas Residenciais de Energia Elétrica em Distribuidoras Paulistas Seleccionadas

A Figura 3 apresenta os preços de energia elétrica das três principais distribuidoras paulistas de energia elétrica. Os mesmos estão em moeda constante, atualizados pelo IPCA, na data de aniversário do contrato de concessão de cada distribuidora, sem impostos. A cidade de Campos do Jordão, local onde foi realizada a pesquisa de campo, situa-se na área de concessão da Elektro. Embora em moeda constante verifica-se que os preços da energia elétrica residencial já foi mais caro no passado em todas as distribuidoras, percebe-se que a Elektro possui o maior valor entre as analisadas na Figura 3.

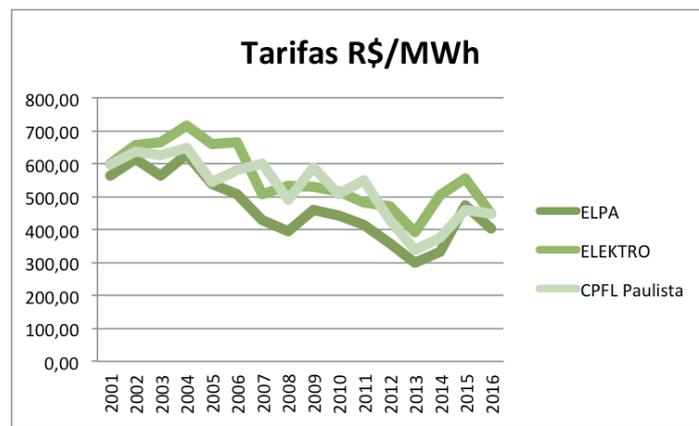


FIGURA 3 – Análise Comparativa das Tarifas Residenciais de Energia Elétrica

4 | PESQUISA PRIMÁRIA REALIZADA COM CONSUMIDORES RESIDENCIAIS – ELEKTRO

O estudo de caso envolveu a realização de uma pesquisa de campo com clientes residenciais de Campos do Jordão, interior do Estado de São Paulo. A cidade de Campos do Jordão se encontra na área de concessão da Elektro. Foram entrevistadas 172 pessoas, durante o período de 15/02 à 23/02/17. Foi utilizado um questionário eletrônico na plataforma “*google forms*” e o preenchimento eletrônico foi realizado pelo próprio pesquisador durante a realização da pesquisa.

O público alvo da amostra pretendida eram pessoas maiores de idade, responsáveis pelo pagamento de suas despesas e com renda familiar inferior a 3 salários mínimos. Foram entrevistados 329 pessoas, porém apenas 172 pessoas preenchiam as necessidades para continuidade da pesquisa. A entrevista tinha uma duração média de 5 minutos e a maioria dos entrevistados foi abordado pelos entrevistadores nas vias e locais públicos.

A amostra foi composta por 27% dos respondentes entre 18 e 24 anos, 40% entre 25 a 35 anos, 26% entre 36 e 50 anos e 7% acima de 51 anos. A renda familiar da amostra foi de 5% com até 1 salário mínimo, 54% entre 1,1 e 2 salários e 41% entre

2,1 a 3 salários mínimos. Em relação ao pagamento das despesas, 46% da amostra era o único responsável pelo pagamento, enquanto que 54% dividem as despesas com o cônjuge, filhos ou outras pessoas que moram na mesma habitação.

A Figura 4 apresenta a contratação dos serviços públicos pesquisados pelos entrevistados. Os serviços pesquisados foram: energia, gás natural, GLP, telefone, água e internet. Como já era de conhecimento prévio, não existe a disponibilidade de contratação de gás natural na cidade. Entre os demais serviços passíveis de contratação verificou-se a universalidade de contratação de energia elétrica, celular e água, seguido por internet (77% dos entrevistados) e telefone fixo (50% dos entrevistados). Possivelmente, os entrevistados que responderam a alternativa *sim* para a contratação de gás natural desconhecem essa fonte de energia, ou possuem esse serviço contratado em outra localidade.

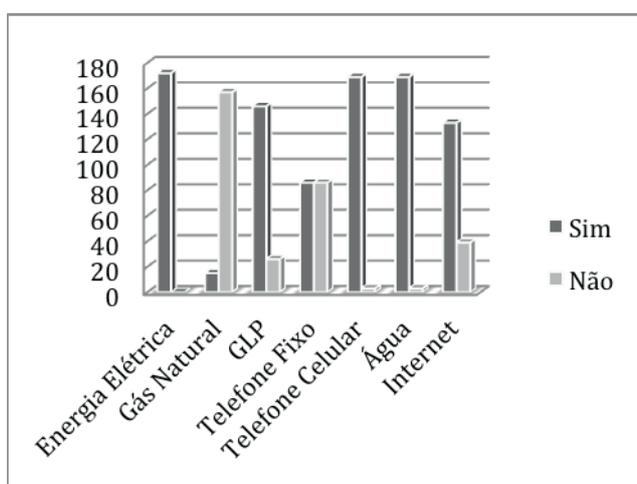


FIGURA 4 – Serviços Contratados

A Figura 5 apresenta a modalidade de pagamento utilizada na contratação dos serviços já mencionados, onde se verifica a modalidade pós pago quase que na totalidade das contratações de energia elétrica e água. Algumas respostas mencionam o pré-pagamento desses serviços, mas isso ilustra apenas a falta de conhecimento dos respondentes (14 respondentes). No caso do GLP, uma parte significativa (15%) não utiliza esse insumo, visto a elevada utilização de lenha para cocção na cidade. O serviço de telefonia fixa não é muito presente na amostra pesquisada, apenas (50%) possui esse serviço e os que possuem utilizam da modalidade pós-pago. A telefonia móvel está presente em 100 % dos entrevistados, sendo que 52% na modalidade pré-paga e 45% na modalidade pós paga, enquanto que 3% responderam “*Não tenho certeza*”. A internet está presente em 77% dos entrevistados, sendo sua principal modalidade de contratação o pós pagamento.

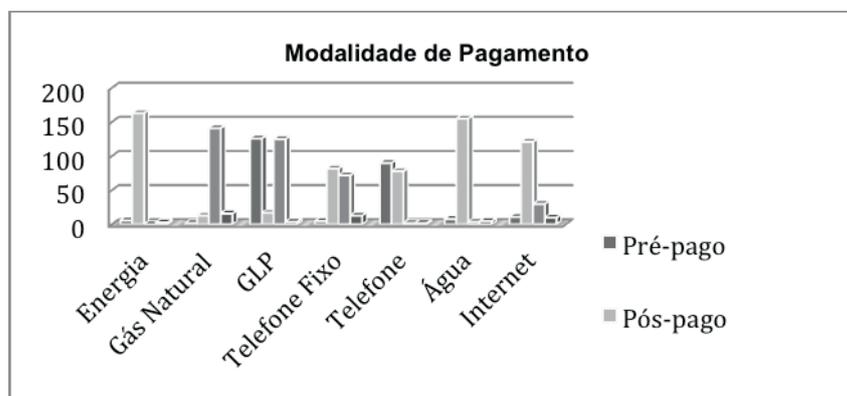


FIGURA 5 – Modalidade de Pagamentos

A Figura 6 identifica o responsável pelo pagamento dos respectivos serviços públicos, onde se verifica que o respondente é quase na totalidade o responsável pelo pagamento dessas despesas domésticas.

Na amostra pesquisada, 41% afirmam que nunca atrasaram ou deixaram de pagar uma fatura de serviços públicos, conforme Figura 7. Os principais motivos alegados pelos demais respondentes que já atrasaram o pagamento dos serviços contratados foram: data de vencimento (23%), dificuldade não financeira para o pagamento (21%), valor da fatura (10%) e 2% respondeu que o atraso foi propiciado pelo procedimento adotado para a interrupção dos serviços pela prestadora, ou seja, houve um gerenciamento da inadimplência.

Foi perguntado aos entrevistados qual seria o serviço público escolhido para não realizar o pagamento, caso houvesse essa necessidade, conforme ilustra a Figura 8. A maioria dos respondentes (47%) escolheu a internet, seguido pelo telefone fixo (23%), telefone celular (18%) e GLP (9%). A energia elétrica foi escolhida por apenas 2 % da amostra, enquanto que a água não teve nenhuma escolha entre a amostra entrevistada.

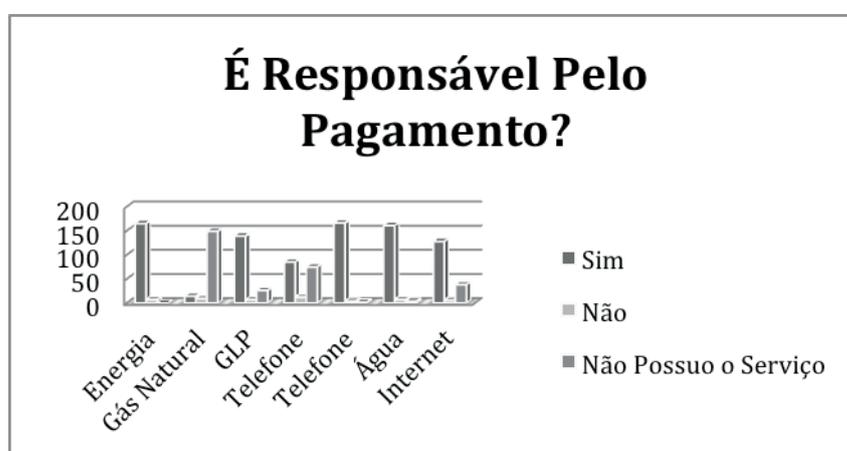


FIGURA 6- Responsabilidade pelo Pagamento

Para complementar a análise os responsáveis tiveram que escolher entre os serviços públicos contratados, qual seria o serviço que eles nunca deixariam de pagar.

Os resultados, apresentados na Figura 9, evidenciam que a água foi o serviço escolhido por 63% dos respondentes, enquanto que a energia elétrica foi escolhida por 34% da amostra. A telefonia móvel (celular) teve 2% de respostas, enquanto que a internet foi escolhida apenas por 1% da amostra.



FIGURA 7 – Motivos para o Atraso ou Não Pagamento

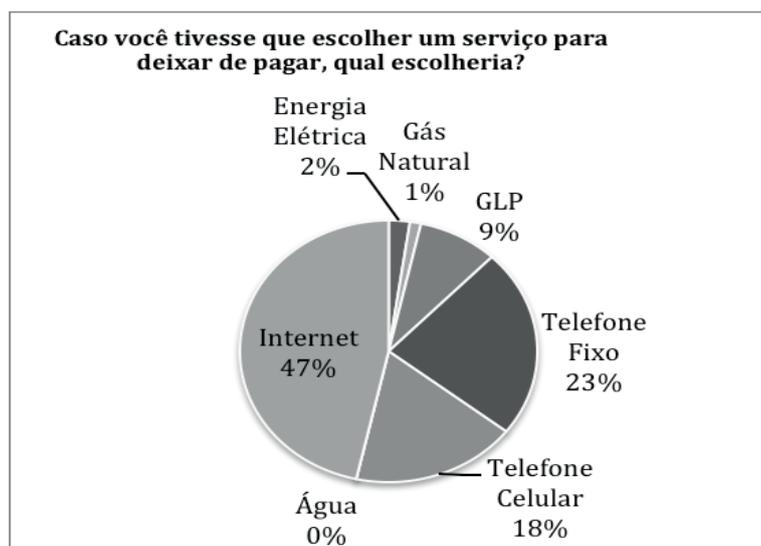


FIGURA 8 – Escolha para a Inadimplência

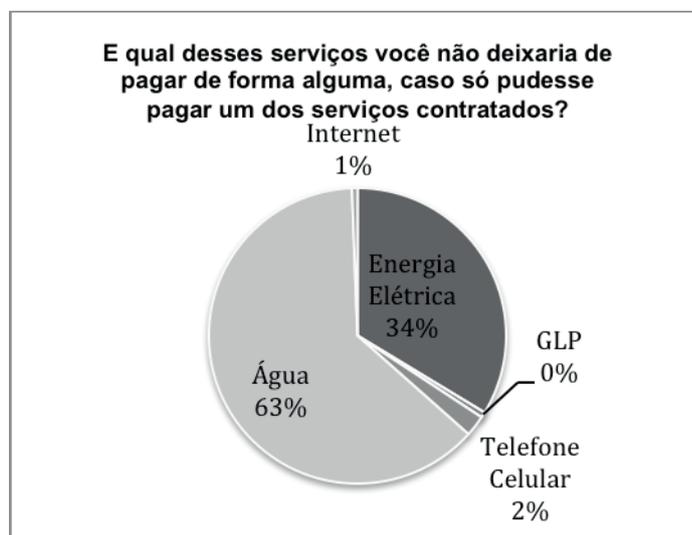


FIGURA 9 – Prioridade para Pagamento

5 | CONCLUSÃO

O trabalho apresentou dados econômicos sobre a evolução do produto interno bruto, do salário mínimo e do preço da energia elétrica residencial nas principais distribuidoras do Estado de São Paulo. Diante das dificuldades financeiras vivenciadas principalmente pelas classes sociais menos favorecidas, foi realizada uma pesquisa primária com clientes residenciais, com renda familiar de até 3 salários mínimos na cidade de Campos do Jordão. Nessa pesquisa foram investigados: faixa etária, renda média, serviços públicos contratados, situações de inadimplência, causas de eventuais atrasos e hierarquia para pagamento dos serviços frente a escassez de recursos para pagamento de todos. Foi também investigado a hierarquia do que pagar e do que não pagar nessa situação.

Para tanto, foram analisados os seguintes serviços públicos: energia elétrica, gás canalizado ou GLP, telefonia móvel e ou fixa, água e internet. Como resultado verificou-se uma aderência a teoria baseada na Hierarquia das Necessidades de Maslow, onde a água e a energia elétrica foram os dois principais serviços priorizados para pagamento, seguidos pelo GLP, utilizado para cocção. Na hierarquia idealizada pelos consumidores entrevistados, os serviços de internet e de telefonia (fixa e móvel) são os prioritariamente escolhidos para o não pagamento, em caso de necessidade.

É importante identificar que as tarifas residenciais hoje são mais baratas do que eram no início do século. A percepção que os serviços de eletricidade são mais caros se deve a dois principais fatores: a crise econômica que se abate sobre as famílias, em especial os mais pobres e a memória recente alavancada pelo “tarifaço” de 2015.

Os resultados da pesquisa contradizem a expectativa de que os serviços prioritariamente escolhidos para o não pagamento estariam associados a um prazo maior para a sua interrupção, a exemplo do que ocorre com a energia elétrica e a água. Isso poderia decorrer do fato de que estes serviços, por serem considerados de maior

relevância na sua essencialidade, poderiam ser “ administrados” pelos consumidores, uma vez que possuem prazos regulatórios mais elevados para a sua interrupção.

Ao contrário do que poderia ter sido esperado, os serviços de internet e de telefonia (móvel ou fixa) que são mais rapidamente cortados, foram os priorizados para casos de necessidade de inadimplência. Estes achados reforçam os conceitos preconizados na Teoria da Hierarquia de Maslow, onde os serviços e produtos da base da pirâmide, responsáveis pelo atendimento das necessidades fisiológicas, são os primeiros requeridos pelo consumidor, que neste caso, também os priorizam para pagamento em situação de escassez de recursos.

Esta pesquisa indica ainda possibilidades de desdobramentos, que os autores pretendem vir a explorar em pesquisas futuras, como por exemplo: (i) a memória dos consumidores frente as variações dos preços de energia elétrica, identificando ou não ações decorrentes da modicidade tarifária (ii) avaliação se o não uso das possibilidades de gerenciamento da inadimplência decorre de uma decisão consciente ou do desconhecimento das regras que permitiriam a gestão do pagamento atrasado e (iii) se a existência de substitutos, como utilização de biomassa para cocção, faz diferença na escolha dos consumidores, ou ainda, a existência de serviços grátis compartilhados para a internet, como em cafés ou “lan houses”, facilitaria a sua não prioridade de pagamento em momentos de crise.

Embora a pesquisa de campo tenha sido realizada em apenas uma única localidade, apresentando ainda características de natureza qualitativa, uma vez que não permite estatisticamente sua extrapolação para toda a população, os achados evidenciam a percepção de elevada importância atribuída pelos consumidores sobre a essencialidade dos serviços de energia elétrica e água prestados pelas empresas distribuidoras de energia e concessionárias de saneamento. Realidade que deve ser considerada nas decisões adotadas frente as questões empresariais e de gestão corporativa pelas empresas do setor.

REFERÊNCIAS

ANEEL- **Condições gerais de fornecimento- Resolução 414/2010**. Disponível em www.aneel.gov.br, acesso em 19 de março de 2017.

ARSESP - Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo. **Informações técnicas**. Disponível em <http://www.arsesp.sp.gov.br/SitePages/saneamento/informacoes-tecnicas.aspx>, acesso em 19 de março de 2017.

Carlson, K. A., Wolfe, J., Blanchard, S. J., Huber, J. C., Ariely, D. **The budget contraction effect: how contracting budgets lead to less varied choice**. Journal of Marketing Research Vol. LII, p.337-348, 2015.

CHURCHILL, Gilbert A. **Marketing: criando valor para os clientes**. 3a. ed. São Paulo: Saraiva: 2012.

10.DIEESE, disponível em <http://www.dieese.org.br>. Acesso em 23.07.2017.

Exame. **Inadimplência no país é pior do que mostram os indicadores.** Disponível em <http://exame.abril.com.br/economia/inadimplencia-no-pais-e-pior-do-que-mostram-os-indicadores/>, acesso em 19 de março de 2017.

9.IBGE, disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 22/03/2017.

Portal da Administração, disponível em: <http://www.portal-administracao.com/2014/09/maslow-e-hierarquia-das-necessidades.html>. Acesso em 15.03.17.

Russo, J. Edward and Kurt A. Carlson. **Individual Decision Making**, in Handbook of Marketing, Barton A. Weitz and Robin Wensley, eds. London: Sage Publications, p. 371-408, 2002.

Shea, J. Myopia, **Liquidity Constraints, and Aggregate Consumption: A Simple Test.** Journal of Money, Credit and Banking, issue 27, p.798-805, 1995.

PROJETO PILOTO PARCELAMENTO PRÓ-ATIVO DE DÉBITOS DE IRREGULARIDADE

Diego Rivera Mendes

Companhia Estadual de Distribuição de Energia
Elétrica – CEEE-D
Porto Alegre – RS

Julio Eloi Hofer

Companhia Estadual de Distribuição de Energia
Elétrica – CEEE-D
Porto Alegre – RS

Rafael Luís de Avila

Companhia Estadual de Distribuição de Energia
Elétrica – CEEE-D
Porto Alegre – RS

RESUMO: O presente trabalho apresenta o projeto piloto realizado pela CEEED na recuperação de valores de consumos não registrados por irregularidade (CNR), através do parcelamento pró-ativo destes débitos. O projeto piloto foi realizado durante três meses, entre maio e julho de 2015, sendo seus resultados medidos e acompanhados até 31 de agosto de 2016. Além da recuperação de valores, o projeto apresentou resultados vantajosos, como evitar o deslocamento de consumidores até um local de atendimento presencial, evitar o ingresso de recursos sobre os débitos, além de a campanha ter um custo baixo e os parcelamentos apresentarem uma média de inadimplência menor que a observada nos demais contratos da Concessionária.

PALAVRAS-CHAVE: Atendimento; Cobrança;

Débito de Irregularidade; Parcelamento.

ABSTRACT: The present work presents the pilot project carried out by CEEE-D in the recovery of unregistered consumption values by irregularity (CNR), through a pro-active installment plan for the payment of these debts. The pilot project was carried out for three months between May and July 2015, and its results were measured and monitored until August 31, 2015. In addition to the recovery of values, the project presented advantageous results, such as avoiding the displacement of consumers to a location of face-to-face service, to avoid the inflow of appeals on the debts, in addition to the fact that the campaign has a low cost and the installments have a lower default rate than has been observed in the other Concessionaire's contracts of installment plans.

KEYWORDS: Customer service; debt collection; unregistered consumption; installment plan.

NOTA DO AUTOR: Este artigo foi apresentado originalmente no XXII SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, realizado na cidade de Curitiba-PR, de 07 a 10 de novembro de 2016.

1 | INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro sofreu recentemente com constantes reajustes

tarifários, motivados pelo alto custo da geração de energia, chegando até o consumidor final em fatura de energia elétrica. Em 2015, a ANEEL implantou o sistema de bandeira tarifária, possibilitando repassar valores de custo de energia para as Concessionárias em menor tempo, como consequência, este passou a incrementar a fatura do consumidor. Na área de concessão da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica - CEEE-D, de janeiro de 2015 até maio de 2016, já foram contabilizados cinco reajustes, todos impactando no consumidor final. Mais recentemente ainda, no Estado do Rio Grande do Sul, as alíquotas de ICMS foram reajustadas, passando o valor integral de 25% para 30%. Todos estes constantes aumentos na fatura de energia elétrica, aliados aos demais impactos negativos da atual situação econômica brasileira, fizeram com que a CEEE-D ficasse em alerta. Previa-se que o custo de energia elétrica se tornaria uma parcela ainda mais significativa no orçamento dos consumidores, o que de fato ocorreu. Relatos de dificuldade para cumprir com os pagamentos se tornaram mais frequentes e clientes chegaram a encerrar suas atividades justificando esse custo.

Com o aumento da inadimplência e da crise econômica, também há o aumento do consumo irregular de energia elétrica, que, quando constatado, é cobrado pela Concessionária através dos critérios estabelecidos pela REN ANEEL 414/2010. Os débitos de irregularidade (CNR) apresentam dificuldades para cobrança, em razão de haver discussões acerca da responsabilidade sobre a execução da fraude e os critérios de cálculos adotados. Somado a isto, o Rio Grande do Sul é um dos estados com maior judicialização de demandas (conforme dados do Relatório Justiça em Números 2014.2, do Conselho Nacional de Justiça-CNJ), e muitos dos débitos de CNR acabam sendo discutidos na esfera judicial.

Assim sendo, a Concessionária passou a se preocupar ainda mais com o aumento da inadimplência, com a perda de receitas e com a migração de consumidores regulares para a situação de consumo irregular. Dessa forma, foram priorizados projetos e iniciativas visando frear a inadimplência e recuperar receita ao caixa da Empresa.

2 | DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Tendo em vista que a cobrança “convencional” dos débitos de CNR, pela Concessionária, não estava surtindo o efeito desejado, foram buscadas novas ideias para recuperação dos valores. A ideia que deu origem ao projeto piloto tratado neste trabalho foi a de realizar parcelamentos de forma pró-ativa destes débitos, com condições “agressivas” para a negociação. Inspirados pelo bordão de uma rede varejista, que apregoa “*quer pagar quanto?*” definiu-se que os parcelamentos seriam realizados de forma a criar condições mais atrativas para o pagamento pelos consumidores, reduzindo o valor das parcelas ao menor valor possível, definido para este projeto como R\$ 49,90 (quarenta e nove reais e noventa centavos).

Dessa forma, realizou-se o seguinte trabalho para recuperação destes valores:

- Definição do universo de CNR a serem negociados nas condições do projeto piloto, que serão descritas adiante;
- Delimitação do prazo de vigência da campanha de cobrança: três meses, de maio a julho de 2015;
- Ingresso dos parcelamentos no sistema comercial da Concessionária, na modalidade adesão. (A concessionária possui a modalidade de parcelamento por adesão, na qual é dispensada a assinatura do devedor, sendo que o aceite das cláusulas contratuais ocorre com o pagamento da entrada. Essa modalidade de parcelamento é utilizada para valores menores de débitos, onde não são exigidas garantias nem testemunhas no contrato. A modalidade é amplamente utilizada pela concessionária, mostrando-se ainda mais benéfica para campanhas de cobrança como a deste projeto);
- Envio de correspondência ao consumidor com o resumo do débito e da proposta de pagamento (ANEXO 1), juntamente com o boleto da entrada, conforme modelo do ANEXO 2;
- Constatado o pagamento do boleto de entrada, era remetida nova correspondência ao consumidor, com o contrato de parcelamento e demais parcelas;
- Constatado o não pagamento do boleto de entrada, o contrato era cancelado no sistema comercial da Concessionária.

Definição do universo de CNR a serem negociados nas condições do projeto piloto:

- Débitos de CNR não prescritos;
- Débitos de CNR com data recente de vencimento (01/07/2012 a 31/03/2015);
- Débitos de CNR sem recursos ativos cadastrados;
- Débitos de CNR sem liminares ou processos judiciais;
- Débitos de CNR abaixo do piso mínimo para envio à cobrança judicial;
- Análise do cliente, verificando se possui mais débitos além do CNR, priorizando aqueles em que há um único débito;
- Análise do cliente, verificando se possui alguma instalação ativa, priorizando aqueles que possuem e envio da correspondência para o endereço da instalação ativa.

Dessa forma, chegou-se ao universo de 6.620 títulos para a campanha (Tabela 1).

Quantidade	Valor Total	Valor Médio CNR
6.620	R\$ 6.808.526,91	R\$ 1.028,48

Condições da negociação:

- Número máximo de parcelas: 48;
- Valor mínimo da parcela: R\$ 49,90;
- Formato do parcelamento: Entrada + X parcelas (valores iguais);
- A entrada terá o prazo de vencimento de 10 dias;
- Controle manual para vigência / cancelamento do contrato;
- Preferencialmente, as cartas serão encaminhadas para o endereço de alguma instalação ativa do devedor.

2.1 Limitações ao Projeto Piloto

A análise dos débitos, confecção dos parcelamentos e cartas e controle de pagamentos para vigência ou cancelamento dos contratos foram realizados de forma manual, sendo que o ideal seria que se pudesse realizar o projeto por meio de ferramentas de sistema. Também não foi possível destacar empregados exclusivamente para a tarefa durante todo o período da campanha. Em razão da limitação de recursos humanos, foram emitidos menos contratos do que a previsão inicial do projeto.

Custos da campanha:

Tendo em vista a utilização de mão de obra própria, os insumos necessários para realização da campanha são papel e tonner de impressão. O maior custo da campanha foi com os Correios, visto que uma carta nos moldes da emitida, custa em média R\$4,50 (quatro reais e cinquenta centavos). A correspondência enviada posteriormente com o contrato e boletos, com Aviso de Recebimento, possui o valor unitário de R\$ 8,20 (oito reais e vinte centavos).

3 | RESULTADOS

Resultados obtidos após a finalização do projeto piloto, em 31/07/2015 (Tabela 2).

Resultados	Valores
CNRs Aptos	6.620
CNRs Analisados	1.657
Contratos Emitidos	1.250
Entradas pagas	173
% Sucesso	14%
Entrada Arrecadada	R\$ 11.251,00
Média Entrada	R\$ 65,03
Media quantidade parcelas	18

Valor médio das parcelas	R\$ 62,51
Custo Correios	R\$ 3.010,20
Empregados/dia	1,5

Tabela 2 - Resultados do projeto piloto

Fonte: organizado pelo autor.

Acompanhamento dos resultados do projeto piloto, até 31/08/2016:

A inadimplência média destes contratos de parcelamento foi 6% menor do que as de parcelamentos de irregularidades praticados convencionalmente pela Concessionária.

A inadimplência das parcelas emitidas na faixa de valor de R\$ 40,00 a R\$ 60,00 foi 160% menor do que das parcelas emitidas na faixa de valor de R\$ 121,00 a R\$ 140,00. Os Gráficos 1 e 2 demonstram as taxas de inadimplência das parcelas durante o período de monitoramento, entre maio de 2015 e agosto de 2016.

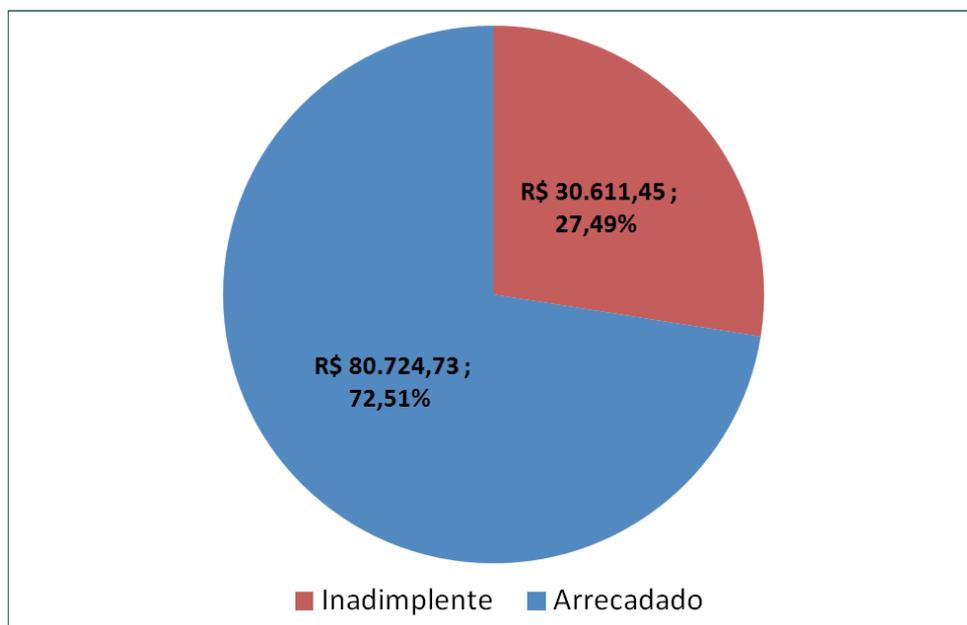


Gráfico 1- Inadimplência Geral do Projeto

Fonte: Organizado pelo autor com base no valor financeiro das parcelas vencidas no período de maio/2015 a agosto/2016.

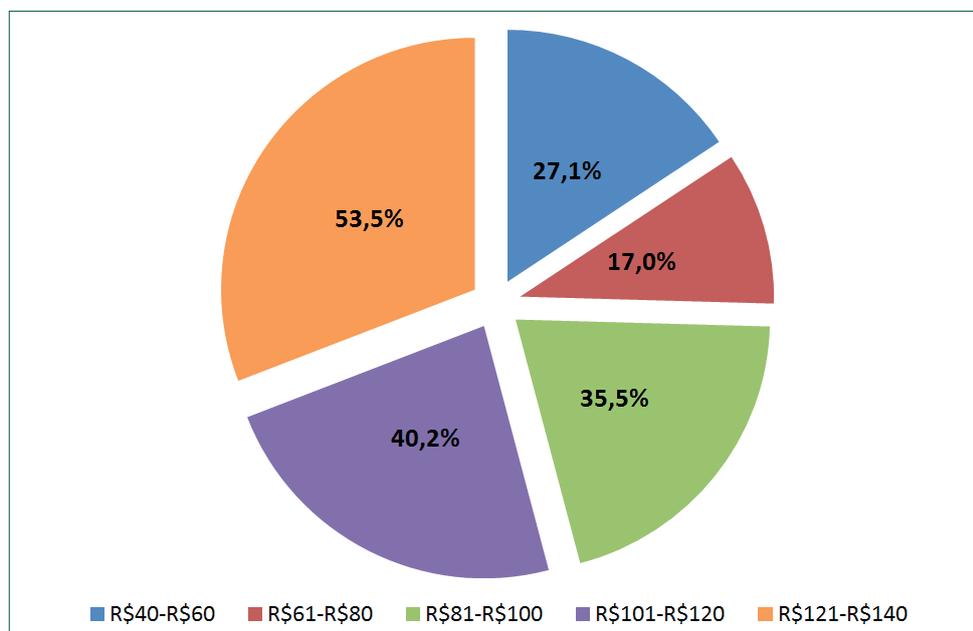


Gráfico 2-Inadimplência por Faixa de Parcela.

Fonte: Organizado pelo autor com base no valor financeiro das parcelas vencidas no período de maio/2015 a agosto/2016.

A taxa significativamente menor da inadimplência das parcelas de menor valor, oriundas de débitos mais baixos, aliada ao volume destes débitos, possibilitou um ganho de escala na arrecadação. Com isto verificou-se no projeto que há um maior retorno financeiro em se trabalhando muitos débitos menores, do que manter a atenção voltada prioritariamente aos maiores valores. Conforme demonstra o Gráfico 3, a faixa de parcelas mais baixa foi justamente onde ocorreu a maior arrecadação.

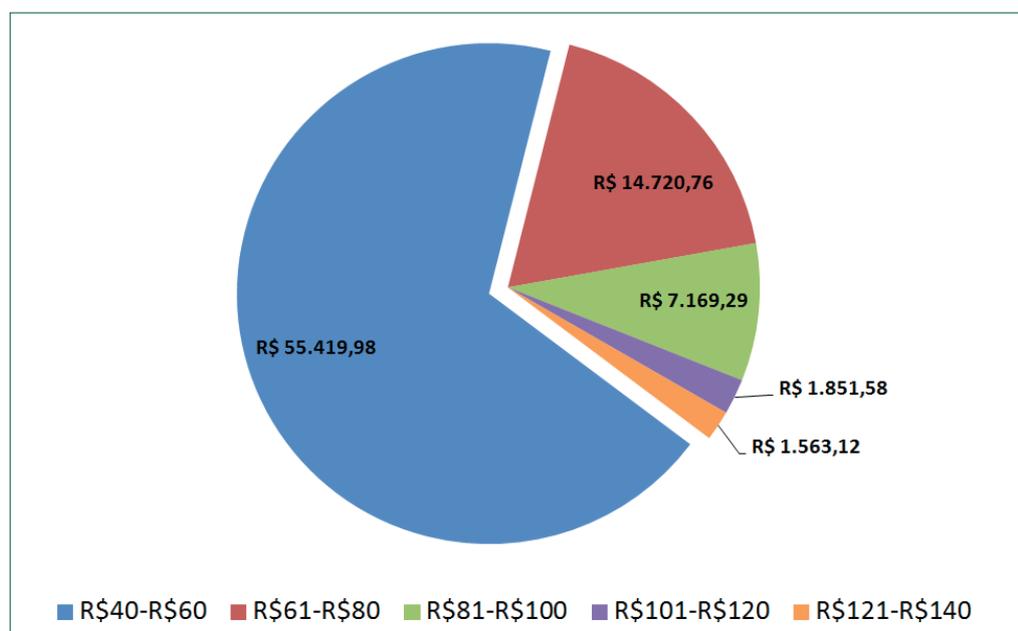


Gráfico 3-Arrecadação por Faixa de Parcela

Fonte: Organizado pelo autor com base no valor financeiro das parcelas vencidas no período de maio/2015 a agosto/2016.

4 | CONCLUSÃO

No decorrer da avaliação do projeto piloto, puderam ser levantadas algumas premissas quanto às negociações realizadas:

- Quanto mais recente o débito, maior a taxa de sucesso na negociação;
- Quanto menor o débito, maior a taxa de adesão;
- Quanto menor o valor da parcela, menor a inadimplência.

O projeto resultou em vantagens tanto para os clientes quanto para a concessionária.

Vantagens para os clientes:

- Evita o deslocamento do consumidor até um local de atendimento;
- Proporciona uma condição de pagamento viável a clientes com menor renda;

Vantagens para a CEEE-D:

- Evita o aumento dos atendimentos presenciais;
- Evita o ingresso de recursos sobre os débitos;
- O custo da campanha foi baixo;
- A concessionária mostrou pró-atividade na cobrança e negociação dos débitos;
- A inadimplência destes parcelamentos é menor do que a média dos demais contratos.

REFERENCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução ANEEL nº 414, de 09 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA. **Justiça em números 2014: ano-base 2013**. Brasília: CNJ, 2014. Disponível em: <ftp://ftp.cnj.jus.br/Justica_em_Numeros/relatorio_jn2014.pdf>.

ANEXO 1 – Modelo de Carta



Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica
Área de Distribuição – Divisão de Gestão Comercial
Departamento de Recuperação de Créditos

Prezado(a) Senhor(a)

Em decorrência de fiscalização realizada na instalação **XXX**, sob sua responsabilidade, existe cadastrado em nosso sistema um débito de consumo não registrado vencido desde **XX/XX/XXXX**.

Visando a regularização de débito, a CEEE-D oferta a possibilidade de realizar o parcelamento desta dívida, em condições especiais de pagamento. Assim, é possível realizar o parcelamento nas seguintes condições:

Valor da dívida: R\$ XXX

Entrada: R\$ XXX

Parcelas: XX parcelas mensais de R\$ XXXX cada.

Encaminhamos em anexo o boleto de entrada desse parcelamento, com vencimento para **XX/XX/XXXX**. Havendo concordância com as condições de pagamento apresentadas acima, solicitamos que realize o pagamento deste boleto. Assim que nosso sistema identificar a quitação dessa entrada, encaminharemos a(o) senhor(a) nova correspondência com os boletos das parcelas para pagamento.

As condições especiais de parcelamento são válidas somente para este débito. Para demais informações entre em contato com os nossos Departamentos de Recuperação de Créditos, nos endereços abaixo, ou através do telefone 0800-721-2333.

Caso não ocorra o pagamento do boleto em anexo até o vencimento, entenderemos que não houve o interesse na regularização da dívida. Dessa forma, o débito continuará em aberto em nosso sistema, podendo ocasionar a restrição na concessão de serviços, bem como a inclusão em órgãos de restrição ao crédito.

Caso o débito citado já esteja pago ou aguardando resposta de recurso, desconsidere esta correspondência.

Atenciosamente,

Departamento de Recuperação de Créditos

CIDADE

ANEXO 2 – Modelo de Boleto de Entrada

Banrisul RECIBO 041

Vencimento	3/7/2015
Aplicação/Cód. Cobrança	100.81 2742020.62
Nome Número	0442128278
(*) Valor do Documento	RS 49,90
(0) Desconto Abatimento	
(1) Outras Deduções	
(2) Mora e Multa	
(3) Outros Acréscimos	
(*) Valor Cobrado	
Nº Documento	03.0000087023-00/PI

AUTENTICAÇÃO

Banrisul CAIXA 041

Vencimento	3/7/2015
Aplicação/Cód. Cobrança	100.81 2742020.62
Nome Número	0442128278
(*) Valor do Documento	RS 49,90
(0) Desconto Abatimento	
(1) Outras Deduções	
(2) Mora e Multa	
(3) Outros Acréscimos	
(*) Valor Cobrado	
Nº Documento	03.0000087023-00/PI

OPERAÇÃO

Banrisul 041-8 04192.11008.27420.200449.21282.041199.4.64780000004990

Local de Pagamento	Pagar, até o vencimento, em qualquer agência bancária			BDL	Vencimento	3/7/2015
Código	CIA EST DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CNPJ: 08.467.115/0001-00				Aplicação/Cód. Cobrança	100.81 2742020.62
Data Documento	Nº. do Documento	Especie DOC	Acerto	Data Processamento	Nome Número	0442128278
18/6/2015	03.0000087023-00/PI	CE		18/6/2015	(*) Valor do Documento	RS 49,90
	Especie	Quantidade	Valor		(0) Desconto Abatimento	
					(1) Outras Deduções	
					(2) Mora e Multa	
					(3) Outros Acréscimos	
					(*) Valor Cobrado	
Instruções						
NÃO RECEBER APÓS O VENCIMENTO EM 03/07/2015 Antes do vencimento pagável preferencialmente no Banrisul, após o vencimento este título não poderá ser pago.						
Pague em dia este boleto e evite registro no SPC/SERASA.						
Sacado						
CELFO	[REDACTED] - CPF/CNPJ [REDACTED]			Cód. de Baixa		
BEC	[REDACTED] PORTO ALEGRE - RS			Autenticação Mecânica		
Sacado/Arquiteto						



FICHA DE COMPENSAÇÃO

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

Carlos Alberto Fróes Lima

KNBS Telecomunicações e Informática Ltda.
Campinas, SP

Anderson Diego Machiaveli

KNBS Telecomunicações e Informática Ltda.
Campinas, SP

Luciano E. A. Peres

CPFL – Companhia Paulista de Energia
Campinas, SP

Tales Neves Anarelli

CPFL – Companhia Paulista de Energia
Campinas, SP

RESUMO: O foco no reconhecimento e antecipação do atendimento ao cliente necessita de uma abordagem voltada aos serviços solicitados e executados para estes clientes. Neste processo, a melhoria operacional de cada canal de atendimento, do ponto de vista de agilidade e custos, é reforçada com o reconhecimento das características e perfis dos clientes que buscam atendimento e quais serviços são solicitadas, as necessidades da comunicação com os clientes e as condições de operação da distribuidora para atender tais solicitações. A disponibilidade de recursos regionais para o atendimento, as condições climáticas, os problemas na rede, bem como o incentivo aos clientes para o uso de mídias diferenciadas no seu relacionamento foram

caracterizadas para estruturar um modelo que permitisse um acompanhamento histórico e preditivo. Técnicas de tratamento de *big data* foram utilizadas, considerando a necessária agilidade no acesso ao volume mensal de dados (milhões de registros/mês).

A criação de mapas estratégicos e ferramentas analíticas foram incorporadas nas rotinas de avaliação de atendimento pelas equipes de controle de canais e serviços, como forma de garantir a efetividade do atendimento e do canal utilizado.

Este trabalho é resultado do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da CPFL, parte do programa de P&D regulado pela ANEEL.

PALAVRAS-CHAVE: Atendimento ao cliente, Melhoria operacional, Antecipação de atendimento, Relacionamento, Estratégias de atendimento

ABSTRACT: Continuous analysis of demanded services at the energy companies are the shortest path to recognize and anticipate customers' requests, reinforce and manage the communication and operational flows. Energy utilities needs to increase their operational efficiency concerning costs and agility to improve useful media and evaluate customers' expectations and needs. Operational effectiveness must pursue the demands, considering the amount of services offered and

generated by relationship channels, communication facilities and legacy systems' infrastructure provided by the companies. A huge amount of data had organized to represent this scenario and forecast the relationship. Models created to monitor and predict customers' requirements represent historical and online data. Resources evaluation ensure regional requirements and weather conditions best attendance response, adequately addressing faults at the energy distribution grid, as well as motivate customers to use alternative media and improve relationship channels. Reaching this scenario, big data treatment techniques provided the necessary agility to achieve the monthly/hourly volume of data (millions of registers per month) and permitted communication clusters' views.

This paper resulted as a CPFL (Brazilian energy distributor company) as a R&D Project, part of the regulated program from the national energy agency (ANEEL).

KEYWORDS: Customer' Attendance; Operational Improvement; Customer' Demands Anticipation; Relationship; Attendance Strategies.

1 | INTRODUÇÃO

O Setor elétrico e as distribuidoras de energia brasileiras buscam a melhoria contínua do processo de entendimento do relacionamento com o cliente. Os atendimentos aos serviços solicitados pelos clientes são realizados por diversos canais, tais como *call center* e web, mídias sociais, correspondências, e-mails, SMS e agências de atendimento presencial. O volume de atendimentos realizados é decorrente das solicitações dos clientes (ou futuros clientes), como também relacionados aos eventos de indisponibilidade de energia na rede e procedimentos relacionados ao faturamento e inadimplência. Muitos indicadores do relacionamento são regulados pela ANEEL (RN 414/2010), entretanto, em uma análise inovadora, as necessidades dos clientes devem ser realçadas e novos requisitos de qualidade de atendimento e procedimentos associados devem ser implementados, bem como verificados de forma constante, segundo Kotler (2010).

Entender o que leva os clientes a se relacionar com a distribuidora perpassa pela análise de suas necessidades individuais e das condições reguladas para os serviços, além das condições físicas da rede, das condições meteorológicas, da disponibilidade e dos preços da energia. A melhora dos índices ou indicadores da qualidade do atendimento reflete, diretamente, no custo operacional, e vice-versa, ou seja, a falta de investimentos nas redes de distribuição ou determinados serviços faz aumentar consideravelmente a quantidade de atendimentos.

A distribuidora precisa fazer, de forma contínua, a avaliação dos custos de seus atendimentos, das implicações operacionais, das necessidades de mudanças de seus sistemas para as demandas de relacionamento e agregar as possibilidades e necessidades advindas com a disponibilidade e valores diferenciados, em cada tipo

de atendimento executado. O grupo CPFL, com cerca de 8,5 milhões de clientes, atendendo 574 cidades em sua área de concessão (CPFL, 2014) busca a excelência no atendimento, bem como resultados de melhoria nas atividades de relacionamento, o que também contribui com a melhoria da eficiência operacional. Busca também avaliar a possibilidade de antecipação de ações de atendimento, possibilitando as operações ou relacionamentos adequados nos estados críticos, demandas reconhecidas ou novas.

Neste sentido, o foco no reconhecimento e antecipação do atendimento ao cliente necessita de uma abordagem voltada aos serviços solicitados e executados, numa visão de operação complementar à contabilização dos volumes registrados nos canais de atendimento. Assim, o processo de melhoria operacional dos canais de atendimento, do ponto de vista de agilidade e custos, é reforçado com o conhecimento do cliente, cada vez que ele busca atendimentos e solicita serviços à distribuidora. E estes critérios são necessários para o relacionamento/engajamento do cliente com a implantação de smart grid, como indicados pelo DOE (USA Department of Energy, 2015) e Gangale (2013), reforçando a análise multidisciplinar dos relacionamentos proposta por Kotler (2010).

A avaliação inicial contou com variáveis que contextualizam o consumidor conforme seu comportamento de uso da energia, o comportamento do grupo comercial que está inserido e ainda variáveis cadastrais que o classifica nos quesitos de comportamento financeiro, criando-se indicadores operacionais representativos dos relacionamentos. Foi buscado o reflexo destes indicadores diretamente na demanda de serviços e atendimentos pela concessionária. Esta análise traz *per si* a quantificação e qualificação de estratégias para a concessionária e foram utilizadas para o questionamento da operação atual e a prevenção de necessidade de contatos do cliente em busca de serviços que já poderiam ter sido realizados.

Visualizando que na melhoria contínua dos modelos deve-se incluir variáveis de geoposicionamento dos clientes e análises de correlação geográfica para a melhoria de suas ações, foram propostos, desenvolvidos e testados mapas e gráficos estratégicos, representativos da criticidade do atendimento.

Buscou-se de forma enfática no projeto evidenciar a dualidade da visão de **serviços x canais de relacionamento**, que é inovadora na visão do cliente como demandante de serviços. Como o cliente pode utilizar diversos canais de relacionamento para atendimento de suas expectativas, a visão gerencial focada na organização de um único canal de atendimento não garante necessariamente o atendimento as expectativas do cliente ou apresenta o melhor custo de operação. Entender, portanto, o cliente em busca de serviços pôde representar melhor o espaço possível de atuação multidepartamental e multicanal.

Para uma visão segmentada, segundo o perfil de consumo e com análise com granularidade de bairros, incomum nas concessionárias brasileiras, um grande volume de dados teve que ser organizado: cerca de 150 milhões de registros históricos

compilados a cada intervenção de extração de tendências. Isto exigiu uma estruturação dos sistemas computacionais voltados a geração de resultados de forma ágil (resposta em segundos), permitindo a geração de gráficos e mapas de tendências, construídos em tempo de interação com os analistas de negócios da concessionária. Este desafio foi resolvido agregando os conceitos de organização de dados segundo conceitos de **big data** (estado da arte) com a sumarização de análises e consistência de dados para agilidade de respostas em sistemas analíticos.

Assim, a pesquisa permitiu a extração de informação sobre avaliação das necessidades históricas apresentadas pelos clientes, considerando seu perfil e localização (até o nível de bairro), e permitiu condições de realizar correlações com seus atendimentos via *call center* e outras mídias de relacionamento.

Os resultados forneceram informação chave para a análise custo-benefício dos investimentos, para a melhora da qualidade e a coordenação de relacionamentos.

Este trabalho iniciou um processo de mudanças culturais na avaliação das condições de atendimento ao cliente, de caracterização de custos e medição da dinâmica da operação de relacionamento prevendo as necessidades do cliente, possível dentro do tempo de projeto. Diversas propostas de melhorias operacionais foram feitas, e poderão ser acompanhadas no sistema desenvolvido. As condições de correlação de eventos e indicadores podem ser ampliadas e ser mais exercitadas, podem ser agregados algoritmos de previsão de acontecimentos, baseados nas sazonalidades de consumo e relacionamento, bem como evoluídos os modelos propostos segundo a dinâmica da operação e a oferta de serviços nos canais de relacionamento.

Adicionalmente, a visão compilada e unificada do volume e custos de atendimentos para toda a área de concessão pode não representar fielmente a demanda regional, que pode ser distinta conforme as características de cada região da concessão, segundo hábitos de consumo, predominância de áreas rurais ou urbanas e das condições da rede. Assim, visões com menor granularidade, como, por exemplo, visão regional, por municípios e até por bairros podem gerar indicação de ações e necessidades pontuais de atendimento. Podem reorganizar a operação para necessidades específicas de relacionamento apresentadas, sazonalidades e inclusive apontar características específicas de perfis de clientes demandantes.

Também, os modelos estatísticos utilizados nas análises realizadas deverão ser, continuamente, reavaliados e melhorados, devido à dinâmica de mercado, comportamento do cliente, das decisões políticas, sociais e reflexos na economia, bem como no comportamento e tecnologias de previsão de mudanças climáticas. A inadimplência também tem seu reflexo do contexto social, e assim, também se reflete na comunicação com o cliente e nos custos do atendimento pela distribuidora. Normalmente, o cliente inadimplente, pela insegurança quanto à possibilidade de interrupção do fornecimento de energia, busca muito mais o atendimento para questões quanto à suspensão do fornecimento ou negociação de débitos. Isto foi contemplado no sistema desenvolvido para o momento do projeto, devendo ser constantemente

evoluído na operação de organização do atendimento.

Este procedimento produziu mapas estratégico-operacionais que atualizam e ampliam os processos atuais desenvolvidos pela área de relacionamento com o cliente, em um ambiente de visualização e supervisão das condições do atendimento. Puderam ser caracterizados métodos para correlacionar fatores regionais, tipos de serviços prestados, mídias ou formas de atendimento com condicionantes socioeconômicos para as clusterizações (arranjos) de clientes e atendimentos. Como resultados, foram gerados agrupamentos e regras de negócio com peso estatístico para indicação de mídias alvos com maiores probabilidades de resultados no relacionamento/ações com clientes por região. Isto se traduziu no conhecimento regionalizado de áreas com recorrência de atendimentos e custos de serviços, na melhoria de processos críticos de atendimento, permitindo ações de modernização da estrutura de atendimento e/ou caracterização mais ágil de situações problemas ou antecipação de ações e resultados. Um ferramental analítico foi incorporado às rotinas de avaliação pelas equipes de controle de canais e serviços da distribuidora, reforçando as necessidades e organização de big data, caracterizados por LaValle (2011).

Sumariza-se a organização do conhecimento voltada para a identificação das condições de atendimento, a excelência deste atendimento e para as situações e processos que detectem a causa das necessidades de atendimento e não somente cumpram com a minimização ou correção dos efeitos sentidos pelo cliente ou grupo de clientes. Os resultados forneceram informação chave para a análise custo-benefício dos investimentos, para a melhora contínua da qualidade e a coordenação da disponibilidade de atendimento.

Os itens seguintes organizam este desenvolvimento feito com foco na comunicação com o cliente. O item 2 ressalta o momento e as necessidades de melhoria desta comunicação, o item 3 as diretrizes metodológicas seguidas e finalmente o item 4 os resultados e benefícios alcançados.

2 | MOTIVAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO

Muito tem sido executado no setor elétrico na composição de soluções de atendimento ao cliente. Apesar de muito ter sido executado no setor elétrico na composição de soluções de atendimento ao cliente, nenhuma literatura encontrada apresenta a abordagem metodológica realizada com a preocupação em qualificar a criticidade do relacionamento e a granularidade da ação da concessionária no nível de bairros e também associada a perfis de consumo. Uma avaliação criteriosa foi estabelecida, tanto do ponto de vista da organização da criticidade e relevância para a operação de indicadores gerados, quanto no manuseio de milhões de registros de atendimento, que exigiu a implantação de regras e direcionamentos em estruturas *big data*.

Foi feita a avaliação do relacionamento segundo a necessidade de atendimento intrínseco (por quê e o que o cliente necessita), em seu potencial de interatividade (onde e como o cliente é atendido) e as circunstâncias que desencadeiam esta necessidade de atenção pelas concessionárias.

Estas ações cada vez mais serão necessárias com cenários que se avizinham de mudanças técnicas e regulatórias no mundo como um todo. Com a implantação das *smart grids* cada vez mais será necessário ter ferramentas de *analytics* especializadas nas várias formas de relacionamento como forma de se agregar inteligência e não apenas automações, e que não trarão ganhos para os *stackholders* envolvidos (os clientes fazem parte deste grupo de partícipes do negócio).

Nesse sentido, este projeto organizou as questões de relacionamento baseadas na análise de recorrência de eventos geradores (queda de energia, inadimplência, avisos de cortes, e outros gerados pela concessionária ou pela rede de energia) e as necessidades de relacionamento do cliente no seu uso da energia, nas suas demandas de serviços relacionados e pagamentos devidos por estes serviços, segundo uma avaliação de condicionantes regionais/locais de atendimento, de perfis de consumo e de seu histórico de relacionamentos. Através de uma visão sistêmica de indicadores regionais de atendimento e de clusterização (segmentação e avaliação de grupos de clientes), buscou-se estimar, detectar, avaliar e em diversos casos, prever e alertar os comportamentos de atendimento e necessidades dos consumidores quando buscam os canais de relacionamento da concessionária.

Diferenciais tecnológicos foram agregados para se caracterizar a granularidade de observação do cliente (apresentando as condições de exceção em nível de bairro e do atendimento do cliente), de forma única entre as concessionárias brasileiras. Ressalta-se aqui a questão de avaliação constante das situações críticas de atendimento no local da geração da demanda, como alerta operacional. Os indicadores representativos de uma operação normalmente trazem embutidos a média da qualidade desta operação. Assim, temos que se a qualidade da operação medida em um ponto A é de 90% e a medida num ponto B é de 86%, considerando a proporcionalidade de atendimentos feitos e da base de clientes nestes pontos, a operação tem uma qualidade de 88%. Esta forma de expressar a operação não garante a detecção de pontos ótimos e a serem evoluídos. Este trabalho trouxe a luz esta possível situação de distorção local, reforçando sempre a análise regional (no nível das concessões do grupo) e chegando a granularidade de indicação das condições de relacionamento até o nível de bairro (são 23.548 bairros em 574 municípios nas 8 concessionárias do grupo CPFL). **Isto gera uma ordem de 2,1 milhões de indicadores que precisam ser organizados em uma estrutura de criticidade e relevância operacional.**

Técnicas de tratamento de big data (estado da arte em tratamento de grandes volumes de dados), conforme LaValle (2011), foram utilizadas de forma inovadora neste trabalho e inédita no setor elétrico brasileiro, associadas a regras de *datamining* e modelos de dados pré-consolidados, considerando a necessária agilidade no

acesso (tempo de respostas) ao volume mensal de dados (milhões de registros/mês) e histórico nas bases. A otimização de resultados de pesquisas na base foi priorizada no *design* dos processos. Facilidades operacionais foram também incorporadas a um sistema software de referência, permitindo que ações gerenciais, administrativas e operacionais possam ser executadas pelas equipes dos diversos canais de atendimentos, garantindo agilidade no reconhecimento das situações-problemas históricas. Alertas históricos podem ser estabelecidos a cada carga de dados ou renovação das bases. Gráficos de acompanhamento e indicadores de atendimento também foram desenvolvidos para se garantir uma visão inovadora do atendimento em seus diversos níveis (concessionária, canais de atendimento, localidades, bairro, clientes, tipos de clientes, tipo de consumo...) contabilizando de forma única (inexistente) a visão das necessidades de relacionamento apresentadas pelos clientes.

Foram geradas ações que permitissem a proatividade para o relacionamento com o cliente – o resultado deste projeto de pesquisa e desenvolvimento teve também como originalidade a modelagem de estratégias que permitissem a organização do conhecimento para ser aplicada num processo de referência para outras concessionárias e na melhora da qualidade do atendimento ao cliente. Buscou-se identificar as condições de atendimento, a sua excelência e as situações e processos que detectassem a causa das necessidades de atendimento e não somente cumprissem com a minimização ou correção dos efeitos sentidos pelo cliente ou grupo de clientes.

Foi enfatizado o contraponto da visão de canal de atendimento versus serviços solicitados pelos clientes para a caracterização das necessidades de relacionamento (como uma modelagem metodológica de visões complementares). Análises de custos, de efetividade do atendimento do canal e dos serviços fornecidos, forma de registro das informações nos sistemas, caracterização de ações de melhoria do relacionamento por canais (por exemplo, facilidades no acesso aos serviços no site, indicações para melhoria de comunicação na URA, facilidades de acesso no site e pelo call center foram estimuladas). Avaliação de efetividade de atendimento com implantação de novos formatos de comunicação para eventos de problemas na rede, via SMS foram acompanhadas pelo sistema software gerado e validadas. Melhores práticas de relacionamento foram revisitadas, quanto a disponibilidade de informações para os clientes e agilidade no atendimento pelos canais existentes. **Todo o processo metodológico foi incorporado ao sistema desenvolvido CCAF** (Contact Center Analytical Framework), **buscando representar procedimentos gerenciais e analíticos necessários à uma operação continuada e que necessita de visões consolidadas, porém distintas, das situações de relacionamento e criticidade operacional no atendimento as demandas dos clientes.**

A geração de sistema de organização de situações de atendimento, de criticidade e de representação regional de situações problemas e soluções após filtros analíticos traz também o interesse diferencial para este desenvolvimento. O ferramental software gerado traz em sua essência a visão histórica de relacionamento dos clientes,

permitindo que equipes de analistas de relacionamentos e gestores possam ter visões sistêmicas e visões específicas de atendimentos realizados. Nesta análise, mapas de criticidade, comportamentos de tendências de volumes de atendimentos e filtros de perfis de clientes buscando atendimento, adimplência e outros podem ser obtidas até a granularidade de bairro, permitindo assim, caracterização regional de criticidade de atendimentos mês a mês, segundo a quantidade de instalações existentes na região.

A caracterização de clientes com múltiplos atendimentos a cada mês foi evidenciada na pesquisa, buscando dar luz às necessidades e ou expectativas não atendidas dos clientes que o levaram a contatos diversos com a distribuidora. Este foi um dos caminhos trilhados na detecção e predição de soluções efetivas de relacionamento para o cliente.

Adicionalmente, este trabalho buscou responder algumas questões inerentes ao desempenho e criticidade operacionais da área que avalia os sistemas de atendimento. Buscou-se também dar condições para que todos os segmentos de clientes possam ser analisados e ações específicas tomadas para uma operação eficiente (Kotler, 2010);

- **Despesas – necessidade de agregar valor:** buscou-se avaliar os diversos serviços providos nos canais, historicamente, qualificando e quantificando as condições de atendimento, com mapas de tendências. Buscou-se também caracterizar de forma objetiva as condições de custos dos serviços e dos canais para que pudessem ser avaliadas as possibilidades de mudanças de atendimento adicionais às existentes. Condições de melhorias da interface no sistema web foram propostas no sentido de ampliar o atendimento com facilidades para o cliente e convergir ações para sistemas de custo operacional mais efetivo;
- **Subsidio para áreas de negócio:** o sistema CCAF foi concebido como referência técnica e administrativa no entendimento dos serviços prestados nos diversos canais e na associação de serviços prestados pela operação da distribuidora. Áreas de perdas e inadimplência foram contempladas no processamento das associações de necessidades dos clientes (expostas pelos serviços prestados) e pelas tendências de atendimento resultante de comunicação efetuada;
- **Conjunto de serviços:** foram caracterizadas as necessidades de perfis de clientes específicos na busca de atendimento nas distribuidoras do grupo e as condições deste atendimento histórico;
- **Problemas localizados** e diagnósticos com informações sobre situações comerciais e de atendimento histórico. Considerando as condições históricas e a localização, foram disponibilizadas visões de tendências de atendimento das distribuidoras do grupo, UNEG (Unidades de Negócio), municípios e bairros, permitindo uma avaliação da criticidade da operação nestes

locais, por perfil de cliente e serviços solicitados nos canais de atendimento;

- **Tempo de resposta mais rápido:** garantindo uma avaliação sistêmica a qualquer momento, em formato gráfico, tabelas, mapas e consultas de atendimento agrupadas para análise de situações em evidência, de forma ágil. Ações específicas de controle de serviços solicitados não estão no escopo deste projeto e podem ser relevantes em um processo continuado de análise das condições da operação e serviços na distribuidora gerados a partir do relacionamento com o cliente;
- **Consolidação de novos indicadores:** o sistema CCAF foi elaborado baseado em indicadores de desempenho (volumes e custos de atendimento) para os diversos canais, serviços solicitados e regiões, com análises de criticidade baseadas no volume dos atendimentos feitos por perfis de clientes estabelecidos. Este modelo mostrou-se atraente para a consolidação das condições efetivas de interesse da distribuidora quanto às suas estratégias atuais de análise de relacionamento e desempenho de seus analistas. Outros indicadores podem ser incorporados de forma ágil para uma evolução deste modelo na representação da dinâmica das distribuidoras na sua operação;
- **Mídias de atendimento e seus custos/vantagens e desvantagens no atendimento:** foram apresentadas comparações de mídias de atendimento e buscou-se caracterizar a eficácia dos canais de atendimento com a visão histórica disponibilizada;
- **Quais os ofensores:** foram caracterizadas as condições de operação, como qualidade dos dados disponibilizados, volumes de dados mensais a serem tratados, formalização de uma operação robusta e as condições de treinamento aos atendentes diferenciado para certos tipos de atendimento. Alertas foram gerados como um *book* de melhorias operacionais, com ações que podem garantir melhor confiabilidade nos registros das necessidades apresentadas nos relacionamentos com o cliente, com informações adicionais que podem compor indicadores futuros de eficiência do atendimento e de localização de solicitação de serviços. Buscou-se adicionalmente a separação de serviços solicitados e dos serviços gerados nos canais de atendimento, garantindo a contabilização efetiva dos esforços de atendimento e dos esforços demandados na operação;
- **Atuação com agilidade via sistema no nível de processos, de atendimentos e de cenários consolidados e emergenciais:** a alimentação de dados no sistema de forma mais próxima da tomada de decisões permitirá agilidade operacional;
- **Rechamadas:** foram considerados os registros de serviços solicitados pelos clientes. Desta forma, as necessidades apresentadas por clientes com

muitos contatos com a distribuidora podem ser exercitadas e ações pontuais ou em grupos de clientes podem ser tomadas para minimizar os custos de atendimento e as condições de operação inadequadas;

- **Qual o perfil dos clientes? Quem são eles? Por que buscam a distribuidora? Qual a causa de problemas?** As condições de segregação construídas no sistema permitem o rastreamento dos perfis de clientes e de regiões que demandam serviços para a distribuidora. Condições específicas de atendimento também foram avaliadas como modelos de pesquisa em bases de sistemas analíticos utilizando uma ferramenta de mercado para uma caracterização pontual e por especialistas da distribuidora.
- **Árvore de validação de problemas, por região, por cidades:** idem às considerações feitas no tópico anterior acrescidas de mapas temáticos e de criticidade por região da concessão, até o nível de bairro;
- **Redução de chamadas/rechamadas no *call center*:** este quesito foi analisado considerando os perfis de clientes chamadores, região e adimplência. Propostas para alteração do site/portal de atendimento foram feitas para facilitar o acesso aos serviços disponíveis e provocando um questionamento sobre a efetividade do canal na resposta aos anseios dos clientes. O sistema foi preparado para fazer o acompanhamento das ações que forem implementadas e garantir visibilidade de resultados e agilidade na indicação de possíveis correções de rumo;
- **Inovação:** foi buscada em cada elemento indicador agregado ao sistema, desde a granularidade de acesso a bairros, até a segregação por perfis de clientes, canais e serviços executados. O modelo analítico de grandes bases construído pode ser replicado para outras ferramentas analíticas, ampliando o acesso de especialistas e analistas a informações detalhadas de relacionamentos históricos, mapas estratégicos e tendências de atendimentos;
- **Ações ativas e ações reativas:** foram reiteradamente questionados os registros de ações efetivadas, resultantes de solicitações de clientes e como efetividade do relacionamento e da prestação de serviços da distribuidora. Foram feitos levantamentos de custos e indicadas condições de ociosidade de atendimento (com custos contratuais fixos estabelecidos com parceiros ou fornecedores) com possibilidades de pró-atividade operacional, seja no incentivo ao uso de mídias mais baratas (incentivo à geração de serviços via site da distribuidora) seja no atendimento a serviços específicos;
- **Efetividade da base de dados:** foram feitas considerações ao longo do projeto para a melhoria dos registros nas bases de dados da concessionária, via readequação de sistemas e processos de atendimento.

Partiu-se do quantitativo histórico de atendimento da distribuidora. A associação de indicadores (*KQI-Key Quality Indicator*) resulta no mapeamento dos KPI (*Key*

Performance Indicator), conforme Lavalle (2011), Palmenter (2015) e Alexander (2007), que estão sendo propostos. Neste momento, com a visão estrutural apresentada, foram organizados indicadores para auxiliar na identificação de situações de alerta e tendências, focados na granularidade regional, do ponto de vista de volumes e custos de atendimentos mensais. Numa evolução deste projeto, a visão operacional semanal, diária e em tempo real poderá ser obtida a partir do mapeamento e estruturação de processos (re) organizados.

As distribuidoras precisam fazer o reconhecimento dos custos, das implicações operacionais, das necessidades de mudanças de seus sistemas para as demandas de relacionamento e agregar as possibilidades e características advindas da disponibilidade e custos diferenciados em cada tipo de atendimento executado. Devem buscar a excelência neste atendimento bem como resultados de melhoria nas atividades de comunicação/relacionamento. Estas questões apresentadas refletem também as necessidades dos profissionais das distribuidoras de energia e, portanto, demonstram a abrangência da modelagem e estratégias realizadas.

Outro ponto importante a ser destacado é que este projeto faz parte da estratégia da empresa na preparação do novo cenário de redes inteligentes e no compromisso com a sua modernização no atendimento ao seu cliente, como apresentado em DOE (2015) e Gangale (2013). Criar ambientes de relacionamento que tragam a conveniência no uso da energia será o próximo passo. Deve-se oferecer aos clientes *insights* sobre como eles usam a eletricidade e como eles podem gerenciar ativamente o uso, de acordo com as suas prioridades, conforto e custos. As distribuidoras estão na melhor posição para ajudar os seus clientes a gerenciar seu uso de energia, e isso é exatamente o que os clientes querem. E este trabalho inicia a organização desta operação no entendimento das necessidades.

3 | METODOLOGIAS

Foi feita escolha pela metodologia CRISP-DM (*Cross-Industry Standard Process for Data Mining*) como orientativa para o desenvolvimento devido às características desta metodologia para o tratamento de organização de dados e aos seus princípios básicos: incentivar a interoperabilidade de ferramentas no processo de mineração de dados, desmistificá-lo e tornar simples as tarefas de tratamento da informação, conforme Chappman (2000), Shearer (2000, Clifton (2004) e Li (2004). Buscou-se com esta organização um processo padronizado, estruturado e didático para os profissionais analistas de negócio da distribuidora, que serão responsáveis pelas atividades operacionais. Este aparato metodológico permite:

- A replicabilidade de projetos;
- Apoio para o planejamento e gestão de projetos;
- Um fator de “conforto/direcionamento do como fazer” para aqueles que ini-

ciam no conhecimento de mineração de dados;

- Uma estruturação formal (metodológica) para o registro da experiência com a mineração, facilitadora para a equipe de analistas de negócios da distribuidora;
- Reduz a dependência de grandes especialistas;
- Incentiva as melhores práticas e ajuda a obter os melhores resultados.

A escolha desta metodologia para a modelagem também respalda a ferramenta analítica utilizada como apoio: SPSS Modeler (IBM, 2011). Estes procedimentos foram organizados na ferramenta como estrutura dorsal (estruturante), permitindo e direcionando a modelagem e a construção de soluções analíticas.

Assim a modelagem do atendimento, neste projeto, levou em conta:

- Modelos para segregação e quantificação na base de dados de consumo histórico de clientes, realizando arranjos para melhoria da operação segundo o perfil de consumo e questões regionais e locais (por exemplo problemas na rede detectados, inadimplências, atendimento no *contact center*, volume de atendimento nos postos de atendimento e mídias, etc.);
- Levantamento de amostras de inconsistência de registros nas bases;
- Análise de correlação das variáveis levantadas e padronização de indicadores;
- Consolidação das informações coletadas em modelos de indicadores;
- Avaliação de pesos para a clusterização, determinando variáveis de correlação com regiões da concessão;
- Determinação de sistemas e de mudanças estratégicas de ação de relacionamentos e comunicação (proposições de alterações em processos e formas de atendimento);
- Avaliação de sistemas de gestão da informação para a nova forma de apresentação de indicadores e preparado para tratar a grande quantidade de informações de atendimento registradas;
- Caracterização de custos operacionais e de ativos para atendimento deste modelo de operação;
- Caracterização de modelos e arranjos de indicadores para suporte à implantação estratégica de relacionamentos, mídias e serviços;
- Estratégias de apresentação de indicadores em um sistema de consolidação de situações críticas e de solução de problemas (históricos e preditivos).

A preparação dos dados e a organização para a modelagem exigiu todo o aparato de caracterização de big data, conforme Sathi (2013) e Soares (2012), com a criação

de um conjunto de índices que permitissem o acesso e categorização da informação original (bruta, primária) e a pré-compilação de consolidação. Assim, foi estruturada a fonte do conhecimento para ser usada de duas formas distintas:

- Base de análise gráfica para representar as tendências das necessidades de relacionamento do cliente, permitindo a visibilidade dos atendimentos históricos em sua melhor granularidade. Busca oferecer a visão do atendimento por região de atuação da distribuidora, cidade e bairro, com segregação de perfis e classes de consumo, o entendimento das tendências de canais de atendimento e serviços solicitados. Foram também adicionadas as condições de adimplência e a caracterização quantitativa e regionalizada de chamadas múltiplas realizadas pelos clientes na sua expectativa de atendimento. Foi desenvolvido um sistema de visualização gráfica dedicado a representatividade das condições históricas e sazonalidades.
- Base de referência estruturada para análises e modelagens específicas das condições de negócios, para uso dos analistas de negócio da distribuidora. Organiza as simulações de condições específicas de mudança de mídias de atendimento, custeio, organização de equipes e sistemas de suporte à demanda de relacionamento do cliente final. Foi desenvolvida para suportar ações e modelos de tendência, com o uso de uma ferramenta analítica pela equipe de analistas de negócio da distribuidora e permitindo outras atividades específicas de inteligência de mercado.

Desta forma, a exploração de serviços e atendimentos em canais específicos pela distribuidora pode ser estimulada, ampliada ou reduzida, com possíveis melhorias de seus custos operacionais. Para isto, uma visão detalhada do uso dos canais de relacionamento e serviços pelos clientes nas diversas regiões, cidades, bairros deve ser caracterizada (um exemplo da organização dos dados é apresentado na Figura 1). A realização, gestão e acompanhamento de campanhas especiais com base na realidade local pode ser mais assertiva do ponto de vista da fidelização e atendimento às expectativas dos clientes.

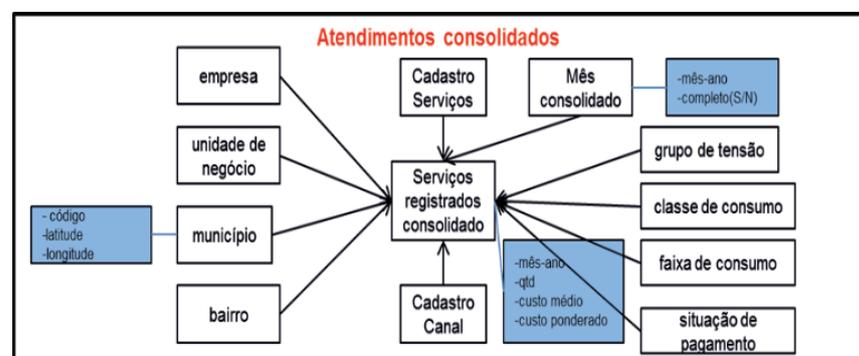


Figura 1 – Atendimentos consolidados

Com a visão estrutural apresentada, foram organizados indicadores para auxiliar

na identificação de situações de alerta e tendências, focados na granularidade regional e perfis de clientes, apresentando a quantidade de clientes atendidos, volumes e custos dos atendimentos mensais, semanais, diários e segundo a disponibilidade de informação, em tempo real. O uso de mapas para representar os resultados da criticidade/indicadores e alertas foi modelado, conforme a Figura 2. O resultado pode ser visto no mapa que representa alertas de criticidade de cidades de uma região da concessão da CPFL Paulista (Figura 3), segundo uma seleção de critérios sobre o modelo apresentado na Figura 1.

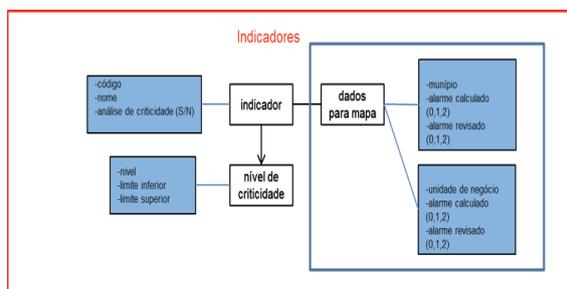


Figura 2 – Representação dos indicadores para os mapas do sistema

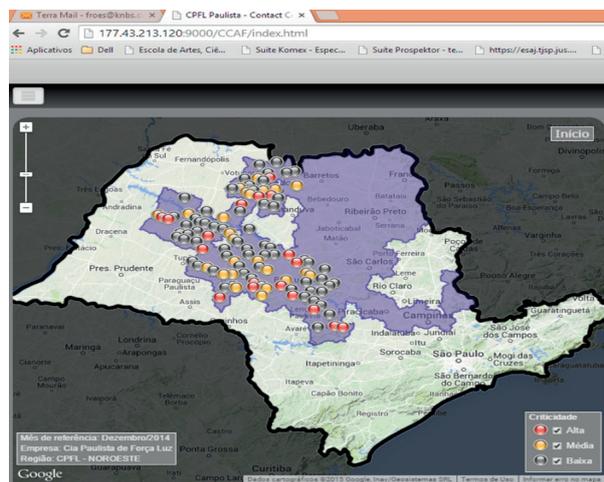


Figura 3 – Mapa da concessão CPFL Paulista, região Noroeste, com a criticidade (alertas) de volume de atendimento com relação a quantidade de instalações por cidade

4 | RESULTADOS E BENEFÍCIOS

Vale ressaltar que este estudo buscou preparar as condições de tratamento de grandes volumes de dados e processos necessários as bases de informação para suportar a evolução/tendências de relacionamento que virão com a implantação das redes inteligentes. Neste novo paradigma de estruturas de redes e recursos de controle da operação, serviços novos e detalhamento de informações de consumo poderão ser oferecidos aos clientes. Sistemas, formas de acesso, controle e organização da comunicação deverão ser exercitados de forma muito mais ampla. A preparação desta etapa de relacionamento deve ser feita com a simplificação dos atendimentos atuais, no entendimento das necessidades e serviços disponibilizados e quantificação dos

recursos envolvidos (custos e tempos de respostas). A demanda de serviços a serem realizados de forma não automática também deve ser minimizada, precisando para isto de readequação constante dos sistemas para atender a dinâmica de exigências do mercado.

A realização, gestão e acompanhamento de campanhas especiais com base na realidade local (regional) pode ser mais assertiva do ponto de vista da fidelização e atendimento às expectativas dos clientes. E a grande dificuldade de acompanhamento de seus resultados está facilitada pela visão pontual permitida no sistema. Dois exemplos de resultados evidenciam as condições apresentadas: O primeiro, relacionado com a efetividade regional do envio de SMS para alertar situações de interrupção do fornecimento e a previsão de volta da energia, considerando o comportamento passado de atendimento no call center humano para esclarecimentos de tempo de retorno do serviço. Outro exemplo de campanhas de relacionamento efetivo está relacionado com alertas enviados via SMS e e-mail para clientes que tiveram aumento de consumo superior a 20% (limite estabelecido), com dicas de melhores práticas para o uso consciente da energia, sem ferir o conforto individual.

Em sua essência, este trabalho foi realizado através da construção de modelos acopladores, levando-se em consideração a natureza multidisciplinar das questões de relacionamento com o cliente e suas (2010). A partir das necessidades do cliente, um ambiente sinérgico foi criado envolvendo:

- gerência de atendimento, com ênfase na dualidade de serviços solicitados por canais de relacionamento mais efetivos,
- comunicação e marketing, na construção de formas de comunicação eficazes e interferindo na usabilidade dos canais de relacionamento,
- gestão de sistemas de dados em grande volume e sistemas CRM (*Customer Relationship Management*), atentando para a inserção de processos inovadores com big data na construção de modelos implementáveis,
- regulação, buscando ampliar, com novos critérios a qualidade dos serviços realizados no atendimento ao cliente,
- mídias de atendimento, sistemas de telecomunicações e internet, novamente reforçando a usabilidade e acessibilidade (como acessar o cliente de forma mais efetiva),
- financeiro, reconstruindo modelos de custos e valorando os serviços realizados,
- sistemas analíticos e de datamining para organização de indicadores e correlação de indicadores, promovendo a visibilidade regional (no nível de bairro) das condições de atendimento e da criticidade do atendimento,
- estatística e matemática para responder pelas tendências e previsões, e

preparando o ambiente para de análise de correlação de eventos,

- além de questões ligadas a neurolinguística e de psicologia (voltadas ao entendimento de expectativas de clientes para resolver/comunicar suas necessidades de serviços).

Algumas questões muito importantes precisam ser pontuadas na organização para os resultados buscados, base para a pesquisa:

I. Indicadores representativos de uma operação Este trabalho buscou trazer a luz esta possível situação de distorção local, reforçando sempre a análise regional (no nível das concessões do grupo) e chegando a granularidade de indicação das condições de relacionamento até o nível de bairro (são 23.548 bairros em 574 municípios nas 8 concessionárias do grupo CPFL). Indicadores regionais e condições de criticidade foram propostos para representar as condições da operação e níveis de alerta foram gerados com patamares de criticidade que se julgaram inicialmente adequados. Esta adequação de criticidade local x condições de atendimento precisa ser exercitada com mais intensidade, buscando alertas representativos durante a operação mensal/semanal/diária;

II. A dualidade serviços solicitados pelos clientes x canal de relacionamento utilizado foi bastante exercitada durante o projeto com as equipes da concessionária, buscando reforçar a necessidade de maior interatividade departamental no entendimento do que, onde e porque o cliente busca atendimento. No mundo contemporâneo, canais virtuais de atendimento devem ser mais reforçados, permitindo que o cliente encontre de forma eficiente e completa as informações contratuais, financeiras e administrativas de seus serviços prestados e possa solicitar novos serviços;

III. Ainda na questão da dualidade de serviços x canais de atendimento, foi fortemente reforçada a questão da **qualidade do atendimento voltada para a solução das expectativas do cliente**, na busca de efetividade de resposta. Foram comprovados os custos de não antecipar o cliente em suas necessidades e de respostas incompletas ou deficientes, com o cliente recorrentemente utilizando os canais de atendimento e gerando *overhead* operacional;

IV. A consistência e a qualidade dos dados dos sistemas existentes bem como a **carga/compartilhamento de dados de registros de serviços** são pontos bastante relevantes neste trabalho;

V. As situações de **tratamento de dados como *big data*** foram exercitadas na construção dos modelos analíticos e de metodológicos, e resultaram na performance inicial muito atrativas, principalmente para tratamento da grande granularidade, indicadores e clusterização de clientes permitida no sistema. Outras situações de incorporação de mídias e dados climáticos regionais, por exemplo, deverão ser exercitadas futuramente e enriquecerão resultados, eficácia e previsibilidade de recursos para atendimento ao cliente;

VI. Devido a complexidade dos indicadores iniciais propostos (**KPI – Key Performance Indicator**), o projeto focou na construção de modelos que os pudesse representar, externalizar, comparar, criticar e gerar alertas operacionais. Diversos trabalhos de tendências destes indicadores e a correlação entre eles, chamada de indicadores chaves de qualidade (KQI – Key Performance Quality) precisam ainda ser exercitados. **Este projeto focou na estruturação (modelos organizacionais) para o tema de relacionamento do cliente.** O exercício deste tema, entretanto, em sua profundidade possível pode e deve ser continuado.

VII. O uso de **sistemas analíticos e preditivos** foi exercitado durante o projeto e iniciada a formação de analistas de negócios da concessionária voltados ao uso de tais sistemas que fornecem subsídios para interpretação de situações especiais e complexas, e ocorrências críticas operacionais e de relacionamento. O sistema analítico demanda, primeiramente uma modelagem estruturada do ambiente de análise. Este modelo foi criado e a formação técnica preparada;

VIII. Houve, durante o projeto, a preocupação constante com a **disseminação de resultados** parciais, tanto do ponto de vista acadêmico (com publicações internacionais) como de resultados e potenciais resultados na operação/forma de operação. Assim, foram organizadas reuniões com as equipes envolvidas no relacionamento específico em análise. Isto foi enriquecedor para o projeto e para as equipes na reavaliação de seus procedimentos internos;

IX. Uma **campanha demonstrativa de possibilidades de relacionamento**, relacionada com o comportamento de consumo do cliente, foi elaborada e aplicada num grupo de avaliação. Foram contactados clientes de uma região com aumento de consumo superior a 20% se comparado com o consumo médio de seus 6 meses anteriores. Eles foram alertados deste aumento via SMS e/ou e-mail, contendo dicas de economia de energia;

Reitera-se que este trabalho iniciou o processo de reconhecimento do cliente como decisor da melhor forma de ser atendido e da oferta de condições de atendimento adequadas às suas necessidades. Do ponto de vista da operação, o reconhecimento dos serviços solicitados em cada canal de atendimento e a melhoria do entendimento das expectativas dos consumidores/clientes faz e fará a diferença no relacionamento. As atividades de análise realizadas contribuíram para melhorias de sistemas mais amigáveis e formas de registro e contabilização das solicitações dos clientes de forma precisa.

Resume-se que muito foi desenvolvido neste trabalho/projeto voltado a um espaço metodológico complexo e a comprovação de resultados aplicados, utilizando-se o estado da arte em organização de dados *big data*, em aplicação de técnicas de relacionamento preconizadas para o atendimento especializado do cliente em sua multidisciplinariedade de necessidades. Todo este esforço se converteu em uma mudança na postura de atendimento ao cliente, na busca por formas de relacionamento mais eficazes e na avaliação de necessidades do cliente de forma preditiva. A construção de modelos

históricos permitiu o entendimento da postura de relacionamento e a base para as mudanças para pró-atividade, construindo condições para reações a momentos críticos ou situações críticas de forma mais efetiva. A evolução para sistemas com carga de dados mais próxima de tempo real abre margem para uma preparação de atendimentos e prestação de serviços em ambiente de *smart grid*, onde a dinâmica da operação poderá ser exercitada em seus limites.

5 | CONCLUSÕES

Este trabalho propiciou um novo processo de reconhecimento do cliente como decisor na escolha e contratação de serviços, preparando caminhos para o novo momento de relacionamento advindo com smart grid (Gangale, 2013) nas empresas de energia, requerendo a gestão de produtos/serviços novos na rede e uma comunicação diferenciada com este comprador e suas necessidades (Kotler, 2010). Buscou-se reestruturar o modelo de atendimento e da oferta de condições de atendimento adequando (ou apontando) às necessidades específicas do cliente e das características regionais. Do ponto de vista da operação, o reconhecimento dos serviços solicitados em cada canal de atendimento e a melhoria do entendimento das expectativas dos clientes/consumidores faz e fará a diferença no relacionamento. As atividades de análise realizadas contribuíram para a evolução de sistemas mais amigáveis e formas de registro e contabilização das solicitações com maior precisão.

A associação de indicadores (KQI) (Parmenter, 2015) iniciada na dinâmica da operação complementa os resultados dos mapeamentos dos KPI baseados em volume e custos de atendimento regionais. Neste momento, foram organizados indicadores adicionais para auxiliar na identificação de situações de alerta e tendências, focados na granularidade regional (visão de municípios e bairros) e nos perfis dos clientes (classe de consumo, faixas de consumo ou de tensão e adimplência). As análises de tendência histórica para volumes e custos foram construídas com base em atendimentos mensais. Para a dinâmica operacional, a visão semanal, diária e em tempo real foi preparada.

Estes novos recursos foram disponibilizados para os analistas de inteligência de negócios para análise dos relacionamentos com os clientes (LaValle, 2011). Os focos iniciais das atividades foram a avaliação das expectativas não atendidas apresentadas pelos clientes que os leva a realizar chamadas múltiplas para a solução de seus problemas e o reforço do relacionamento em caso de inadimplência. Estes problemas são recorrentes e de alto custo para a concessionária, portanto, especial atenção tem sido dada ao status de adimplência do cliente com a distribuidora e a efetividade dos registros das chamadas, além das questões operacionais relacionadas com os tempos para a execução dos serviços solicitados. As variáveis de representatividade do relacionamento estão sendo correlacionadas com os registros de serviços executados, regiões e condições climáticas para um entendimento dos perfis comuns e dos serviços

demandados ou estimulados por campanhas da concessionária.

Os clientes do grupo A, grandes clientes, segundo a nomenclatura da ANEEL, estão com critérios específicos de análise, voltados a agilidade na prestação dos serviços e canais de relacionamento que permitam ao cliente maior agilidade para verificar e propor alterações em seus contratos, simplificando ao máximo as interações com a concessionária.

Do ponto de vista de fragilidades da rede frente a problemas climáticos e falhas, outra frente de avaliações está sendo gerada, baseada, principalmente no reconhecimento das regiões de maior demanda de atendimento e as tendências apresentadas. Busca-se maior eficácia com envio de SMS para alertar sobre a indisponibilidade e tempo de retorno do serviço. A análise desta situação é evidenciada nas funcionalidades disponibilizadas no sistema.

As variáveis de custo estão sendo amplamente reavaliadas neste momento pela distribuidora, garantindo uma maior visibilidade e precisão financeira para as condições de eficiência da operação.

Ressalta-se o ineditismo das análises, considerando a visibilidade e granularidade dos indicadores para representar a comunicação com o cliente, que permitem a aproximação das condições de relacionamento com as regiões, cidades e bairros que apresentam necessidades específicas, até o reconhecimento das demandas específicas e comuns de perfis de clientes para concessionárias de energia no Brasil. As demandas e ofertas de serviços futuros de relacionamento com smart grid, como mencionado, devem passar por este caminho, trilhando associações de big data pelas bases de registro de atendimento da distribuidora e gerando condições de atuação rápida e eficiente nos momentos de criticidade da operação e suporte para novas oportunidades de negócio (DOE,2013).

A evolução deste trabalho está diretamente relacionada com a dinâmica da operação e das necessidades de comunicação com o cliente. Os primeiros passos foram dados para a geração de um modelo de organização da efetividade do relacionamento.

REFERÊNCIAS

Alexander, J., **Performance Dashboards and Analysis for Value Creation**, John Wiley & Sons Inc., 2007, Hoboken, New Jersey

ANEEL, **Direitos e Deveres do Consumidor de Energia Elétrica – Resolução Normativa no.414/2010 – Condições Gerais de Fornecimento** (atualizada até a REN 499/2012), 302 pp disponível em http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/REN_414_2010_atual_REN_499_2012.pdf acessado em 08/Fev//2016

Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C. and Wirth, R. **CRISP-DM 1.0 - Step-by-Step Data Mining Guide**, 2000, disponível em <https://the-modeling-agency.com/crisp-dm.pdf>

Clifton, C. (2004) **Introduction to Data Mining**. *Purdue University*., disponível em

<http://www.cs.purdue.edu/homes/clifton/cs490d/Process.ppt>

CPFL, **Relatório Anual, 2014**, 71 pp, disponível em <http://www.cpfl.com.br/institucional/relatorio-anual/Documents/RA-8-cpfl-2014.pdf> , acessado em 23/Nov/2015

Gangale, F., Mengolini, A. and Onyeji, I., **Consumer Engagement: an insight from smart grid projects in Europe**, *Energy Policy*, volume: 60, September, 2013 – p 621-628

IBM SPSS Modeler CRISP-DM Guide, 2011, disponível em

ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/modeler/14.2/en/CRISP_DM.pdf

Kotler, P., Kartajaya, H. and Setiawan, I. , **Marketing 3.0 – From products to customers to the human spirit**, John Willey E Sons, Inc., 2010 – 189 pp.

LaValle, S.; Lesser, E.; Shockley, R.; Hopkins, M.I S; Kruschwitz, N.. **Big Data, Analytics and the Path From Insights to Value**, *MIT Sloan Management Review* 52.2 (Winter 2011):p 21-32.

Li, Y. ,**CRISP-DM.**, 2004, disponível em

http://paginas.fe.up.pt/~ec/files_0405/slides/02%20CRISP.pdf

Parmenter, D. **Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPIs**. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 2015, 236 p.

Sathi, A., **Big Data Analytics, Disruptive Technologies for Changing the Game**. 2nd Edition, MC Press Online,2013, 73 p.

Shearer, C., **The CRISP-DM Model: The New Blueprint for Data Mining**. *Journal of Data Warehousing*, 5,13-22, 2000

Soares, S, **Big Data Governance—An Emerging Imperative**. MC Press Online, 2012, 342 p.

US.Department of Energy, DOE – **Voices of Experience – Insights on Smart Grid Customer Engagement**, Office of Electricity Delivery & Energy Reliability, 2013, 49 pp, disponível em https://www.smartgrid.gov/files/VoicesofExperience_Brochure_9.26.2013.pdf , acessado em 23/Nov/2015

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

