

REVISTA de P&D

7ª Edição - 2017 - ISSN 1981-9803

Nesta Edição

- Um novo marco regulatório
- A ruptura do paradigma tecnológico
- Projetos selecionados



Revista de P&D

Pesquisa e Desenvolvimento

Expediente

Diretoria

Romeu Donizete Rufino (Diretor-Geral)

Diretores

André Pepitone da Nóbrega

Reive Barros dos Santos

José Jurhosa Júnior

Tiago De Barros Correia

Supervisão técnica

Ailson de Souza Barbosa - Superintendente (SPE)

Renato Braga de L. Guedes - Superintendente Adjunto (SPE)

Comitê técnico de avaliação

André Melo Bacellar (SPE)

Aurélio Calheiros de Melo Junior (SPE)

Carlos Eduardo Barreira Firmeza de Brito (SPE)

Carmen Silvia Sanches (SPE)

Douglas Caldas da Silva (SPE)

Elton Mario de Lima (SPE)

Fábio Maya Cavalcante (SPE)

Fábio Stacke Silva (SPE)

Fernando Campagnoli (SPE)

Jorge Roberto Sanches (SPE)

Lucas Dantas Xavier Ribeiro (SPE)

Márcio Venício Pilar Alcântara (SPE)

Edição

Everton Luiz Antoni (SCR)

Projeto Gráfico

Alexandre Alves Marques (SCR)

Produção

André Melo Bacellar (SPE)

Aurélio Calheiros de Melo Junior (SPE)

Carmen Silvia Sanches (SPE)

Lucas Dantas Xavier Ribeiro (SPE)

Revisão

Everton Luiz Antoni (SCR)

André Melo Bacellar (SPE)

Aurélio Calheiros de Melo Junior (SPE)

Carmen Silvia Sanches (SPE)

Lucas Dantas Xavier Ribeiro (SPE)

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

SGAN 603 Módulos I e J

Brasília (DF) - CEP: 70.830-110

CNPJ 02.270.669/0001-29

Dúvidas, sugestões e comentários:

speped@aneel.gov.br

Read the articles in English at ANEEL website

www.aneel.gov.br

Catálogo na Fonte
Centro de Documentação - CEDOC

Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL :

P&D / Agência Nacional de Energia Elétrica – n. 1 (2006) – Brasília : ANEEL, 2006 –

v. ; 30 cm

Anual: 2006-2007. Bienal, 2007-

Número, substituído por edição: 7ª ed. (2017) - ISSN 1981-9803

1. Programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico - Periódicos. 2. Pesquisa e desenvolvimento. 3. Setor elétrico - Brasil. I. Agência Nacional de Energia Elétrica. II. Título.

Mensagem da Diretoria

Promover a inovação tecnológica em setores regulados, como o de energia elétrica, é um dos desafios do Estado, que tem cada vez mais um papel de regulador e indutor do mercado, e não mais de provedor de bens e serviços, tal como foi no passado. Nesse cenário, a ausência de competição direta entre concessionários ou permissionários de serviços públicos pode representar uma barreira natural à inovação tecnológica. Cabe ao Estado, então, criar políticas públicas de fomento à inovação nesses setores, de modo que os agentes de mercado prestem um serviço que atenda plenamente às demandas e necessidades dos usuários, nos termos da Lei nº 8987, de 13 de fevereiro de 1995, que dispõe sobre o regime de concessão para a prestação de serviços públicos no Brasil.

No caso do setor elétrico brasileiro, a principal política pública de estímulo à inovação tecnológica decorre da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, a qual estabelece que as concessionárias, permissionárias e agentes autorizados para produção independente de energia elétrica devem realizar investimentos mínimos em pesquisa e desenvolvimento, conforme regulamento da ANEEL. Desde então, a Agência vem atuando para que os recursos previstos em lei sejam aplicados da melhor maneira possível, com vistas a reduzir a dependência tecnológica do setor e melhorar a qualidade dos serviços prestados.

Nesse sentido, o objetivo norteador do Programa de P&D da ANEEL consiste em alocar adequadamente recursos humanos e financeiros em projetos que demonstrem a originalidade, aplicabilidade, relevância e a viabilidade econômica de produtos e serviços relativos aos processos e usos finais de energia. Busca-se, dessa forma, promover a cultura da inovação, estimulando a pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico brasileiro, criando novos equipamentos e aprimorando a prestação de serviços que contribuam para a segurança do fornecimento de energia elétrica e a modicidade tarifária, bem como para a diminuição do impacto ambiental do setor e da dependência tecnológica do país.

A publicação desta 7ª edição da Revista de P&D reforça, uma vez mais, o constante compromisso da ANEEL com a transparência e a busca da inovação, para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade, conforme estabelecido na missão institucional da Agência.

Boa leitura!

Revista de P&D – 7ª Edição

A primeira edição desta revista foi publicada em agosto de 2006, quando foram apresentados os resultados de uma amostra de 51 projetos realizados por várias empresas de energia elétrica, de todas as regiões do país, em vários temas e áreas do conhecimento. Essa amostra de projetos dava um panorama do que tinha sido feito desde o primeiro ciclo de investimentos compulsórios em P&D (1998/1999), incluindo impactos no setor de energia elétrica e benefícios para a sociedade, segundo os resultados dos projetos realizados e a visão de representantes dos agentes regulados.

Até aquele momento, cerca de R\$ 900 milhões, em valores correntes, haviam sido investidos em mais de dois mil projetos realizados, a maioria no segmento de distribuição. O principal desafio era ultrapassar a fase dos estudos e protótipos e caminhar na direção de produtos que contribuíssem, efetivamente, com a melhoria na qualidade dos serviços prestados pelas empresas e impactassem, positivamente, a vida do consumidor. Para isso, foi necessário aprimorar a articulação entre os vários atores envolvidos e criar mecanismos de incentivo à realização de projetos com maior conteúdo tecnológico e potencial de mercado. Era preciso inovar também na forma de gestão dos recursos destinados à inovação tecnológica no setor de energia elétrica.

Sinais claros nessa direção foram dados no início de 2007, quando a ANEEL decidiu criar uma superintendência específica para cuidar dos programas de P&D e eficiência energética das empresas de energia elétrica.

Além de divulgar os resultados de mais 25 projetos selecionados, a segunda edição da Revista apresentou a opinião de especialistas do setor elétrico sobre o momento em que vivia o Programa de P&D Regulado pela ANEEL, e suas expectativas em relação às mudanças propostas.

A terceira edição foi lançada em agosto de 2009, em Belém-PA, durante a quinta edição do Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (Citenel), quando foram publicados os resultados de 30 projetos selecionados, destacando-se a área de supervisão, controle e proteção de sistemas elétricos. Nessa edição, os artigos técnicos foram publicados em formato científico, para assegurar a precisão do conteúdo de cada projeto realizado. Foi apresentada ainda nessa edição a visão de algumas áreas técnicas da ANEEL sobre os desafios e perspectivas da inovação tecnológica no setor de energia elétrica.

A quarta edição foi publicada em agosto de 2011, durante a sexta edição do Citenel, quando foram publicados os resultados de mais 30 projetos realizados e a visão de alguns especialistas sobre o papel da indústria nesse contexto, e a importância de parcerias estratégicas com empresas de

energia elétrica. Percebem-se nesse momento avanços importantes e impactos das mudanças e aprimoramentos realizados em 2007. A quinta edição foi lançada em agosto de 2013, no Rio de Janeiro, durante a sétima edição do Citenel. Além de publicar os resultados de mais 30 projetos selecionados, essa edição deu ênfase à maturidade alcançada pelo Programa de P&D Regulado pela ANEEL, evidenciada por meio da evolução dos projetos e da aplicabilidade dos resultados alcançados. Destaque à parte mereceram as Chamadas de Projetos Estratégicos, as quais procuram direcionar recursos para projetos de maior complexidade e relevância para o setor.

A sexta e última edição da Revista foi lançada em agosto de 2015, durante a oitava edição do Citenel, na Costa do Sauípe, litoral norte da Bahia. Uma vez mais foram publicados os resultados de 31 projetos selecionados pelo Comitê Técnico de Avaliação, que deu prioridade aos projetos com maior potencial de aplicação prática e inovação no setor. Também foram publicados nessa edição artigos técnicos sobre cooperação e parceria para a inovação no setor elétrico e desafios para a prospecção tecnológica no setor de energia elétrica, bem como a visão e a experiência de duas instituições britânicas sobre mecanismos de promoção da inovação em setores regulados.

Esta edição, além de publicar os resultados de 23 projetos selecionados pela Comissão Técnica de Avaliação, apresenta a visão de especialistas sobre os desafios e as perspectivas da inovação no setor de energia elétrica. Entre os temas ou assuntos abordados nesta edição estão os trabalhos de prospecção tecnológica (estágio atual e expectativas), os impactos do Programa de P&D Regulado pela ANEEL e os esforços na busca de cooperação e na formação de parcerias estratégicas para a inovação no setor de energia elétrica.

Entre os desafios na implementação dessa política pública de promoção da inovação no setor elétrico brasileiro estão a consolidação desse processo como estratégia de negócio das empresas e o reconhecimento da efetividade desses investimentos por parte dos consumidores de energia elétrica, visto que isso é financiado por meio de encargo tarifário.

Nesta edição da Revista, 23 foram os projetos escolhidos para a publicação. Esses trabalhos abordam 11 temas diferentes: Gestão de Bacias e Reservatórios, Supervisão, Controle e Proteção de Sistemas de Energia Elétrica, Medição, Faturamento e Combate a Perdas Não Técnicas, Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica, Qualidade e Confiabilidade dos Serviços de Energia Elétrica, Meio Ambiente, Fontes Alternativas, Operação de Sistemas de Energia Elétrica e Segurança das Pessoas e das Instalações.

Sumário

Artigos

- 9. Por um novo marco regulatório para o P&D ANEEL
- 12. A ruptura do paradigma tecnológico e os desafios regulatórios do Setor Elétrico

Projetos Selecionados

- 16. Desenvolvimento de sistema óptico de monitoração integrado, em tempo real e de multiparâmetros para barragens
- 20. Estudos sobre detecção de descargas parciais por emissão acústica como técnica preditiva em transformadores de potência
- 25. Identificação de falhas e derivações em cabos subterrâneos de distribuição em BT energizado
- 31. Desenvolvimento de metodologia para planejamento integrado eletroenergético da região nordeste
- 36. Sistema de análise e gerenciamento de indicadores de qualidade de energia
- 42. Aproveitamento de resíduos gerados na CPFL
- 46. Geração de eletricidade a partir da biodigestão da vinhaça
- 50. Transformador móvel de alta densidade de potência para tráfego sem licença especial
- 54. Modelagem estratégica para a caracterização das condições de antecipação do atendimento ao cliente para a melhoria operacional e de serviços
- 58. Plataforma virtual interativa para capacitação de eletricitas em subestações
- 62. Dispositivo microcontrolado para detecção de aterramento móvel temporário (AMT) instalados em subestação
- 66. Sistema especialista para monitoramento online de ruídos em transformadores de transmissão para identificação de defeitos elétricos
- 70. Impactos da implantação e manutenção das emendas à compressão na confiabilidade de linhas de transmissão aéreas
- 74. Metodologia eficiente para coordenação ótima de relés de sobrecorrente direcionais em sistemas elétricos malhados
- 80. Diagnóstico inteligente de transformadores de transmissão utilizando resultados advindos de diversos tipos de ensaios experimentais
- 86. Sistema colaborativo de busca de anterioridade e apoio à redação de patentes
- 90. Sistema de identificação de ocorrências em SEPs a partir de múltiplas fontes de dados
- 94. Desenvolvimento de protótipo de sensor interferométrico multimodal de fibra óptica para detecção de descargas parciais em transformadores e reatores de potência
- 98. Análise de dados de campanhas de medição de emissões e remoções de gases de efeito estufa em aproveitamentos hidrelétricos no Brasil
- 102. Avaliação do impacto de veículos elétricos no sistema de distribuição
- 107. Evolução da rede convencional para uma ção pré-smart grid: implantação de medição inteligente na CELG-D
- 111. Sistema híbrido de geração de energia elétrica modular para atendimento de regiões remotas a partir de Fontes renováveis
- 114. Gestão ambiental apoiada por sistemas de informação

E-ANEEL

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Programa de Pesquisa e Desenvolvimento - P&D



Artigos

Por um novo marco regulatório para o P&D ANEEL

Sergio Salles-Filho

Professor Titular do Departamento de Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências da Unicamp

O Brasil vem, há cerca de 50 anos, lutando para ampliar a geração de bens e serviços inovadores, principalmente daqueles que têm origem em atividades de pesquisa e desenvolvimento.

O acrônimo PDI – pesquisa, desenvolvimento e inovação – começou a ser formalmente empregado no país no início dos anos 2000, embora o desejo explícito de transformar conhecimento científico e novos artefatos tecnológicos em bens e serviços já estivesse presente nas políticas do país desde o primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento, na década de 1970.

Naquele documento, como nos que o sucederam desde então, fala-se em produzir conhecimento científico no país para o benefício e a independência da sociedade brasileira. Desde então, as políticas e programas têm sido muitas e variadas, tão variadas que mesmo se quiséssemos listá-las não caberiam nas poucas páginas deste manuscrito.

Para o argumento que aqui se pretende apresentar, basta lembrar que o objetivo de ligar ciência, tecnologia e inovação, e que isto se transforme em benefício para a sociedade, não sai de pauta há mais de meio século. Creio que só deverá sair da pauta no dia em que não for mais preciso bater nessa tecla, seja porque finalmente teremos ligações orgânicas entre PDI, seja porque desistiremos dessa via e descobriremos outras mais eficazes.

Enquanto isso, o tema continua vivo e, assim, permito-me abordá-lo para discutir o P&D ANEEL no contexto do setor elétrico brasileiro.

Por que fazer isso? Porque está mais do que na hora de mudarmos de patamar. Defenderei, nesse curto espaço, a ideia de que o programa atingiu seu limite de possibilidades

e de que precisa de um novo marco regulatório para ampliar seus impactos no setor e na sociedade.

A lógica de que é preciso ter P&D para ter inovação, já se sabe, não respeita caminhos lineares, nem segue ordenamentos muito claros. Ao mesmo tempo, é fato que uma coisa tem a ver com a outra. São reinos diferentes, mas que se cruzam, se alimentam, embora não muito miscíveis. Vou aqui analisar três pontos que são normalmente levantados para explicar as dificuldades que países e setores enfrentam para gerar inovação a partir da P&D. São os seguintes: a) insuficiência – em termos de volume e persistência no tempo - de recursos financeiros, humanos e materiais; b) dificuldades de comunicação e interação entre os agentes típicos da pesquisa (centros de pesquisa, universidades) e os agentes empreendedores (empresas); c) falta de motivação para inovar nos agentes empreendedores.

Para sermos justos, esses três pontos possivelmente estão presentes em diferentes níveis e em diferentes situações e, de fato, ajudam a explicar porque alguns setores, regiões e empresas inovam mais que outros.

Uma rápida análise do esforço de PDI no setor elétrico brasileiro mostra que a insuficiência e a persistência de recursos financeiros para PDI e a interação entre os agentes não se configuram como problemas principais. Senão, vejamos.

Desde o início dos anos 2000 o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, implantado e gerenciado pela ANEEL, tem sido a principal fonte de financiamento para PDI no setor no país. Alguns números ajudam a entender essa afirmação¹.

1 - Usamos dados obtidos em abril de 2017 na página da ANEEL no endereço : <http://www.aneel.gov.br/pt/programa-de-p-d> > Gestão do Programa

Computando os investimentos feitos a partir de 2008, quando se estabeleceu um novo marco regulatório do P&D ANEEL, e até 2016, este programa levou a investimentos de cerca de 3 bilhões de reais, uma média de mais de 330 milhões de reais por ano, ou algo equivalente a um terço do recurso do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico contratado e liquidado na média anual do período de 2001 a 2016². Equivalente a esse montante apenas o da Lei de Informática, que também obriga (sob diferentes condições) as empresas do setor a aplicar percentual de seu faturamento em P&D.

Uma rápida análise na planilha de projetos disponibilizada pela ANEEL aponta os seguintes números: 1391 projetos contratados naquele período (apenas os que aparecem na planilha com interesse na execução), sendo 103 destes enquadrados no âmbito de chamadas de P&D Estratégico promovidas pela Agência. O valor médio do total dos projetos contratados no período de 2008 a 2016 foi de R\$2,2 milhões; já o dos projetos estratégicos foi de R\$19 milhões (de um total de cerca de 1,2 bilhão de reais aplicados nos projetos estratégicos). Tanto num caso como no outro estamos falando de valores médios elevados sob quaisquer comparações com programas e políticas nacionais e internacionais.

Tomando a participação dos projetos por segmento GTDC, mais de 50% são alocados na distribuição e outros 33% na geração. Já na divisão dos projetos por fase da cadeia, mais de 85% são classificados como pesquisa aplicada (55%) ou desenvolvimento experimental (30%). Em terceiro lugar vem projetos de pesquisa básica, com 8% dos projetos. As fases de cabeça de série, lote pioneiro e inserção no mercado respondem pelos 7% restantes.

Com esses números, pode-se dizer que volume e persistência de aplicação de recursos – nosso primeiro ponto acima mencionado – não parece ser o problema do setor. Há recursos em volume e valores médios bastantes apreciáveis, além de ser um programa continuado, já com 16 anos de investimentos.

Examinando o segundo ponto levantado, o das dificuldades de interação e comunicação entre empresas e centros de

pesquisa e universidades, que por desconexões típicas resultantes de mundos, etos e comportamentos diferentes, seria – segundo incontáveis e respeitados autores – um obstáculo à inovação, também não parece ser o caso (ou pelo menos não deveria ser).

Em primeiro lugar, porque o demandante dos projetos de P&D, neste caso, são as empresas, obrigadas a apresentar programas próprios de PDI e a investir valores substantivos em pesquisa e inovação anualmente. Ao contrário do que ocorre na maioria das fontes de financiamento para P&D e inovação no país, nas quais os projetos não se originam nas empresas, no P&D ANEEL a demanda pode partir exclusivamente delas – respeitadas as temáticas estratégicas definidas pela ANEEL.

Ainda que problemas de relacionamento possam ocorrer – e de fato ocorrem – este definitivamente não poderia ser um fator limitante crítico para transformar pesquisa em inovação.

Sobra-nos então o terceiro ponto acima mencionado, o da falta de motivação para inovar dos agentes empreendedores (leia-se, empresas). Inovação, do ponto de vista da lógica econômica, ocorre por necessidade, oportunidade ou ambos. Na visão proposta por J. Schumpeter na primeira metade do século XX, ambos fatores se misturam e, juntos, creditam à inovação o extraordinário e incansável dinamismo da economia capitalista.

Quando nem um fator nem outro estão presentes (nem competição, nem oportunidades), não há razão forte o suficiente para levar empresas a inovar, pelo menos não como necessidade estratégica. No máximo ocorrerão eventos esporádicos, aqui e acolá, mas jamais será criado um dinamismo setorial. Esse, possivelmente, é o caso do setor elétrico no Brasil (e de boa parte dos demais setores também).

Tratando-se de um setor de quase monopólio natural, no qual investimentos pesados e de longo prazo precisam contar com mecanismos de controle de mercado, concorrência não é exatamente um fator que mova empresas na direção de inovações. Exceto se a forma

2 - O FNDCT é gerenciado pela FINEP e aporta recursos para todas as áreas do conhecimento e todos os setores da economia.

de regular preços nesse setor permitir diferenciais de apropriação de excedentes por parte das empresas, como por exemplo aqueles obtidos em decorrência de ganhos de produtividade e de inovações de processos e de outros tipos semelhantes. Se nem isto está presente, então sobra apenas a obrigação.

Arrisco dizer que a regulação do P&D deste setor no Brasil estabeleceu um mecanismo perverso que, se não trava a inovação, também não a estimula. A regulação do P&D ANEEL deu espaço ao paradoxo da escassez na abundância: morre-se de sede em frente ao mar. Em outras palavras, a abundância de recursos para PDI não encontra motivação por inovação dentro das empresas.

Os mecanismos de controle de preços (dentre eles o de modicidade tarifária), da forma como estão estabelecidos, acabam atuando como freio à inovação: sem motivação de apropriação diferenciada sobre os ganhos da inovação (refiro-me aqui às inovações que alteram os preços relativos para as empresas, de processos e de produtividade, por exemplo) não há estímulo Schumpeteriano fundamental (seja de oportunidade ou competição) e o tema da inovação jamais se estabelecerá como prioritário ou estratégico.

A inovação por obrigação legal é um caminho limitado, coloca o risco regulatório acima do risco de se inovar, numa flagrante inversão da lógica da inovação em economias de mercado.

Essa situação excêntrica influencia os dois outros pontos já discutidos: a limitação de recursos e a interação com as organizações de pesquisa. Explico.

A falta de estímulo de mercado para uma empresa inovar faz com que ela limite seus recursos para PDI mínimo necessário. Refiro-me aqui não apenas aos recursos financeiros, mas principalmente aos recursos humanos e materiais. As empresas GTD têm muito baixo investimento interno em P&D, têm poucos laboratórios e pesquisadores. As estruturas internas de PDI são, como regra geral, minimalistas. Em decorrência, as interações com as organizações contratadas para realizar o P&D serão também limitadas.

A ANEEL tem feito um trabalho excepcionalmente bom na gestão do P&D, fazendo cumprir os marcos legais de forma atenta e criando mecanismos que não só facilitam o trabalho das empresas, mas também dão direcionamento sobre o que é prioritário para o país na PDI do setor.

Entretanto, já temos evidências mais que suficientes para se instituir um marco legal e regulatório que faça da inovação uma necessidade para as empresas. Um marco voltado à efetividade do PDI, que a ANEEL teria total competência para promover e gerenciar.

Se assim for, e por hipótese, é possível que todos saiam ganhando, inclusive o consumidor final, que finalmente terá os benefícios da inovação contribuindo para a modicidade tarifária.

Caso nada seja feito, não será surpresa se na primeira oportunidade de mudança da conjuntura política o “bebê seja jogado junto com a água do banho”, acabando de vez com o programa de P&D.

A ruptura do paradigma tecnológico e os desafios regulatórios do Setor Elétrico

Nivalde de Castro, Guilherme Dantes, Roberto Brandão, Rubens Rosental, Mauricio Moszkowice
Pesquisadores do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL) / Instituto de Economia da UFRJ

Ao longo dos últimos 40 anos, diversos países implementaram reformas liberalizantes nos mercados de energia elétrica. Grosso modo, as reformas promoveram a desverticalização da indústria para criar mercados segmentados e competitivos de energia, enquanto as atividades produtivas de fios (transmissão e distribuição) permaneceram reguladas por serem monopólios naturais e assim garantir o acesso não discriminado à rede para todos os usuários do sistema. Entretanto, este processo manteve-se essencialmente restrito à organização e às diretrizes econômicas do Setor Elétrico.

No âmbito da operação física dos sistemas elétricos, não ocorreram mudanças significativas. A difusão de turbinas a gás reduziu a escala mínima eficiente da geração termoelétrica, sendo inclusive um fator relevante para promoção de competição nos mercados de energia. Destaca-se também o aumento da participação de fontes renováveis nas matrizes elétricas, sobretudo a expansão da geração eólica ao longo dos últimos 15 anos.

Entretanto, estas modificações não alteraram a lógica operativa do sistema elétrico. Em linhas gerais, o paradigma permanece sendo a geração centralizada, com a energia elétrica seguindo um fluxo unidirecional de energia através de linhas de transmissão e da rede de distribuição, até chegar aos consumidores finais, ou seja, o princípio é “geração segue a carga”.

No entanto, o Setor Elétrico está prestes a enfrentar um processo de ruptura deste paradigma tecnológico. Um dos vetores desta ruptura é o potencial de expansão dos recursos energéticos distribuídos, impondo a tendência de descentralização e acelerada difusão de sistemas de micro e de mini geração distribuída em alguns países. Em paralelo, observa-se que as políticas de ‘demand response’ estão se tornando cada vez mais relevantes, permitindo flexibilizar a demanda por energia elétrica.

Outro vetor está centrado no desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia, tornando-os economicamente viáveis em um futuro próximo. No âmbito dos veículos elétricos, mais que o acréscimo na

demanda por energia elétrica que os mesmos podem ocasionar, destaca-se a possibilidade do uso das baterias destes veículos para armazenamento de energia e posterior injeção na rede (sistemas ‘vehicle to grid’).

Para lidar com um novo e complexo sistema, em que os consumidores terão um comportamento mais ativo, a demanda será flexível e os fluxos de energia serão multidirecionais, é imperativa a utilização de tecnologias de comunicação e de informação que possibilitem o estabelecimento de redes inteligentes. Estas novas redes caracterizam-se pelo elevado nível de automação e pela presença de sistemas de medição inteligente, possibilitando o monitoramento de todos os fluxos de energia elétrica em tempo real.

Observa-se que esta dinâmica de transformação do Setor Elétrico é complexa e não está restrita à esfera tecnológica. De pronto, ressalta-se que estas inovações tendem a ocorrer de forma não endógena, pois são motivadas pela expectativa de se auferir lucros acima da taxa de lucro normal da economia (lucros extraordinários), através da inserção de um produto diferenciado no mercado ou da adoção de uma tecnologia que reduza o custo de produção.

Considerando que o Setor Elétrico é uma indústria de rede passível de regulação, com produto essencialmente homogêneo e demanda pouco elástica, as oportunidades de obter lucros extraordinários são limitadas. Desta forma, é preciso examinar desde as relações do Setor Elétrico com o regime socioeconômico no qual está inserido e suas relações com indústrias correlatas até sua dinâmica econômica e diretrizes regulatórias.

Neste contexto, é perceptível que a questão da sustentabilidade é um assunto central na agenda política mundial contemporânea, sobretudo em função da necessidade de mitigar as mudanças climáticas. Além disso, verifica-se uma tendência ao crescimento da exigência dos consumidores em relação à qualidade dos bens e serviços. Portanto, constata-se que o meio em que o Setor Elétrico está inserido, e com o qual estabelece

relações sociais, econômicas e tecnológicas, é um espaço dinâmico e, conseqüentemente, um elemento indutor de transformações.

Em especial, ressalta-se a alteração do comportamento dos consumidores, pois em grande medida as modificações prospectadas estão associadas a um comportamento mais ativo e participativo por parte dos mesmos. Neste sentido, o interesse dos consumidores aumentará na medida em que estas novas tecnologias e comportamentos possibilitem reduções nos dispêndios com energia elétrica e aumento da qualidade de fornecimento, a ponto de compensar os investimentos necessários. Mas o processo não se resume a isso. Em muitos casos, existe um desejo implícito do consumidor em ser mais autossuficiente no que concerne ao seu suprimento de energia elétrica e de posicionar-se na sociedade como um indivíduo adepto a práticas sustentáveis, especialmente nos países mais desenvolvidos.

No entanto, este conjunto de novas tecnologias inicialmente apresenta custos superiores às tecnologias convencionais, tornando a implementação de políticas públicas condição essencial para a realização desta transformação do Setor Elétrico. Dentro desta dinâmica, é importante que os investimentos em pesquisa e desenvolvimento possam garantir o equacionamento de desafios técnicos, o aumento da eficiência e a redução dos custos das novas tecnologias.

Efetivamente, notam-se robustos investimentos em projetos de recursos energéticos distribuídos e de redes inteligentes no mundo e no Brasil, incluindo a implementação de projetos de demonstração que buscam validar tecnicamente a tecnologia desenvolvida.

Por sua vez, a inserção comercial destas novas tecnologias exige a criação de condições propícias. Embora a adoção de incentivos fiscais e desonerações tributárias consistam em uma estratégia tipicamente utilizada com vistas a dotar as novas tecnologias de competitividade, em muitos casos é necessária a criação de nichos de mercado específicos. Por exemplo, no âmbito da promoção de fontes renováveis e alternativas de geração de energia elétrica, a adoção de tarifas 'feed-in' e de leilões específicos foram instrumentos vitais na expansão verificada nos últimos anos.

Cabe ressaltar que a natureza regulada do Setor Elétrico, especialmente dos segmentos de transmissão e distribuição, faz com que as mudanças nas diretrizes regulatórias sejam tão (ou mais importantes) que as políticas públicas em um sentido mais amplo.

A necessidade de ajustes e inovações regulatórias advém do descompasso entre as tradicionais diretrizes normativas frente às características e potencialidades das novas tecnologias. Nota-se que o arcabouço regulatório vigente comumente incita as empresas a optarem pela tecnologia convencional, em função da compatibilidade entre a estrutura de custos destas tecnologias e os modelos regulatórios tradicionais. Em paralelo, a modificação das relações entre os agentes, conjugada com o surgimento de novos agentes, resulta na necessidade de se examinar novas estruturas de mercado e de se regulamentar novos modelos de negócios.

Outra questão importante são os limites dos negócios regulados e não regulados. Por exemplo: qual enquadramento deverá ser dado à figura do agregador de cargas ou ao responsável pela plataforma de comercialização de recursos energéticos distribuídos? Essa discussão tem implicações diretas na problemática da definição da base de ativos da distribuidora tradicional, como se pode constatar através da necessidade de se definir o enquadramento a ser dado às novas infraestruturas e dispositivos, como por exemplo medidores inteligentes, postos de recargas de veículos elétricos, big data, etc.

O próprio conceito de base de ativos como elemento central dos modelos regulatórios deverá ser alterado, uma vez que as tecnologias emergentes se caracterizam por estruturas de custos menos capital intensivas. Ou seja, não basta o reconhecimento de investimentos realizados em tecnologias mais eficientes e, eventualmente, a garantia de taxas de retorno que contemplem um prêmio de risco no caso de projetos detentores de maior nível de risco. Talvez aqui resida um dos maiores desafios da agenda regulatória nos próximos anos, e é notória a necessidade de que novos modelos regulatórios compatíveis com estas novas tecnologias sejam examinados, mas com a manutenção de incentivos à busca por eficiência. Uma possível alternativa a ser considerada é a adoção de modelos 'output based' em detrimento aos tradicionais modelos 'input based'. A premissa dos modelos 'output based' é que as concessionárias de distribuição estejam mais habilitadas a dimensionarem os investimentos necessários à rede e a escolherem as tecnologias mais adequadas. Logo, o suposto é que possivelmente será mais pertinente conceder autonomia a estas empresas para que decidam quais os investimentos devem ser realizados.

Como consequência, a função do Regulador deverá ser mais focada em estabelecer requisitos mínimos

de confiabilidade e qualidade do serviço a serem cumpridos pelas distribuidoras. A fixação de incentivos e penalidades vinculadas ao cumprimento dos requisitos pré-estabelecidos acaba por estimular as empresas a optarem pelas tecnologias mais adequadas e, deste modo, modelos deste tipo criam condições para efetiva renovação e modernização dos ativos. Ao mesmo tempo, a questão da alocação dos custos da rede e da estrutura tarifária requer uma análise detalhada em um contexto de difusão de sistemas energéticos distribuídos. Dado que as tarifas de distribuição são majoritariamente valoradas em base volumétrica (\$/kWh), medidas de promoção de eficiência energética e investimentos em sistemas de micro e de mini geração distribuída acabam por reduzir o faturamento das distribuidoras. Este impacto tende a ser mitigado somente nos momentos de revisões tarifárias, quando o equilíbrio econômico financeiro da distribuidora é reestabelecido. Porém, este reequilíbrio ocorre às custas de aumento das tarifas, podendo criar, no extremo, o fenômeno da “espiral da morte”. Logo, é perceptível que haverá um aumento dos dispêndios com energia elétrica por parte dos consumidores que não aderirem às novas tecnologias, os quais, no caso da micro e da mini geração distribuída, são justamente os consumidores com menor renda e, conseqüentemente, menor possibilidade de investir nestes sistemas.

Neste sentido, é de enorme relevância a discussão acerca de mudanças na estrutura tarifária que possibilitem a alocação justa e eficiente dos custos da rede. No limite, é possível se pensar em um sistema tarifário baseado no princípio da causalidade, onde as tarifas considerem sinais temporais e locais. Entretanto, tarifas baseadas neste princípio tendem a ter resultados sociais indesejados, considerando que em muitos casos fazem com que os consumidores de menor renda tenham tarifas mais elevadas, não resolvendo a questão.

Neste ambiente de transformações e de rupturas, a distribuidora tenderá a se tornar um operador de rede e,

assim, as tradicionais estratégias do tipo ‘fit-and-forget’ não serão mais pertinentes. O planejamento da distribuição necessitará ser revisto e sua operação precisará assumir caráter mais ativo, sobretudo considerando a crescente necessidade de realizar o gerenciamento de cargas.

Este cenário fará com que as distribuidoras passem a demandar serviços ancilares e ressalta-se que a forma como isso será feito dependerá dos arranjos comerciais que venham a ser adotados e, necessariamente, de inovações regulatórias. Concomitantemente, o exercício pela distribuidora da função de operador de rede fará com que sua relação com o operador da rede de transmissão também seja modificada.

Portanto, é notória a presença crescente de um conjunto de novas tecnologias capazes de causar uma ruptura do paradigma tecnológico do Setor Elétrico. Entretanto, a efetiva verificação dessa transformação passa não apenas por políticas públicas, mas também pela evolução das diretrizes regulatórias.

Não se trata apenas da necessidade de estabelecer diretrizes que incitem as empresas a investirem em novas tecnologias. É preciso o estabelecimento de um arcabouço regulatório que viabilize economicamente estas tecnologias, na medida em que seus benefícios sistêmicos as justifiquem e a alocação dos custos respeite critérios básicos de eficiência.

Por fim, merece ser destacado que é natural e necessário a regulação evoluir, buscado aderência e adequação às novas tecnologias. Esta evolução pode ocorrer de forma ativa para se antecipar às mudanças tecnológicas e, ao mesmo tempo, tentar direcioná-las, tendo em vista os interesses da sociedade por qualidade de fornecimento e modicidade tarifária. Ou ainda, este processo pode ter um caráter reativo, quando as modificações regulatórias adotadas terão como objetivo majoritário corrigir distorções e dificuldades resultantes das novas tecnologias.



Projetos Selecionados

Desenvolvimento de sistema óptico de monitoração integrado, em tempo real e de multiparâmetros para barragens

Marcus Vinícius F. Santana(1), Augusto Cezar M. Gregatti(2), Gilson M. Carvalho(3), Guilherme Muniz(2), Fernando Pertile(3), Gerson L. Amadeo(3), João B. Rosolem(4), Rivaél S. Penze(4), Claudio Floridia(4), Claudio A. Hortencio(4), Danilo C. Dini(4), Bruno N. Aires(4), Fabio R. Bassan(4), Claudinei Martins(4), Rodrigo A. Morbach(4), Eduardo F. da Costa(4), Rodrigo Peres(4), Luis Fernando P. Melegari(5).

Resumo – Este trabalho descreve um sistema de monitoramento de barragens inovador, que utiliza fibra e sensores ópticos para medir multiparâmetros de barragens com a mesma tecnologia de sensores. O sistema está em operação desde outubro de 2015 em duas usinas hidrelétricas instaladas no sul do Brasil: Foz de Chapecó e Barra Grande e usa a tecnologia conhecida como grade de Bragg (FBG - Fiber Bragg Grating). Os sensores utilizados por serem de fibras ópticas dispensam alimentação elétrica e são isentos de falhas por incidências de descargas atmosféricas. Os sensores escolhidos foram adaptados e instalados diretamente nos instrumentos convencionais de medição reduzindo desta forma os custos e o tempo de instalação.

Palavras-chave – Barragens, FBG, Monitoração, Segurança de Barragens, Sensores Ópticos.

Informações sobre o Projeto de P&D: 'PD-3936-0114/2014 - Desenvolvimento de plataforma de monitoração de barragens integrada, on-line e de multiparâmetros'; classificação do tema e subtema: Gestão de Bacias e Reservatórios, Gestão da segurança de barragens de usinas hidrelétricas; 'Baesa, Foz Do Chapecó, Enercan'; 'Fundação CPqD'; Custo total (em R\$ 2.333.114,00) de execução do projeto.

1 'CSC Energia'
(e-mail: marcus.santana@cscenergia.com.br).

2 'BAESA Energética Barra Grande'
(e-mail: agregatti@baesa.com.br).

3 'Foz do Chapecó Energia'
(e-mail: gilson@fozdochapeco.com.br).

4 'Fundação CPqD'
(e-mail: rosolem@cpqd.com.br).

5 'CPFL Geração'
(e-mail: lmelegari@cpfl.com.br).

I. INTRODUÇÃO

O monitoramento constante é fundamental para garantir a integridade e a segurança das estruturas de barragens, que estão sujeitas à degradação e ao envelhecimento de seus materiais em função da ação do tempo. De forma geral, a monitoração das barragens é feita através da coleta de dados manual e visual dos instrumentos instalados em vários pontos. Muitas medições são feitas em locais insalubres, o que pode prejudicar a coleta dos dados. Algumas tecnologias para automação de barragens vêm sendo experimentadas no Brasil [1-2]. Em [1] é descrita uma proposta de monitoração remota através do uso de sensores sem fio. Tal proposta requer definições de pontos ótimos para roteamento de informações proveniente dos sensores, assim como possui limitação de alcance das áreas de cobertura, além da necessidade de alimentação elétrica dos equipamentos e sensores envolvidos. Já em [2] é descrita uma proposta de desenvolvimento de um sistema em tempo real de monitoramento que contém dados de alarme dos sensores com leituras manuais e automatizadas.

Uma nova tecnologia que permite modernizar o monitoramento das barragens é a dos sensores de fibra óptica [3]. Uma das vantagens desses sensores ópticos é que são imunes a possíveis danos provocados por raios ou interferências eletromagnéticas, o que é comum ocorrer nos sensores eletrônicos. Os sensores ópticos dispensam também qualquer tipo de alimentação elétrica provida de tomadas, painéis solares ou bateria.

Este trabalho descreve um sistema inovador de monitoramento de barragens, que utiliza fibra e sensores ópticos para medir diversos parâmetros. O sistema está em operação desde outubro de 2015 em duas usinas hidrelétricas instaladas no sul do Brasil: Foz de Chapecó e Barra Grande, ambas construídas na divisa dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O novo sistema é resultado de um projeto de P&D ANEEL executado pelo CPqD para as empresas BAESA (Energética Barra Grande S/A), ENERCAN (Campos Novos Energia S/A) e Foz do Chapecó Energia.

Uma das inovações desse projeto está na aplicação da tecnologia de sensores de fibra óptica conhecida como grade de Bragg (FBG - Fiber Bragg Grating) [4] para medir parâmetros diferentes das barragens das hidrelétricas (vazão de percolação /infiltração), deslocamento ou deformação de juntas, dilatação de fissuras e trincas, recalque de estruturas, nível de água e pressão de água) utilizando uma única fibra óptica para interligar os diversos sensores. Outra novidade do sistema está na disponibilidade dos dados de monitoramento à distância, em tempo real, a partir de tablets ou smartphones conectados à internet via aplicativos web e para dispositivos móveis. Como em barragens já construídas e em funcionamento a incorporação de qualquer novo sensor dentro das estruturas físicas das barragens é custosa e por este motivo neste projeto adotamos outra abordagem. Neste caso os sensores ópticos foram adaptados e instalados diretamente nos instrumentos convencionais de medição. Esta é outra inovação deste sistema de monitoração que será descrito a seguir.

II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA ÓPTICO DE MONITORAÇÃO INTEGRADO, EM TEMPO REAL E DE MULTIPARÂMETROS PARA BARRAGENS

O sistema óptico de monitoração integrado, em tempo real e de multiparâmetros para barragens (SOMB) cujo diagrama é mostrado na figura 1, é chamado assim pelos seguintes motivos: é integrado pelo fato de todos os sensores serem feitos da mesma tecnologia (FBG); uma única fibra óptica conduz os sinais de vários sensores e todos os sinais dos sensores são processados em um único equipamento chamado interrogador; é de tempo real porque os dados dos sensores podem ser acessados remotamente e em tempo real, e é de multiparâmetros porque os sensores da tecnologia FBG avaliam parâmetros distintos, entre os quais, deslocamentos, pressão, nível de água, vazão e temperatura.

Conforme mostra a figura 1, em uma única fibra óptica podem ser adicionados 11 tipos de sensores FBG. Na prática cada sensor tem duas grades FBGs, uma para medição do parâmetro de interesse e outra para medição de temperatura.

O interrogador escolhido para este projeto tem 16 saídas ópticas, o que equivale a dizer que 176 sensores podem ser monitorados pelo mesmo equipamento. Os sensores a serem monitorados foram padronizados para cada porta de saída da seguinte forma: 3 sensores de deslocamento (1 triortogonal), 4 sensores extensômetros de haste e 4 sensores de nível de água (piezômetros ou manômetros). Também podem ser monitorados extensômetros de haste tipo KM e sensores de nível de reservatório (montante e jusante).

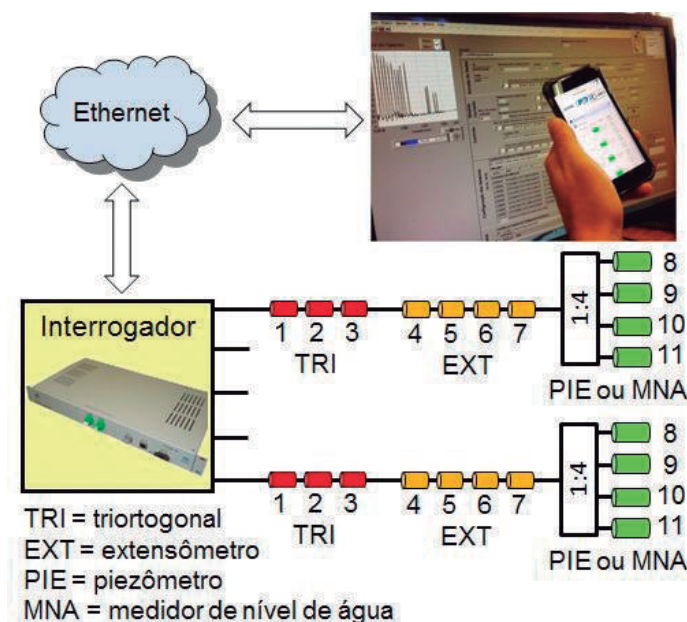


Figura 1. Topologia do sistema SOMB

(sistema óptico de monitoração integrado, em tempo real e de multi-parâmetros para barragens).

A saída do interrogador é conectada à rede Ethernet e o acesso dos dados pode ser feita em qualquer lugar através de um aplicativo desenvolvido no projeto para uso em smartphones, tablets e desktops.

III. DESCRIÇÃO DA FORMA INOVADORA DE UTILIZAÇÃO DOS SENSORES FBG

Para a adaptação e utilização de sensores nos instrumentos convencionais das barragens, os sensores FBG precisaram de um empacotamento mecânico adequado. Em todos os casos o melhor perfil de empacotamento é o cilíndrico, por se adaptar melhor nos instrumentos de medição de deslocamento e do nível de água. A figura 2 mostra alguns tipos de sensores FBG comerciais escolhidos para uso no sistema.

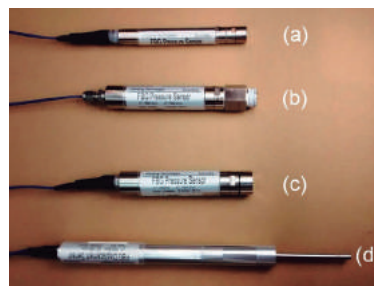


Figura 2. Sensores FBG: (a) sensor de nível de água especial para uso em tubos de 19 mm, (b) sensor de pressão, (c) sensor de nível de água especial projetado para medir os níveis de água com menos de 2 m e (d) sensor extensômetro.

Foram desenvolvidas interfaces mecânicas para adaptar os sensores FBG comerciais nos pontos de medição de triortogonal e em extensômetros de haste. As figuras 3(a) a 3(c) mostram os sensores FBG fixados nos instrumentos de deslocamento convencionais. Usando as interfaces mecânicas, o procedimento de adaptação é muito prático ('plug-and-play').

Os sensores FBG para o nível de água, de pressão e de vazão exigiram outras adaptações. As figuras 4(a) até 4(d) mostram estes sensores adaptados nos instrumentos convencionais de medição das barragens.

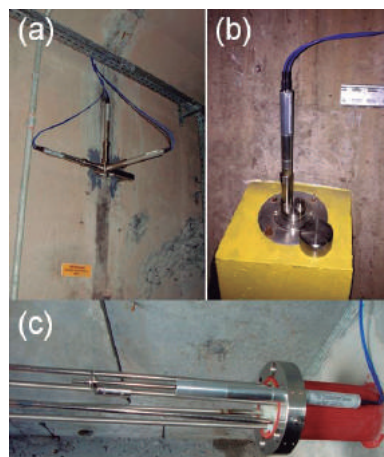


Figura 3. Sensores FBG de deslocamento instalados nos instrumentos convencionais: (a) triortogonal, (b) extensômetro de haste e (c) extensômetro múltiplos de haste tipo KM.

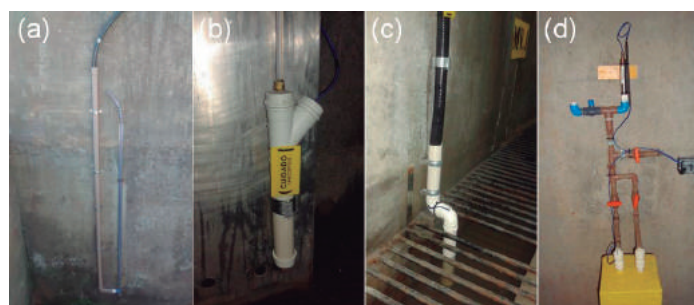


Figura 4. Sensores FBG de nível de água, de pressão e de vazão: (a) vazão, (b) vazão de galeria (c) célula de recalque, (d) piezômetro e manômetro.

A tabela 1 mostra a quantidade de sensores instalados nas duas barragens e suas faixas de medição.

Tipos de Sensores FBG	Foz do Chapecó	Baesa	Quantidade	Faixa de medição
Triortogonal	2	3	15	0 - 3 mm
Extensômetro de haste	2	2	4	0 - 30 mm
Extensômetro KM	0	1	1	0 - 100 mm
Manometro	1	1	2	0 - 0.54 MPa
Vazão enrocamento	0	1	1	0 - 2 mH ₂ O
Vazão galeria	0	1	1	0 - 1 mH ₂ O
Piezômetro	1	3	4	0 - 10 mH ₂ O
Célula de Recalque	0	1	1	0 - 2 mH ₂ O
Nível do reservatório	2	2	4	0 - 10 mH ₂ O 0 - 55 mH ₂ O
Total			33	

Tabela I. Dados dos sensores instalados em Foz do Chapecó e Baesa.

Até a finalização deste artigo o SOMB completou 11 meses de avaliação em campo. As figuras 5(a) até (c) mostram alguns exemplos de gráficos de acompanhamento relativos aos sensores de deslocamento (linha contínua) comparados como as medições nos instrumentos convencionais (pontos). Pode-se observar que há uma boa concordância entre os dados dos sensores e os instrumentos convencionais.

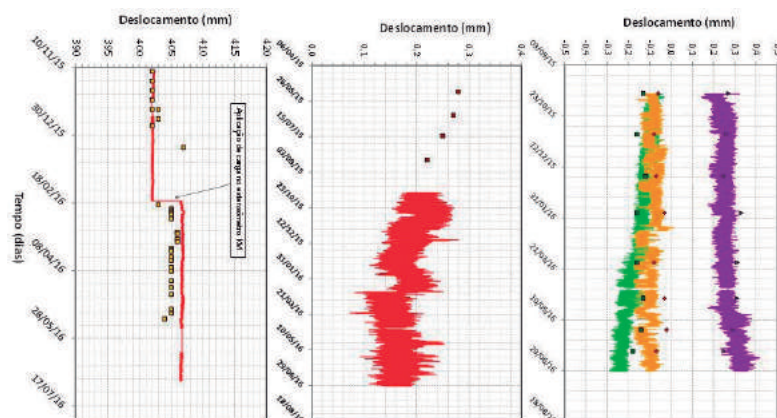


Figura 5. Gráficos de acompanhamento relativos aos sensores de deslocamento (a) triortogonal, (b) extensômetro de haste e (c) extensômetro de haste múltiplo.

As figuras 6(a) até 6(c) mostras alguns exemplos de gráficos de acompanhamento relativos aos sensores de nível de água (linha contínua) comparados com as medições nos instrumentos convencionais (pontos). Pode-se observar também desta vez que há uma boa concordância entre os dados dos sensores e os instrumentos convencionais.

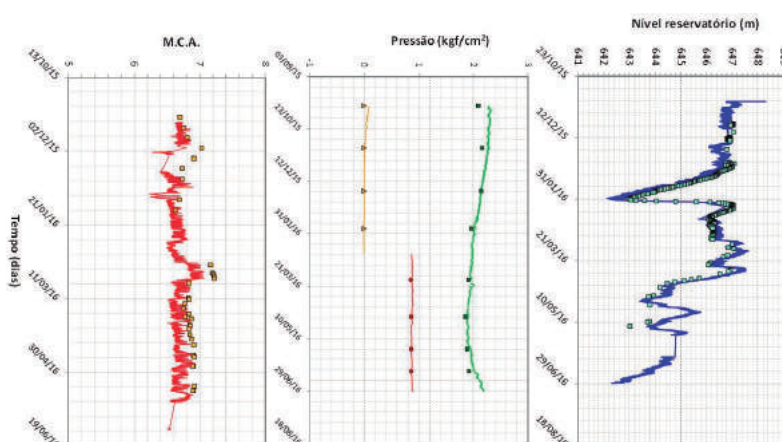


Figura 6. Gráficos de acompanhamento relativos aos sensores de deslocamento (a) nível do reservatório, (b) manômetro e (c) piezômetro.

IV. CONCLUSÕES

O sistema óptico de monitoração integrado, em tempo real e de multiparâmetros para barragens (SOMB) descrito neste artigo vem sendo avaliado desde sua instalação por especialistas em barragens apresentando até o momento um bom desempenho. O período de testes, entretanto, ainda é curto, sendo necessário um tempo da ordem de 2 a 5 anos para a efetiva comprovação da sua eficácia. Durante este tempo, todo o sistema (ferramenta computacional, interrogador, rede óptica e sensores) continuará sendo aperfeiçoado para que tenha a robustez, confiabilidade e precisão necessárias para uso definitivo como um produto final nas barragens escolhidas, bem como em qualquer outra onde se deseje instalar.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. B. Cunha, A. R. Braga, A. F. Gontijo, P. H. A. Maciel, V. M. M. Pinto, D. A. L. Brandão, A. V. Melo, J. R. de C. Oliveira, E. H. Caliman, P. L. Divino, "Monitoramento Remoto com Rede de Sensores sem Fio para Auscultação de Barragens," in Proc. 2015 VIII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VIII CITENEL).
- [2] D. Pinto Coelho, J. Patias, V. R. Garay, "Sistema de Otimização e Análise de Auscultação da Barragem de Itaipu," in Proc. 2015 XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens.
- [3] J. D. Doornink, B. M. Phares, Z. Zhou, T. W. Graver, Zhihong Xu "Fiber Bragg Grating Sensing for Structural Health Monitoring of Civil Structures," in Proc. 2004 International Symposium on Advances and Trends in Fiber Optics and Applications, 11-14.
- [4] Y. X. Luo, "Study of Fiber Bragg Grating Sensor in Dam Safety Monitoring," Applied Mechanics and Materials, vol. 312, pp. 736-740, 2013.

Estudos sobre detecção de descargas parciais por emissão acústica como técnica preditiva em transformadores de potência

Cacilda de J. Ribeiro(1), André P. Marques(2), Leonardo da C. Brito(1), Cláudio Henrique B. Azevedo(2), José Augusto L. dos Santos(2), Roberta B. do Nascimento(2), Nicolas K. de Moura(1), Yuri A. Dias(1)

Resumo – Este artigo tem como objetivo apresentar os estudos sobre detecção de descargas parciais por emissão acústica como técnica preditiva de manutenção em transformadores de potência imersos em óleo isolante, cujos resultados foram implementados com sucesso na empresa CELG D. Os principais produtos gerados foram os desenvolvimentos das metodologias de ensaios de detecção de descargas parciais e de análise, por meio de um sistema especialista inteligente para a localização, mensuração e classificação dos resultados, que contribuíram nos procedimentos e nas tomadas de decisões, visando a qualidade no fornecimento de energia elétrica e a diminuição de interrupções não programadas no sistema elétrico.

Palavras-chave – descargas parciais, emissão acústica, técnica preditiva, transformadores de potência.

Título do Projeto de P&D: “Estudos para a eficácia de detecção de descargas parciais por emissão acústica como técnica preditiva de manutenção em transformadores de potência imersos em óleo isolante”.

Código ANEEL: PD-6072-0263/2011

CELG D e EMC/UFG. Investimento: R\$548.419,72.

1 Universidade Federal de Goiás – Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação

e-mails: cacildaribeiro@gmail.com;
brito.lc@gmail.com
nicolas.2108@hotmail.com
yuriadias@gmail.com

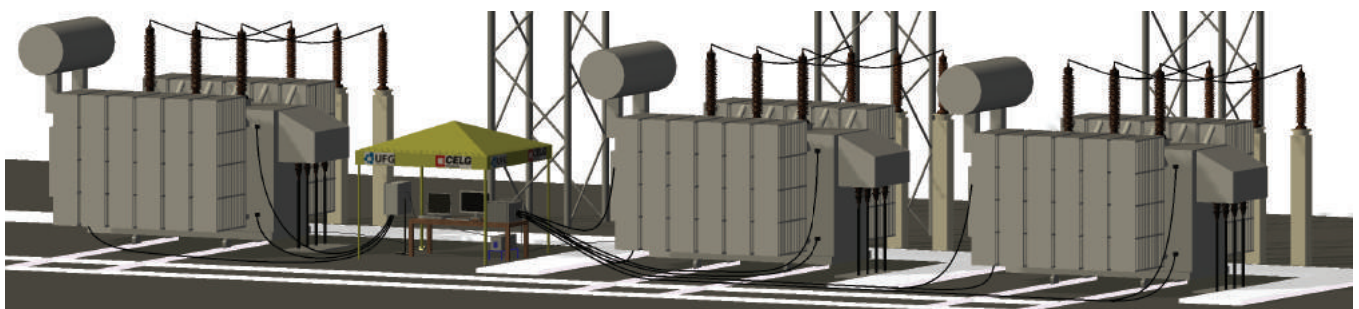
2 CELG Distribuição S.A.

e-mail: andre.pm@celg.com.br
claudio.hb@celg.com.br
jose.augusto@celg.com.br
roberta.bn@celg.com.br

I. INTRODUÇÃO

Este artigo tem como objetivo apresentar os estudos sobre detecção de descargas parciais pelo método de emissão acústica em transformadores de potência energizados, com características relevantes para aplicação no setor elétrico, como técnicas preditivas relacionadas às metodologias de ensaio e de análises dos resultados, para apoio à tomada de decisão e que foram validadas e implementadas na empresa CELG D [1, 2]. A Figura 1 ilustra a realização desses ensaios em campo, com os equipamentos em operação.

Figura 1. Ensaios com os transformadores de potência em operação.



Nestas metodologias, tem-se o desenvolvimento de um sistema especialista inteligente de identificação, mensuração, localização tridimensional e classificação dos resultados, baseadas em resultados de ensaios de detecção de descargas parciais realizados em transformadores de potência, com: 19 (dezenove) idas ao campo em 12 (doze) subestações de energia elétrica, num total de 26 (vinte e seis) equipamentos.

As técnicas de detecção de descargas parciais (DPs) pelo método acústico (EA) são documentadas desde os anos 90 [3] e apresentam informações sobre os ensaios [4, 5]. Porém, há inovações neste projeto de pesquisa aperfeiçoando as metodologias de ensaio e de análise, quando comparadas com as existentes na literatura, as quais geralmente apresentam somente os sinais de ruídos totais (mecânicos e elétricos juntos), não diferenciam o que são realmente descargas parciais, não descrevem o algoritmo empregado e utilizam softwares comerciais que apresentam somente resultados gráficos e não as classificações dos resultados.

Sendo assim, os elementos de diferenciação e de inovação incluem os métodos desenvolvidos neste projeto, que apresentam eficiência nos ensaios em campo e compõem uma solução computacional completa dirigida ao diagnóstico de transformadores de potência [6], equipamentos cruciais em sistemas de energia elétrica. O método de identificação separa ruídos comuns daqueles resultantes de descargas parciais, possibilitando o processamento isolado de seus atributos, permitindo o foco nas informações de maior relevância. O resultado da execução do método de localização clara proporciona ao analista responsável pelo diagnóstico uma visão tridimensional das fontes de descargas parciais dentro do transformador de potência, tornando possível determinar quais componentes internos estão contribuindo para o surgimento desse evento nocivo, qual o nível de criticidade e a possibilidade de ocorrência de falha do equipamento. O resultado provido pelo método de mensuração, por sua vez, apresenta informações importantes a respeito da dinâmica de ocorrências das descargas parciais e seus atributos, os quais podem ser utilizados para a classificação dos transformadores. Por fim, o método de classificação por Rede Bayesiana permite indicar o grau de "saúde" do transformador (relativo a DPs), podendo esse indicador ser utilizado para priorizar o atendimento dentro do conjunto de transformadores de potência da empresa [6].

II. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

A. Metodologia de ensaio

Para a eficácia de detecção de descargas parciais por emissão acústica como técnica preditiva de manutenção em transformadores de potência imersos em óleo isolante, foi aperfeiçoada a metodologia deste ensaio em conjunto com as técnicas preditivas de análises de gases dissolvidos em óleo (cromatografia) e de ensaios físico-químicos.

Cabe ressaltar que, para o método de emissão acústica, não existe uma recomendação/guia que indique métricas ou faixas para o diagnóstico e/ou classificação de

transformadores de potência. No entanto, este trabalho gerou, como um dos produtos, a possibilidade de, considerando os equipamentos da Empresa que passaram por inspeção para constatação de defeitos, estabelecer faixas de classificação da saúde dos transformadores, de forma a constituir tabelas, nos moldes daquelas consagradas, aplicadas para a análise de gases dissolvidos.

A metodologia de ensaio de detecção de descargas parciais é aplicada em campo (conforme ilustra a Figura 1), com o transformador em serviço, por meio de um monitoramento de aproximadamente 24 horas, e utiliza um sistema de detecção com 14 sensores de emissão acústica (operando em torno de 150 kHz) posicionados em partes estratégicas do equipamento [2]. Ela baseia-se na observação dos seguintes requisitos e procedimentos:

- a) O pleno conhecimento da geometria do projeto da parte ativa, tanque e buchas do transformador de potência;
- b) Mapeamento e definição da "assinatura" da atividade de descargas parciais específicas para o equipamento, no ensaio de detecção acústica, durante o recebimento em fábrica;
- c) Análise a partir de diagnósticos comparativos com transformadores de mesmo projeto (equipamentos idênticos); e
- d) Intervalo de tempo de realização (duração) do ensaio vinculado ao ciclo típico de carga do transformador sobre avaliação, de forma a contemplar as diferentes condições operativas às quais o mesmo é submetido durante o ciclo de carga.

B. Metodologia de análise

O desenvolvimento do sistema especialista inteligente neste projeto proporciona o acompanhamento e o apoio à tomada de decisão baseado em Redes Bayesianas [6] e possui como resultados: a) identificação; b) a execução do método de localização tridimensional das fontes de descargas parciais dentro do transformador de potência, tornando possível determinar a região interna com o surgimento desse evento; e c) o método de mensuração que apresenta informações importantes a respeito da dinâmica de ocorrências dessas descargas parciais e seus atributos, os quais podem ser utilizados para a classificação, conforme apresenta a Tabela 1.

A interface do sistema com os dados da análise de gases dissolvidos em óleo - AGD (cromatografia) e da análise físico-química é feita da seguinte forma:

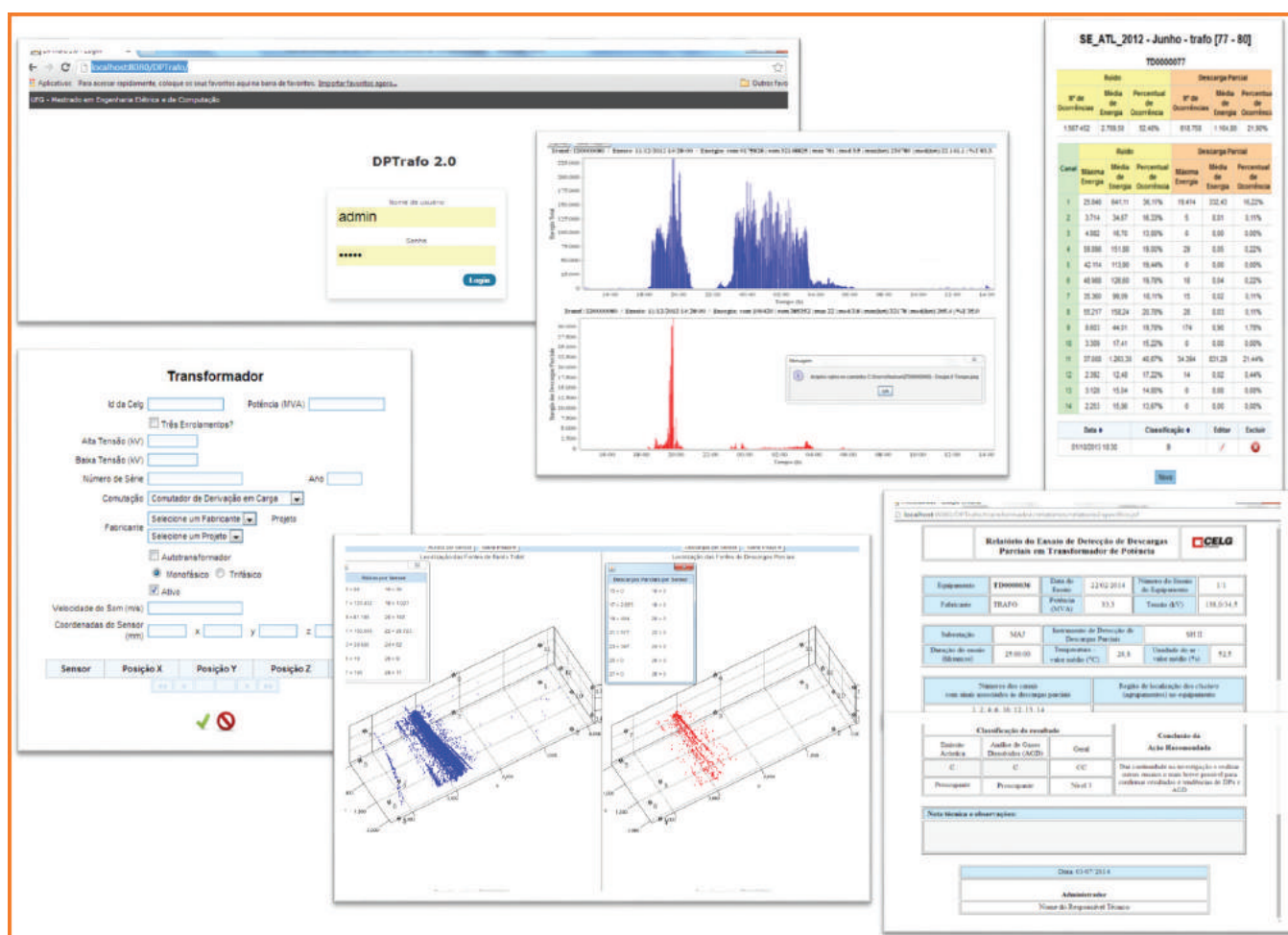
- a) primeiramente, as coletas das amostras de óleo para as análises físico-químicas e de AGD são obtidas no mesmo período do ensaio de descargas parciais em campo; e
- b) posteriormente, os transformadores são classificados em função dos resultados dos ensaios de descargas parciais (em "A", "B", "C" ou "D", conforme apresentado na Tabela I). Juntamente com os resultados da AGD, que são inseridos no sistema inteligente para a classificação final, e considerando também a análise físico-química, são realizados o diagnóstico do equipamento e a definição de ações recomendadas sobre o mesmo.

Tabela I. Classificação do nível de descargas parciais no transformador

Classificação	Resultado	Ação recomendada
A	Satisfatório	Continuar a operar normalmente
B	Dentro da normalidade	Continuar a operar normalmente, estando atento à evolução de DPs e/ou AGD nos próximos registros
C	Preocupante	Dar continuidade à investigação e realizar outros ensaios o mais breve possível para confirmar resultados e tendências de DPs e/ou AGD
D	Grave	Planejar uma retirada do equipamento de operação em caráter de urgência para uma inspeção interna, localização e correção de defeito

Na Figura 2 são ilustradas algumas telas da nova ferramenta de análise - sistema especialista inteligente de gerenciamento e de apoio à tomada de decisão, denominado de DPTrafo 2.0, desenvolvido neste projeto e melhor detalhado em [7].

Figura 2. Ilustração de algumas telas do sistema inteligente DPTrafo 2.0.



Este sistema de apoio à decisão, software DPTrafo 2.0, contém os seguintes elementos:

- a) um Banco de Dados que armazena adequadamente os ensaios realizados em um servidor adquirido para esse fim;

b) um Módulo de Processamento dos dados obtidos pelo instrumento de aquisição de sinais acústicos. Este apresenta, como resultado de processamento, os instantes e montantes de ocorrências de ruídos totais e, especialmente, de emissões acústicas referentes a descargas parciais. Apresentam-se, também, as estimativas das localizações espaciais das fontes de emissão acústica, considerando tanto os ruídos totais como os sinais acústicos gerados por descargas parciais, de forma a subsidiar as decisões preventivas; e

c) um Módulo de Classificação baseado em informações de EA e de AGD, aplicando Rede Bayesiana. A inserção de novos ensaios e as respectivas classificações ("A" a "D") apresentadas pelos especialistas alimentam o classificador Bayesiano e, à medida que a quantidade de ensaios aumentar, considerando um determinado transformador ou transformadores com idêntico projeto, o sistema inteligente implementado assimilará o conhecimento dos especialistas, podendo gerar, então, sugestões adequadas para as classificações.

C. Estudo de caso

Como estudo de caso, é apresentada a análise dos resultados do ensaio realizado em uma subestação de energia elétrica com um transformador trifásico de 20/26,6/33,25 MVA, 138/34,5 kV, em serviço.

O ensaio de detecção de descargas parciais foi realizado durante vinte e quatro horas, e obteve a classificação "C", de acordo com a Tabela I. Os resultados das outras técnicas em conjunto (como análise de gases dissolvidos e análise físico-química), aplicadas simultaneamente a este ensaio, apresentaram valores acima dos desejados (considerados normais), constatando o desempenho não favorável do equipamento. Diante da ação recomendada, no momento oportuno foi realizada a intervenção e a manutenção corretiva neste equipamento na Oficina Eletromecânica da empresa, apresentando posteriormente, resultados satisfatórios com classificação "A" na análise da repetição do ensaio de detecção de descargas parciais. Na Figura 3 é ilustrada a análise deste estudo de caso (classificação "C") obtida no sistema especialista inteligente desenvolvido, com as identificações de ruídos totais (na cor azul, à esquerda da figura) e descargas parciais (DPs), na cor vermelha, à direita da figura.

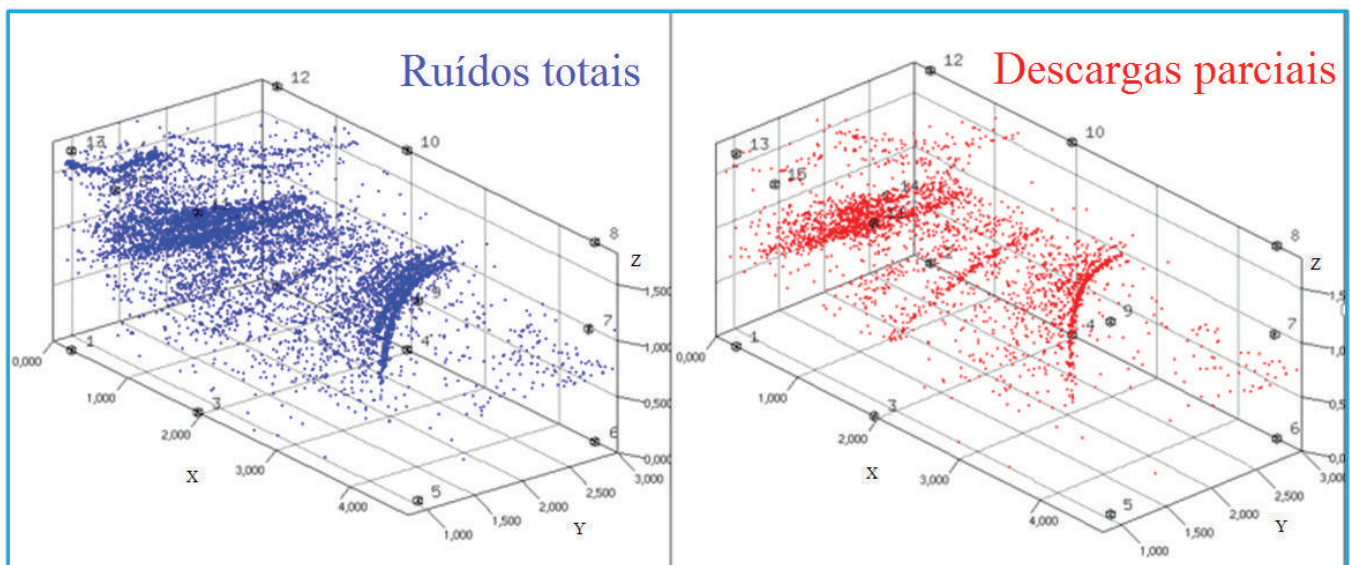


Figura 3. Identificação de sinais de descargas parciais no transformador

III. CONCLUSÕES

No estudo de caso apresentado, verificam-se evidências de DPs no transformador de potência em 95,4% do período do ensaio próximas ao canal 2, onde foi constatada a causa do defeito, originado pelo terminal do aterramento da parte ativa do equipamento, que se encontrava frouxo (com centelhamento), corroborando as análises, incluindo a localização da região identificada durante o monitoramento.

Sendo assim, observa-se que não basta apenas apresentar os gráficos resultantes, sem detalhar as interpretações das análises finais sobre a identificação, a mensuração, a classificação e as ações de recomendações para auxiliar o analista na tomada de decisão de intervir ou não no equipamento, como este projeto apresenta. O sistema DPTrafo 2.0 apresenta todas essas informações, utilizando a técnica de inteligência computacional, atingindo assim os objetivos deste projeto de pesquisa satisfatoriamente.

Cabe ressaltar que, durante o desenvolvimento deste projeto, houve capacitação profissional, com dissertações de

mestrado, e foram publicados artigos científicos que apresentam as metodologias e as conclusões da pesquisa, os quais estão disponíveis no site do projeto [7].

Portanto, conclui-se que este trabalho contribuiu com os estudos sobre descargas parciais, visando a diminuição de interrupções em transformadores de potência, com redução da quantidade e dos custos com as manutenções não programadas, proporcionando um impacto econômico favorável. Assim, justifica-se técnica e economicamente, que os estudos resultaram em melhorias: na área de manutenção preventiva desses equipamentos, contemplando um melhor desempenho e preservação da vida útil deles, como também nos indicadores de continuidade de fornecimento de energia elétrica para a sociedade.

IV. AGRADECIMENTOS

À Diretoria Técnica, à Superintendência de Engenharia e Manutenção da Alta Tensão, ao Departamento de Engenharia e Controle da Manutenção, e ao Departamento de Manutenção da Alta Tensão da Celg Distribuição S.A., e à Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da Universidade Federal de Goiás, pelas colaborações. À Agência Nacional de Energia Elétrica, pelo apoio financeiro.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A.P. Marques, C.J. Ribeiro, C.H.B Azevedo, J.A.L. Santos, F.C. Sousa, L.C. Brito, "Power transformer disruptions - a case study", IEEE Electrical Insulation Magazine, v. 30, p. 17-21, 2014.
- [2] A. P. Marques, C. H. Azevedo, J. A. L. dos Santos, C. J. Ribeiro, H. P. Romualdo, L. C. Brito, "Ensaio de Descargas Parciais em Transformadores de Potência associados aos Ensaio Físico-químicos do Óleo - Um estudo de caso", XXII SNTPEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão e Energia Elétrica, Brasília, 2013.
- [3] P. Eleftherion, "Physical Acoustics Corporation Partial Discharges XXI: Acoustic Emission – Based PD Source Location in Transformers", IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 11, no. 6, Nov./Dec., 1995.
- [4] IEEE Guide for the Detection and Location of Acoustic Emissions from Partial Discharges in Oil-Immersed Power Transformers and Reactors, IEEE Standard C57.127™-2007.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15633 - Ensaio não destrutivo - Emissão acústica - Detecção e localização de descargas parciais e anomalias térmicas e mecânicas em transformadores de potência e reatores isolados a óleo, Rio de Janeiro, 2008.
- [6] H.P. Romualdo, P.H.S. Palhares, L.C. Brito, C.J. Ribeiro, A.P. Marques, C.H.B. Azevedo, J.A.L. dos Santos, "Identificação, Mensuração e Localização Tridimensional de Descargas Parciais em Transformadores de Potência com base em Ensaio de Emissão Acústica", V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos -SBSE 2014, Foz de Iguaçu, v. 1, p. 1-6, 2014.
- [7] Universidade Federal de Goiás, "Produtos resultantes – Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D263", Disponível: http://www.eeec.ufg.br/~cacilda/indexp&d263.php?page=site_CELG-D_263/php/Produtos%20Resultantes

Identificação de falhas e derivações em cabos subterrâneos de distribuição em BT energizado

Projeto 0382-0004/2008

C.A. Pimenta(1), C. J. R. d'Ávila(2), L. P. Moraes(2), F. M. L. Pinheiro(2) e C. C. S. Porto(2)

Resumo - Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um equipamento para a identificação de falhas e derivações em cabos subterrâneos energizados de distribuição elétrica em baixa tensão. O escopo do trabalho está delimitado à utilização em cabos subterrâneos de BT, energizados ou não. Os testes realizados com o equipamento em um ambiente de campo e os resultados são discutidos.

Palavras-chave - distribuição elétrica, falhas, perdas comerciais, instrumentação, rede subterrânea.

1C.A. Pimenta trabalha na LIGHT SESA, na Gerência de Redes Subterrâneas – DSS

(e-mail: christine.pimenta@light.com.br).

2C. J. R. d'Ávila, L. P. Moraes, F. M. L. Pinheiro e C. C. S. Porto trabalham no Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação da POLI-UFRJ

(e-mails: case@del.ufrj.br; lpmora-ess@gmail.com; filipe.maia@poli.ufrj.br; caiocsporto@gmail.com).

I. INTRODUÇÃO

A prática de desvio de energia em ramais de entrada ao cliente é recorrente em linhas aéreas e subterrâneas. A dificuldade de encontrar o ponto do desvio dentro de um ramal de entrada subterrâneo até o medidor tem frustrado muitas ações de combate ao furto de energia. O alto custo de escavação e os reparos em alvenaria e calçadas são limitadores do êxito na extinção dessa prática.

O presente trabalho trata do projeto de um equipamento destinado ao combate de perdas comerciais por furto de energia permitindo a localização precisa do ponto, entre o ramal de entrada e o medidor. A identificação é feita de forma não-invasiva, externa aos limites da propriedade e sem a necessidade de desligar o cliente.

Equipamentos para detecção de falhas, interrupções ou derivações nas linhas de distribuição já são conhecidos das equipes de campo das concessionárias. Tais equipamentos utilizam a reflectometria no domínio do tempo (TDR) para transmissão/detecção do pulso.

O equipamento desenvolvido utiliza uma técnica de reflectometria no domínio da frequência (FDR) que permite superar, com vantagens, os obstáculos presentes na técnica convencional (TDR).

A técnica de TDR, embora tenha precisão, apresenta como limitações a amplitude baixa de reflexão, em situações onde o descasamento de impedância é pequeno, e dificuldade de utilização em linha viva, ou seja, quando estão presentes outros sinais ou há superposição.

Outras técnicas, no domínio da frequência, apresentam bons resultados e superam as principais limitações da análise convencional no domínio do tempo [1,2,5].

O equipamento desenvolvido nesse projeto utilizou a técnica PD-FDR (Phase Detection - Frequency Domain Reflectometry) [3,4] que possui menor complexidade construtiva e menor custo de implementação, além de apresentar resultados equivalentes a outras técnicas de FDR [5].

II. HARDWARE

O hardware do equipamento é composto por dois blocos principais. O primeiro é representado por um front-end analógico, onde estão os circuitos de geração, transmissão, recepção e demodulação do sinal de investigação aplicado na linha. O segundo é representado pela placa de aquisição A/D e pela placa de processamento e apresentação dos resultados na tela do equipamento.

A. Front-end analógico

O diagrama de blocos mostrado na figura 1, descreve de forma resumida os circuitos utilizados para a implementação da técnica PD-FDR no equipamento.

A base de tempo é formada por um oscilador e circuitos divisores de frequência para gerar o 'burst' a ser aplicado na linha.

A aplicação do sinal na linha é realizada através de um acoplador híbrido que permite a ligação, no mesmo ponto, em paralelo, da saída do amplificador de potência do transmissor e da entrada do amplificador diferencial do circuito receptor.

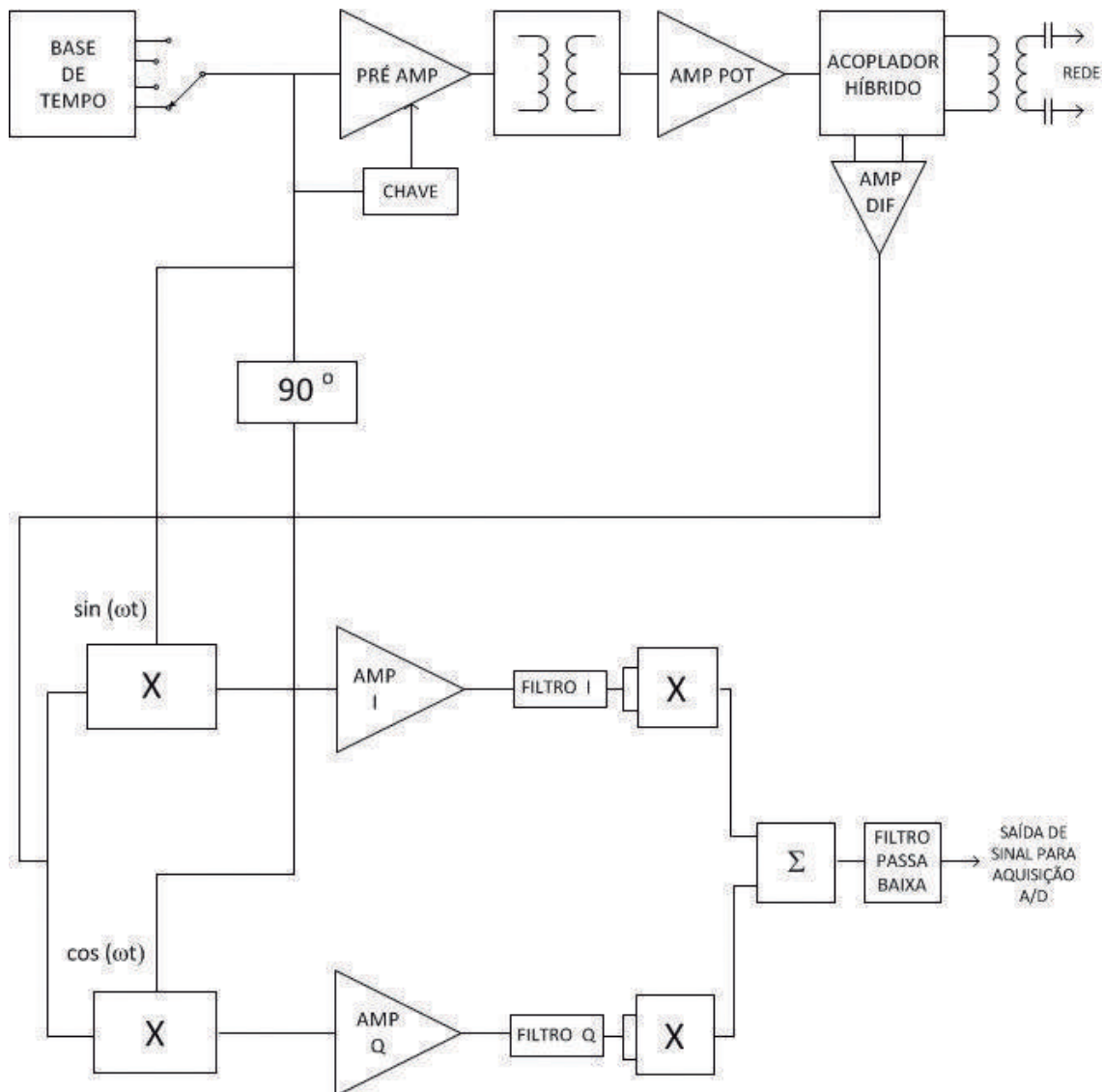


Figura 1 – Diagrama de blocos simplificado do front-end analógico.

O uso de capacitores em série para a aplicação do sinal na linha permite o acoplamento com baixa impedância nas frequências de operação, ao mesmo tempo em que representa uma alta impedância para a frequência da rede, 60 Hz, isolando o circuito.

Para a identificação do 'burst' senoidal retornado após uma reflexão é utilizado um circuito demodulador do tipo quadratura de fase.

B. Módulo de processamento

A alternativa escolhida foi uma placa com CPU Intel e sistema operacional Windows, porque reunia os requisitos de baixo custo, capacidade computacional e facilidade no interfaceamento. A placa para a aquisição de sinais escolhida possui taxa de amostragem de 1 GS/s e 8 bit de resolução.

A figura 2 apresenta o diagrama e os blocos do hardware de processamento do equipamento.

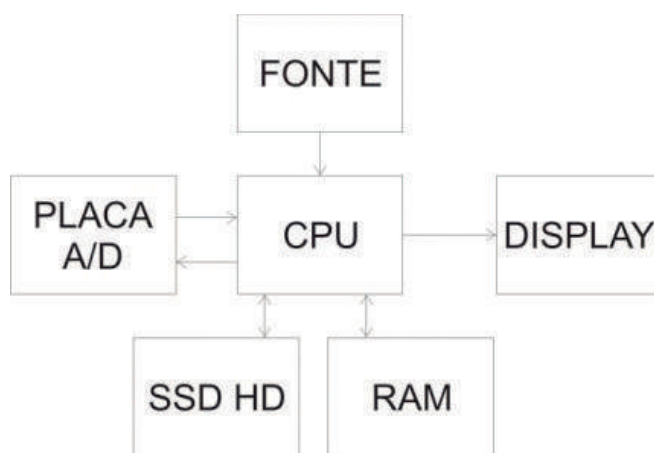


Figura 2 – Hardware de processamento.

III. SOFTWARE

O software foi desenvolvido com recursos gráficos para apresentação de 2 canais, ajuste horizontal dos cursores para medição de distância relativa com precisão de centímetros, ajuste vertical dos traços para comparação das respostas relativas dos canais e escolha das faixas de operação.

A figura 3 apresenta uma foto com a tela da interface gráfica e os comandos de cursor, escolha da faixa de operação e canal de leitura, localizados no painel do equipamento.

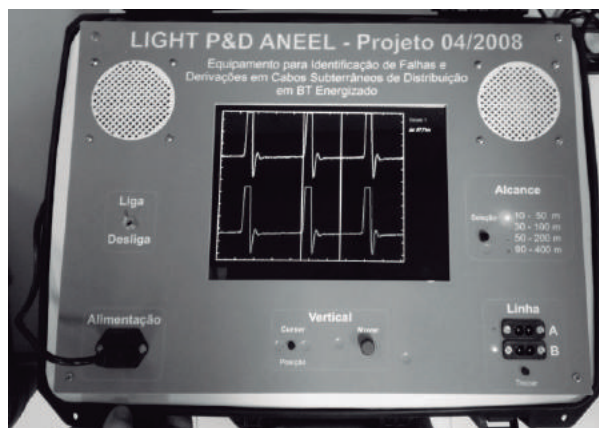


Figura 3 – Foto da tela com a exibição dos dois canais de aquisição e a tampa frontal do equipamento, com os cursores e faixas de operação.

Os programas foram desenvolvidos em uma plataforma Windows Server 2012, utilizando o Microsoft Visual Studio, na linguagem C#, com Framework .Net 4.5.

Um cursor para o ajuste vertical permite que as formas de onda dos canais A e B possam ser comparadas, por sobreposição, para auxiliar na identificação de alguma singularidade presente em apenas uma das fases.

IV. MEDIDAS E CALIBRAÇÃO EM LABORATÓRIO

A. Velocidade de Propagação, Atenuação e Impedância Característica

Para a calibração do equipamento foram testados quatro tipos de cabos com características de propagação e impedância distintas.

A caracterização dos cabos permitiu que a atenuação, a impedância característica e a velocidade de propagação fossem determinadas para a validação do cálculo das reflexões e distâncias na linha.

Foram escolhidos cabos do tipo PP 6mm, com 3 vias, de quatro fabricantes diferentes, com um comprimento padrão de 25 metros.

A tabela I resume os ensaios de Z_0 e V_p .

Observa-se que a impedância característica, Z_0 , apresenta pouca variação entre os cabos testados, situando-se na faixa de 68 a 73 ohms. A velocidade de propagação, V_p , medida para cada cabo, apresentou uma variação maior, situando-se entre 0,53 e 0,62. Essa variação demonstra a necessidade de uma rotina de calibração, em campo, antes de se iniciar uma medida com o equipamento.

Tabela I. Resultados dos Ensaio de Z_0 e V_p

Tipo	Z_0 (ohms)	V_p
Silnax	68	0,53
Prysmian	71	0,62
Inbrac	74	0,57
Nambei	73	0,58

A tabela II apresenta o resultado dos fatores de atenuação medidos para cada cabo terminado com a sua impedância característica, Z_0 .

Tabela II. Resultados dos Ensaio de Atenuação

Tipo	Fator de atenuação (dB/m)			
	6 MHz	12 MHz	24 MHz	48 MHz
Silnax	-0,06	-0,11	-0,19	-0,40
Prysmian	-0,08	-0,17	-0,12	-0,23
Inbrac	-0,07	-0,16	-0,22	-0,40
Nambei	-0,07	-0,11	-0,14	-0,38

B. Influência da geometria do cabo

Outro aspecto importante a ser destacado é a influência da geometria na variação da impedância do cabo. Ou seja, não há variações significativas de impedância em um cabo com uma geometria bem definida e homogênea. Por outro lado, um cabo sem uma separação homogênea entre os condutores apresenta pontos de grande variação de impedância e inúmeras reflexões.

V. TESTES DE CAMPO E RESULTADOS

Os testes de campo do protótipo foram realizados em uma linha de distribuição de baixa tensão, na área do Polo Náutico da UFRJ, dentro da Cidade Universitária, na região da Ilha do Governador, RJ.

Foi construída uma linha de distribuição, a partir de um transformador de BT, com o comprimento total de 92 metros. Ao longo da linha foram instaladas 5 caixas de inspeção do tipo passagem elétrica de piso.

A linha foi adaptada para permitir simulações de falhas e derivações, de modo a validar as medidas do equipamento em um ambiente controlado, onde são conhecidas as distâncias, tipos de cabo e as fases da distribuição.

Foi construída a primeira caixa no ponto de 0 m para ser utilizada como ponto de conexão do equipamento e foram construídas mais 4 caixas, localizadas a 25 m, 50 m, 75 m e 92 m, para os testes de curto e derivações.

Para os testes foi utilizado um cabo isolado com 4 condutores do tipo PP 4 x 6mm² 750V NBR13249.

A figura 4 mostra uma vista geral do ambiente de campo.



Figura 4 – Vista Geral do Ambiente de Teste de Campo

As caixas foram localizadas nas distâncias mostradas na Tabela III.

Tabela III. Instalação das Caixas de Medição na Linha

Caixa	Distância (m)	Teste
1	0	Conexão do equipamento
2	25	Derivação ou curto
3	50	Derivação ou curto
4	75	Derivação ou curto
5	92	Final do cabo (aberto ou curto)

Por requisitos de síntese e atendimento ao formato desse trabalho serão apresentados apenas os resultados obtidos com a caixa instalada a 25 metros.

A. Derivação a 25 metros

Com a linha desenergizada, foi utilizado um comprimento de cabo de 10 metros, conectado na caixa distante 25 metros do início da linha, para simular uma derivação.

Foi verificado o aparecimento de uma reflexão na resposta da fase correspondente. Foi possível observar que não há efeito significativo na outra fase.

Em seguida a linha foi energizada e a mesma leitura com os cursores foi repetida para validar o uso, também, nessa situação.

A figura 5 apresenta a tela com o resultado das medidas.

A distância medida entre o início da linha até a derivação de 25 metros foi de 24,83 m, já descontado o comprimento das conexões entre o equipamento e a linha. A derivação aparece na forma de uma reflexão bem pronunciada no canal A, traço superior, em comparação com o sinal do outro condutor, no canal B, traço inferior. Algumas reflexões secundárias, de menor amplitude, são observadas no condutor do canal B, mas sem interferência no resultado da medida.

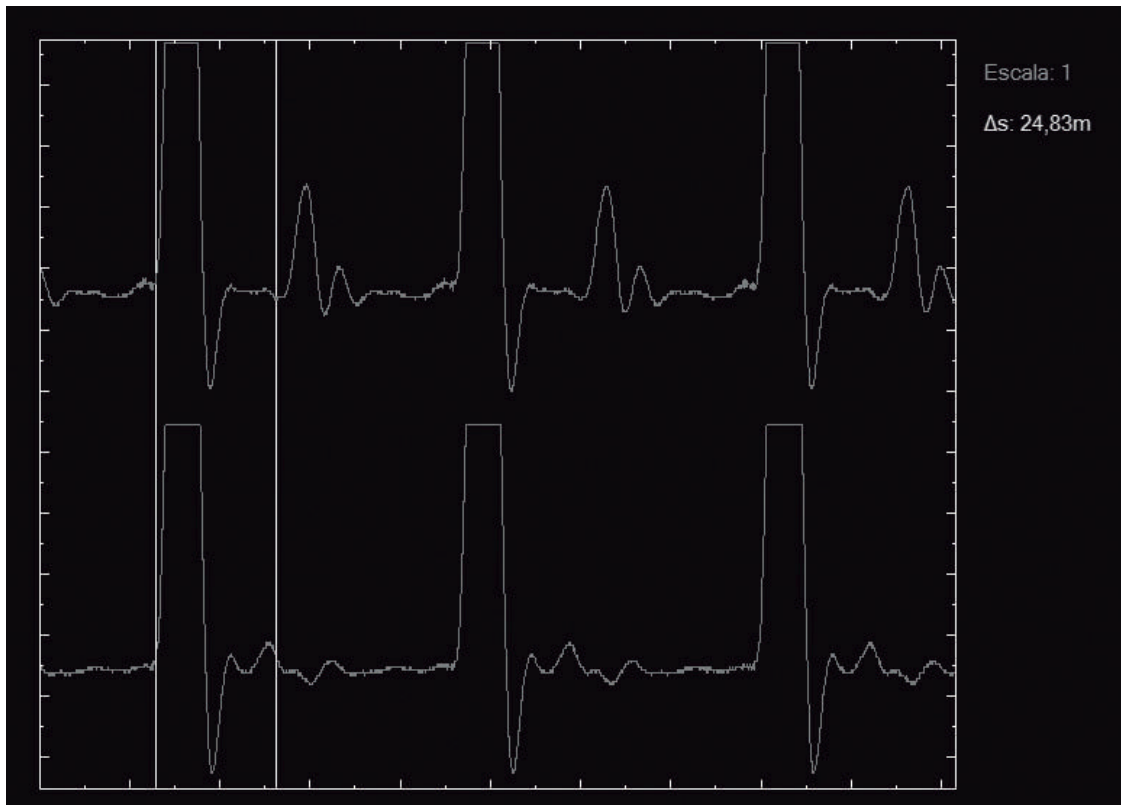


Figura 5 – Identificação da derivação a 25 metros com linha energizada

O erro na medida foi de 0,7% e, do ponto de vista prático, esse é um resultado aceitável para equipes de localização de falhas em campo.

VI. CONCLUSÕES

O trabalho atingiu o objetivo de propor uma técnica de reflectometria no domínio da frequência que possibilitasse a identificação de falhas e derivações, com precisão, em cabos subterrâneos de distribuição elétrica de baixa tensão, energizados, consolidando a expectativa de uma maior assertividade nas ações de combate às perdas comerciais.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Decania do Centro de Tecnologia e a Coordenação do Polo Náutico da Universidade Federal do Rio de Janeiro pela disponibilização da área para a implantação do ambiente de testes de campo do protótipo.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. B. Basava, "Detection and location of cable faults using reflectometry methods", MS Thesis, Utah State University, 2004.
- [2] P. K. Pendayala, "Development of algorithms for accurate wire fault location using spread spectrum reflectometry", MS Thesis, University of Utah, 2004.
- [3] Y. Chung, C. Furse, J. Pruitt, "Application of phase detection frequency domain reflectometry for locating faults in a F-18 flight control harness", in IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 2005, 47(2), pp 327-334.
- [4] C. Furse, Y. Chung, R. Dangol, M. Nielsen, G. Mabey, R. Woodward, "Frequency domain reflectometry for on board testing of aging aircraft wiring", in IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, May, 2003, pp 306-315.
- [5] C. Furse, Y. Chung, C. Lo, P. Pendayala, "A Critical Comparison of Reflectometry Methods for Location of Wiring Faults", Smart Structures and Systems 2(1), pp. 25-46, 2006.

Desenvolvimento de metodologia para planejamento integrado eletroenergético da região nordeste

Sergio P. dos Santos (1), Gustavo Melo(1), Pedro A Melo(1), Ronaldo R. B. Aquino(2), Geraldo L. Torres(2), Augusto C. C. de Oliveira(2), Otoni Nóbrega Neto(2), Milde M. S. Lira(2), Guilherme D. Soriano(2), Rodrigo N. de Melo(2), José F. da Nóbrega Filho(2), Antonio C. Z. de Souza(3)

Resumo – Um dos grandes desafios do planejamento da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil é definir, no momento do planejamento, recursos de geração com flexibilidade operacional que incentivem a expansão da geração e garantam a otimização e a segurança do sistema planejado, no momento da operação. Neste projeto objetivou-se desenvolver uma Metodologia para Planejamento Integrado Eletroenergético da Região Nordeste, através da modelagem de diversas fontes geradoras possíveis como: hidráulica, térmica, solar, biomassa e eólica, e da aplicação de avançadas ferramentas de otimização via métodos de pontos interiores. Os resultados mostram a eficácia para o tratamento e solução do problema de planejamento da expansão se mostrando com uma solução ótima ou a mais adequada a atender aos objetivos estratégicos.

Palavras-chave – Energia Eólica, Programação Linear, Inteira e Não-linear, Simulação Energética, e Sistemas Inteligentes Híbridos.

Projeto número 048-006/2007 ANEEL- Desenvolvimento de Metodologia para Planejamento Integrado Eletroenergético da Região Nordeste - DMPIER'; Pesquisa Estratégica – Planejamento Eletroenergético; CHESF; UFPE e UNIFEI; R\$ 1.418.724,20.

1 CHESF (sergiops@chesf.gov.br , ghsmelo@chesf.gov.br, pamelo1947@gmail.com).

2 UFPE(rrba@ufpe.br,gltorres@ufpe.br,acesar@ufpe.br, Otoni.nobrega@ufpe.br, milde@ufpe.br, jos_jfnf@hotmail.com, guisoriano@gmail.com, rodrigonunesmelo@hotmail.com).

3 UNIFEI (zambroni@unifei.edu.br).

I. INTRODUÇÃO

Com o atual nível de aproveitamento, quase que completo, do potencial hidrelétrico economicamente competitivo da região Nordeste, o abastecimento de energia elétrica a essa região estará, no futuro, na dependência de forte componente de importação de energia hidrelétrica de outras regiões (Norte e Sudeste) e da introdução expressiva de geração local, seja de origem termelétrica e ou de fontes alternativas (eólica, biomassa e solar).

A Figura 1 mostra os principais componentes de um sistema hidrotérmico-eólico. O desafio é definir a composição ótima do mix energético da matriz de oferta da produção de energia elétrica regional integrada à matriz nacional e subordinada aos condicionantes técnicos das alternativas que sejam viáveis de expansão do sistema de transmissão nacional. Ou seja, o planejamento integrado da expansão do sistema eletro-energético.

Tal problema de otimização multi-objetivo é de grande porte [1], cujo desafio de modelagem e solução tem de enfrentar, inclusive, a inexistência de experiências de tal porte no Brasil, bem como, o de falta de modelos matemáticos e computacionais já desenvolvidos e adequados para a sua abordagem, de modo a permitir usá-los no suporte às decisões de definição da trajetória e dos alvos ótimos a serem perseguidos.

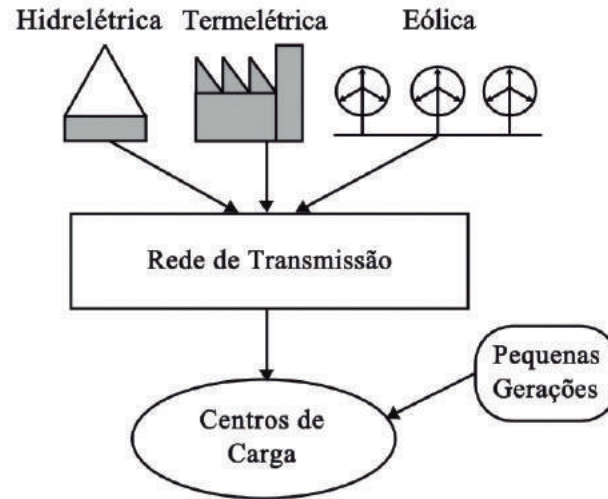


Figura 1. Esquema do sistema hidrotérmico-eólico.

Objetiva-se com este projeto considerar a integração geração-transmissão como um processo contínuo de redespacho da geração, visando eliminar possíveis restrições sistêmicas, considerando um modelo de otimização hidrotérmica individualizado, e com representação do sistema de transmissão, disponibilizando novas ferramentas computacionais que permitirão o seu uso pela Chesf, e pela sociedade de uma forma geral, no interesse de se discutir alternativas e soluções mais adequadas, garantindo a minimização dos riscos de racionamento e melhorando a qualidade dos serviços prestados.

II. MODELO INTEGRANDO SISTEMAS ELÉTRICO E ENERGÉTICO NO HORIZONTE DE EXPANSÃO

O montante da geração é inicialmente definido considerando apenas o problema de planejamento energético, por questões de dimensionalidade do problema. Porém, não é raro ocorrer congestionamentos na rede elétrica em virtude da geração resultante. A solução do modelo elétrico tem como objetivo ajustar, de forma otimizada, o plano de geração definido pelo modelo energético de maneira a atender os limites de operação considerados.

Com a Metodologia consolidada propôs-se o modelo para o planejamento integrado eletroenergético do Sistema Interligado Nacional. A Figura 2 mostra um fluxograma deste processo.

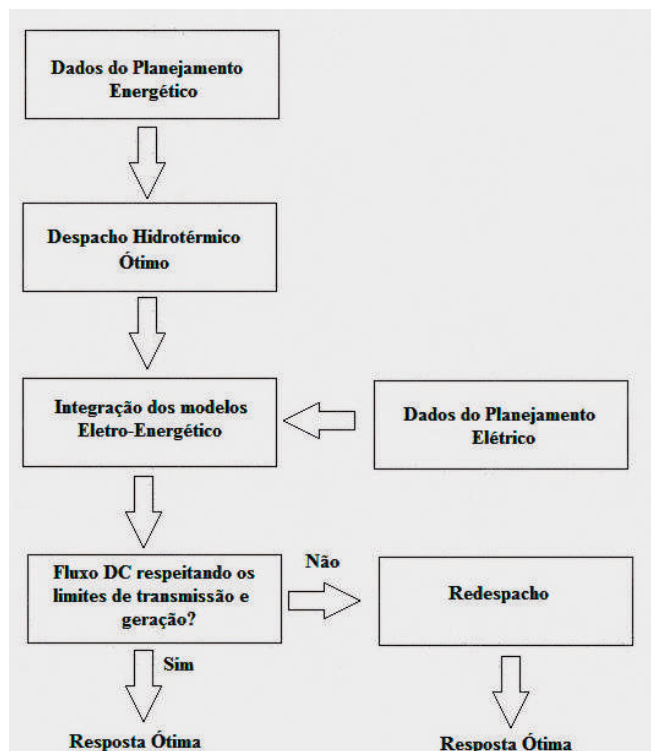


Figura 2. Fluxograma da Metodologia de Planejamento Integrado Eletro-Energética Desenvolvida.

Para a utilização da proposta metodológica foi desenvolvido um software chamado dhoVisual3P, cujo ambiente é mostrado na Figura 3. Consiste em uma ferramenta de otimização do despacho hidrotérmico individualizado em três patamares de carga, e suas principais características são:

Entradas:

1. Projeções de mercado;
2. Histórico de vazões;
3. Custos unitários de déficit e geração térmica;
4. Dados gerais das unidades geradoras hidráulica, eólicas e térmicas;
5. Informações dos limites de interligações entre subsistemas;
6. Dados do sistema elétrico (LT, Trafos, etc).

Saídas:

1. Geração hidráulica, térmica, eólica, intercâmbio entre os subsistemas, custos e mercado atendido para os três patamares de carga;

2. Relatório de otimização contendo dados da convergência do problema;
3. Relatório de planejamento contendo informações da geração, mercado, custos, entre outros, para os três patamares de carga no horizonte de estudo;
4. Programa de expansão da geração e transmissão otimizadas em função dos dados no horizonte de estudo.

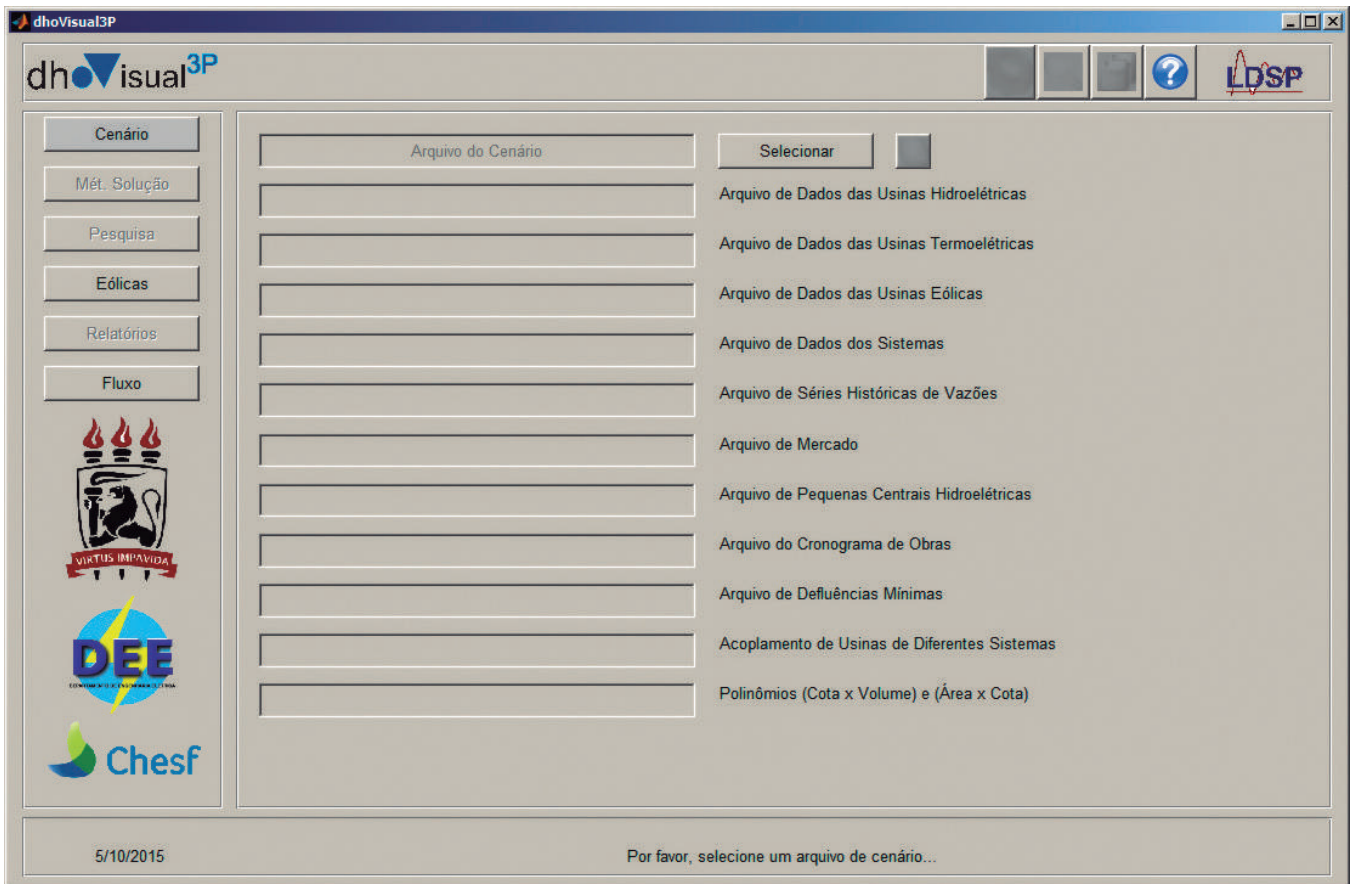


Figura 3. Ambiente do Programa dhoVisual3P.

O dhoVisual3P dispõe de dois conjuntos de métodos de solução: dhoSol e Linprog.

O dhoSol consiste em um conjunto de três algoritmos de pontos interiores [2]:

- Primal-Dual Simplex;
- Primal-Dual Predictor-Corretor;
- Múltiplas Correções de Centralidade.

Todos os algoritmos do dhoSol foram desenvolvidos pela equipe do projeto e, portanto, possibilitam total controle dos parâmetros de otimização.

III. ESTUDO DE CASO: PLANO DE EXPANSÃO EPE/ONS

Para realização da integração com o planejamento energético foram consideradas as configurações físicas básicas (dados de barras e de linhas) do sistema energético e elétrico do Nordeste e suas respectivas ligações com o subsistema das regiões Norte e Sudeste/Centro-Oeste. Nestes casos foi possível verificar a aplicabilidade da ferramenta e demonstrar que a mesma é de muita importância para a Chesf e para o Setor Elétrico.

O estudo de caso foi realizado sobre o plano de expansão PDE/EPE 2022 e PAR/ONS 2013-2017. A Figura 4 mostra o ambiente de simulação, com possibilidade de visualizar, em três patamares a geração, déficit, mercado e custos de cada alternativa.

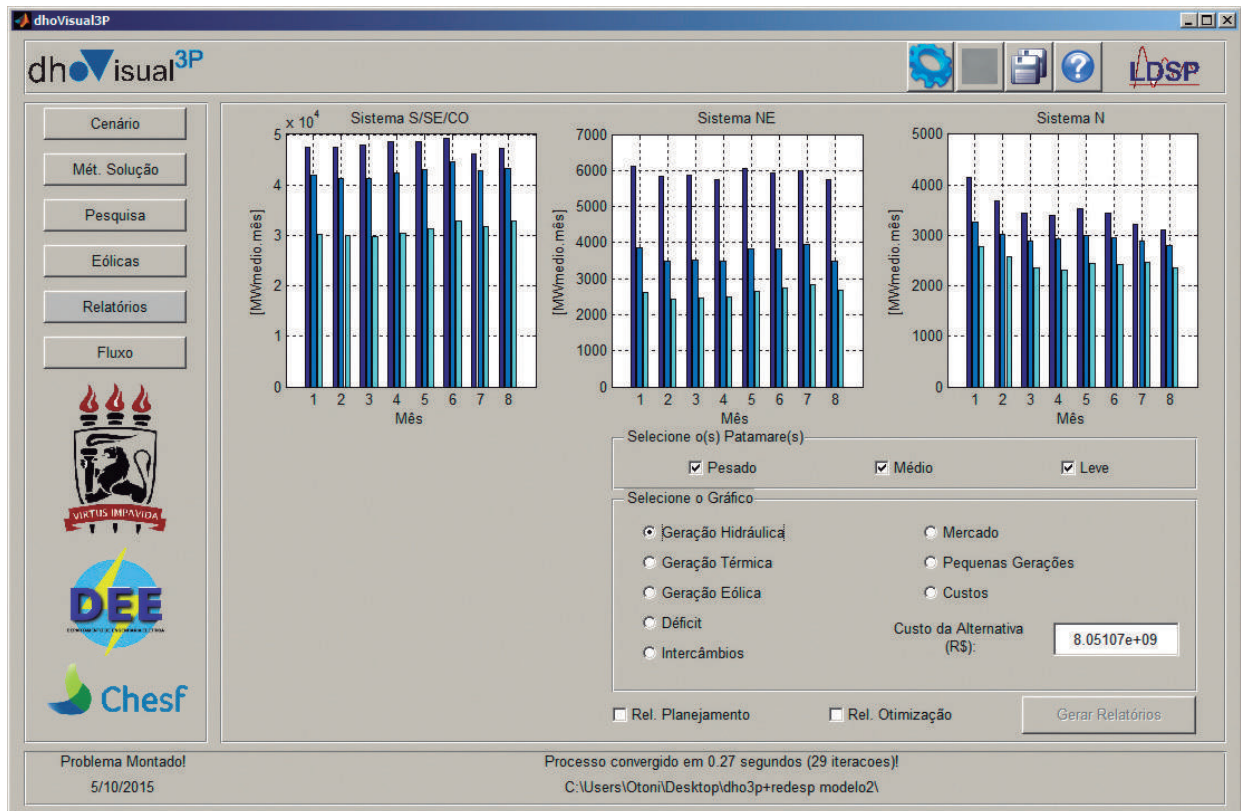


Figura 4. Ambiente de simulação do dhoVisual3P, em destaque a geração hidráulica por subsistema.

Já na função 'detalhar usina' é possível detalhar os parâmetros de operação por usina; a Figura 5 mostra o nível de armazenamento do reservatório de Sobradinho para os anos simulados, Hidrologia 05/1970 a 04/1980, considerada favorável.

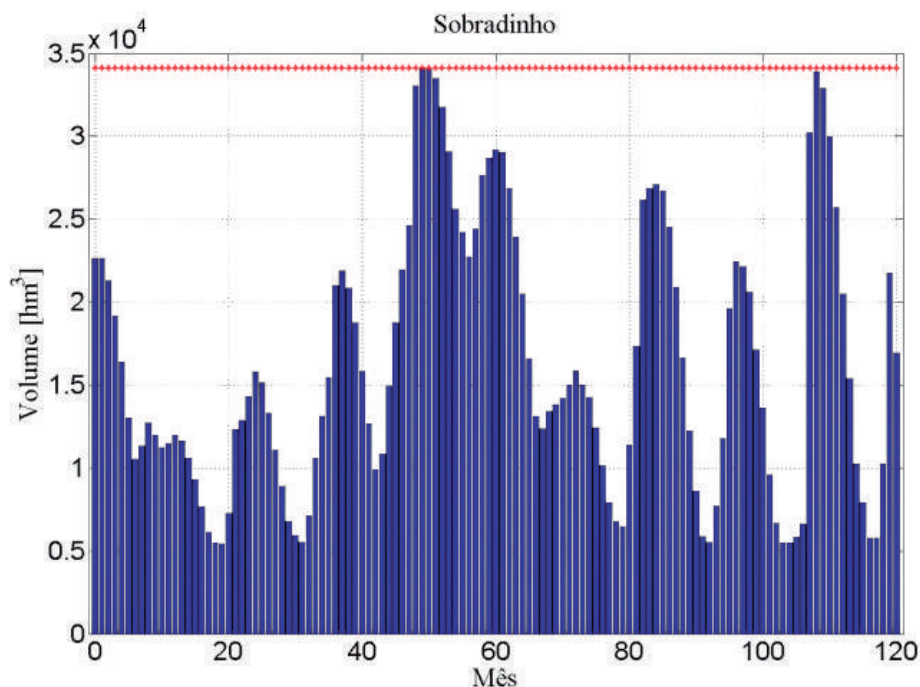


Figura 5. Detalhamento do armazenamento da UHE Sobradinho.

Na simulação do sistema de transmissão para verificar se há sobrecarga é realizado o redespacho. A Tabela I mostra o relatório com as linhas com carregamento maior que 90% no patamar de carga pesada; as linhas 229-44 e 18522-18523 apresentaram sobrecargas.

O programa estabelece a solução das restrições com o redespacho da geração e, caso seja necessário, a utilização de geração fictícia para a eliminação dos congestionamentos, como mostrado na Figura 6.

Número Interno	Da Barra	Para Barra	CN (MW)	CE (MW)	Injeção Barra De P(MW)	Injeção Barra Para P(MW)
190	229	44	70	84	-97,77	97,77
1482	18522	18523	18	18	-17	-17

Figura 6. Relatório de otimização das restrições elétricas.

PESADO					
Barra		Injeção P(MW)		Fluxo máximo (MW)	
De	Para	De	Para	CN	CE
200	4	-86,93	86,93	75	90
200	5	-86,93	86,93	75	90
200	6	-86,93	86,93	75	90
229	44	-102,91	102,91	70	84
300	11	-248,37	248,37	240	288
401	844	24,68	-24,68	23	27
18522	18523	-37,20	37,20	18	18
200	8	-97,61	97,61	90	108
200	9	-97,61	97,61	90	108

Tabela I. Relatório com Linhas com carregamento maior que 90%.

IV. CONCLUSÕES

Mesmo após anos de sua concepção, o projeto apresenta um caráter bastante inovador, a própria ANEEL na Chamada de Projeto de P&D Estratégico nº 017/2013 – “Desenvolvimento de Tecnologia Nacional de Geração Eólica”, solicita, dentre outras coisas, estratégias de otimização dos recursos energéticos para aumentar a segurança de abastecimento eletroenergético e a diversificação da matriz energética.

O setor elétrico será o maior beneficiado com a metodologia, órgãos como o Ministério de Minas e Energia - MME através da Secretaria de Energia podem utilizar a ferramenta como forma de análise complementar aos programas setoriais. A Empresa de Pesquisa Energética – EPE como subsídio para os documentos do Plano Decenal de Expansão. A ANEEL possibilitando acompanhar o desempenho do setor energético pela capacidade de individualização do sistema e o ONS como forma de subsidiar as decisões operativas.

Diversos trabalhos foram desenvolvidos no âmbito do projeto [3-6] mostrando a atuação próativa da UFPE e CHESF no desenvolvimento estratégico, tema do futuro energético do Nordeste, sendo também uma fonte de desenvolvimento especializado de seus recursos humanos envolvidos com as questões do planejamento eletroenergético.

Por tudo o quanto foi exposto, a execução do Projeto “Desenvolvimento de Metodologia para Planejamento Integrado Eletroenergético da Região Nordeste - DMPER”, parte integrante do Programa CHESF de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, Ciclo 2006-2007, aprovado pela ANEEL, foi executado com êxito pelas instituições envolvidas. Os resultados da aplicação da metodologia mostram a agilidade e a precisão na tomada de decisões estratégicas, assim como na identificação de problemas e oportunidades, otimizando as gerações hidráulicas e térmicas e tratando de forma detalhada a modelagem NE, definindo os melhores e mais econômicos pontos de conexão das gerações distribuídas.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZAMBELLI, M. e SOARES, S., “A Predictive Control Approach for Long Term Hydrothermal Scheduling”, IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, PSCE’09, 2009.
- [2] TORRES, G. L. e QUINTANA, V. H., “On a nonlinear multiple-centrality-corrections interiorpoint method for optimal power flow”, IEEE Trans. On Power Systems, vol. 16, no. 2, pp. 222- 228, May 2001.
- [3] CORDEIRO L. F. A. “Eficiência Energética no Planejamento do Setor Elétrico com Foco nas Emissões de CO2”, Eco_Lógicas: Concurso Latino-Americano de Monografias sobre Energias Renováveis e Eficiência Energética, promovido pelo Instituto IDEAL, 2015.
- [4] CORDEIRO L. F. A. “ Planejamento do Setor Elétrico Brasileiro com Foco nas Emissões de CO2 ”, PPGEE/UFPE, Tese de Doutorado, defendida em Agosto 2015;
- [5] MELO R. N. “Métodos de Otimização para Resolução do Problema do Despacho Hidrotérmico Considerando a Geração Eólica em Três Patamares de Carga”, PPGEE/UFPE, Dissertação de Mestrado, Junho 2016;
- [6] SORIANO G. D. “Métodos de Otimização para Resolução do Problema Do Despacho Hidrotérmico-Eólico em função da não linearidade na Altura de Queda”, PPGEE/UFPE, Dissertação de Mestrado, Julho 2016.

Sistema de análise e gerenciamento de indicadores de qualidade de energia

Guilherme de A. e Melo(1), Rodrigo A. N. de Oliveira(1), Luís. C. O. de Oliveira(1), Júlio B. de Souza(1), Roberto J. C. da Silva(2), Bernard de S. Gouveia(2), Krystyanny da R. Cavalcanti(2) e Carlos A. Canesin(1)

Resumo – Este artigo apresenta um sistema monitor e aplicativo para análise e gerenciamento, do histórico e evolução, dos principais indicadores de Qualidade da Energia Elétrica (QEE), implantado em redes de distribuição da Eletrobras Distribuição Alagoas. O sistema é composto por monitores PQube/PSL, configurados para tratamento dos indicadores de QEE em regime permanente. O aplicativo de tratamento, análise e gerenciamento dos indicadores de QEE (PQGenAnalyzer 1.0) foi desenvolvido para operar em sistema servidor com dados extraídos da base de dados geoposicionados das redes de distribuição. Adicionalmente, o aplicativo possui a funcionalidade de executar a simulação do fluxo de potências para o carregamento não linear da rede em análise. Por sua capacidade de identificação dos parâmetros críticos da rede, no que tange a níveis normativos e de QEE, o PQGenAnalyzer resulta em ferramenta de extrema importância para o acompanhamento da operação de redes de distribuição, com vistas às ações corretivas para garantir QEE.

Palavras-chave – Cargas elétricas não lineares, Fluxo de potências em redes de distribuição, Gerenciamento de QEE, Monitoramento de QEE, Redes elétricas do futuro.

Informações sobre o Projeto de P&D: 'ANEEL PD044-0027/2013 Sistema de gerenciamento, análise e controle dos indicadores de qualidade de energia em alimentadores de distribuição da CEAL'; Tema QC01, Subtema QC02; 'Eletrobras Distribuição Alagoas/CEAL'; 'LEP (Laboratório de Eletrônica de Potência) DEE - FE/IS-UNESP e FEPISA'; R\$ 1.437.897,38'.

1 'Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" UNESP - FE/IS - Departamento de Engenharia Elétrica – Ilha Solteira(SP)' (e-mail: canesin@dee.feis.unesp.br).

2 'Eletrobras Distribuição Alagoas – CEAL – Maceió(SP)' (e-mail: bernard.gouveia@eletrobrasalagoas.com)

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas elétricos de geração, transmissão e distribuição de energias elétricas têm evoluído sobremaneira nestas duas últimas décadas. Entretanto, apesar da recente evolução tecnológica da instrumentação e monitoramento em tempo integral terem alcançado as subestações de distribuição, pouco ou quase nada ainda se observa nas redes e alimentadores de distribuição do país.

A operação das redes de distribuição tem exigido a evolução dos requisitos de engenharia e o desenvolvimento de ferramentas de análise, monitoramento e gerenciamento das mesmas, considerando-se a exponencial evolução dos carregamentos não lineares destas e as interações decorrentes com os elementos de compensação e regulação [1]-[2].

No cenário atual de evolução constante das regulamentações e normas que estabelecem critérios mínimos de Qualidade da Energia Elétrica (QEE) [3]-[7], um fator adicional nesta última década tem alterado sobremaneira a forma de avaliação dos fluxos de potências nas redes de distribuição e nos sistemas elétricos, considerando-se as inserções de diversas tecnologias de Geradores Distribuídos (GD).

Neste contexto, apesar dos esforços conjuntos desempenhados pelas concessionárias e consumidores, observa-se atualmente que os índices de distorção, oscilação de tensão e desequilíbrios tem aumentado de modo individual ou conjuntamente, ultrapassando muitas vezes os níveis máximos admissíveis ou recomendados [1], [8]-[12].

Portanto, neste novo cenário das denominadas Redes Elétricas do Futuro, ou também Smart Grids, a instrumentação dos sistemas de distribuição e o uso de aplicativos para avaliação do desempenho dos mesmos, constituem-se como ferramentas estritamente necessárias para o gerenciamento destes sistemas e de seus principais indicadores de qualidade, impactando no custo operacional e estabilidade da rede [2], [8]-[11].

O uso de aplicativos computacionais para avaliação do desempenho de um sistema típico de distribuição, no contexto da garantia da operação dos sistemas dentro dos padrões de qualidade desejados, constitui-se ainda como ferramenta de extrema importância para a análise técnica de pedidos de novas ligações, cargas e principalmente GD, e/ou aumento de demanda, assim como na instalação e ajuste de equipamentos de mitigação e compensação.

Neste contexto, este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta de análise e gerenciamento dos principais parâmetros de QEE para redes de distribuição de energia elétrica (PQGenAnalyzer), resultando em uma garantia para a operação do sistema dentro de parâmetros de excelência, aplicada num exemplo de caso na Eletrobras Distribuição Alagoas/CEAL.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O produto desse trabalho é constituído por uma ferramenta de análise computacional (PQGenAnalyzer) do fluxo de potência da rede, a qual considera as não linearidades do sistema, podendo ser alimentada com variáveis reais do sistema. A figura 1 apresenta a tela principal da ferramenta desenvolvida, na qual os três alimentadores interconectados foram importados do banco de dados da Eletrobras, podendo ser analisados conjuntamente ou de forma individual.

Para promover uma eficiente alimentação dos dados reais da rede, foram instalados sete monitores de QEE ao longo de um dos alimentadores. A constituição dos monitores de rede para os principais parâmetros de QEE conta com analisadores de qualidade PQube, fabricados pela PSL-Power Standards Lab, os quais possuem a funcionalidade de transferência remota dos dados de QEE e eventos ocorridos, para a constituição de um Banco de Dados residente na sede da Eletrobras Distribuição Alagoas em Maceió (AL).

O sistema, cujo esboço é apresentado na figura 2, conta com um monitoramento em “tempo real”, uma vez que a coleta dos dados possui um tempo de atraso máximo de 10 minutos, e que esse sistema foi idealizado para monitoramento dos parâmetros de QEE, propiciando estratégias muito mais confiáveis de compensação e expansão da rede e das cargas.

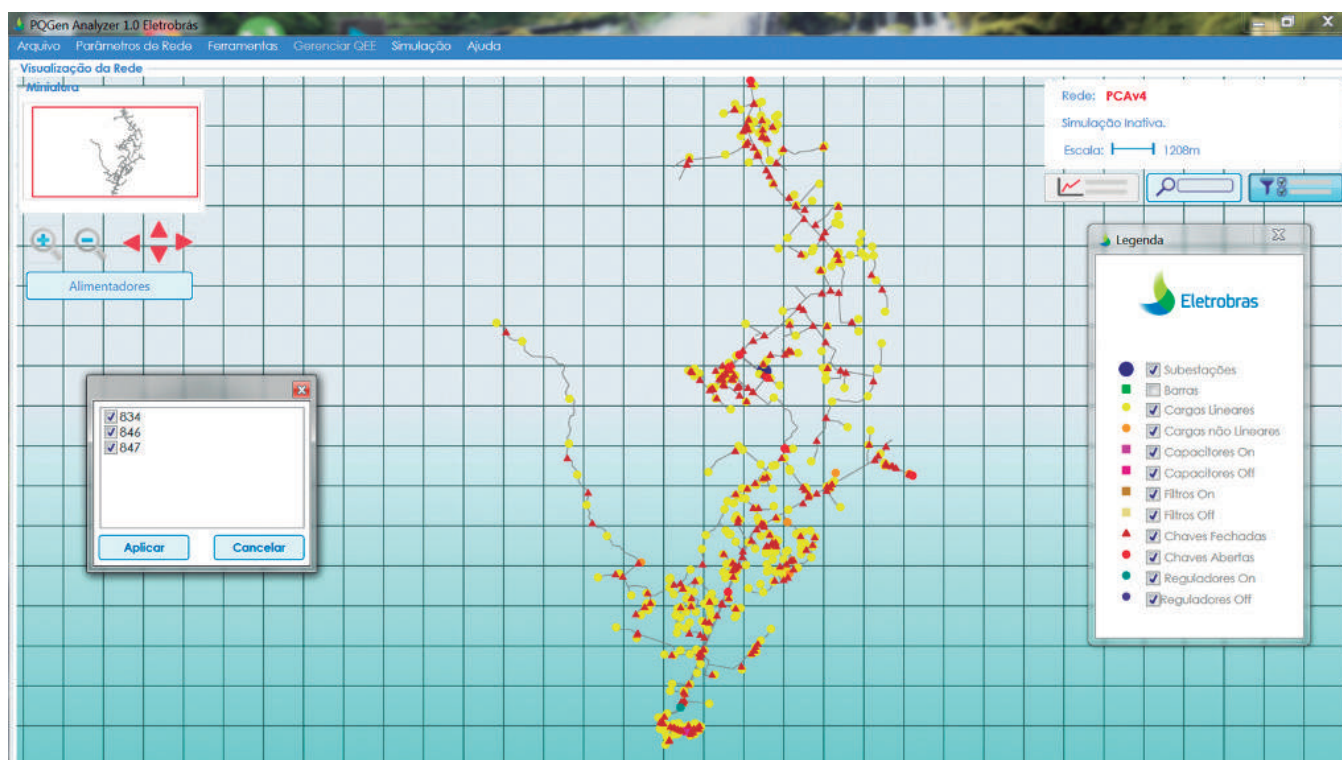


Figura 1. Aplicativo de Gerenciamento, simulação e análise de indicadores de QEE, para redes de distribuição (PQGenAnalyzer).

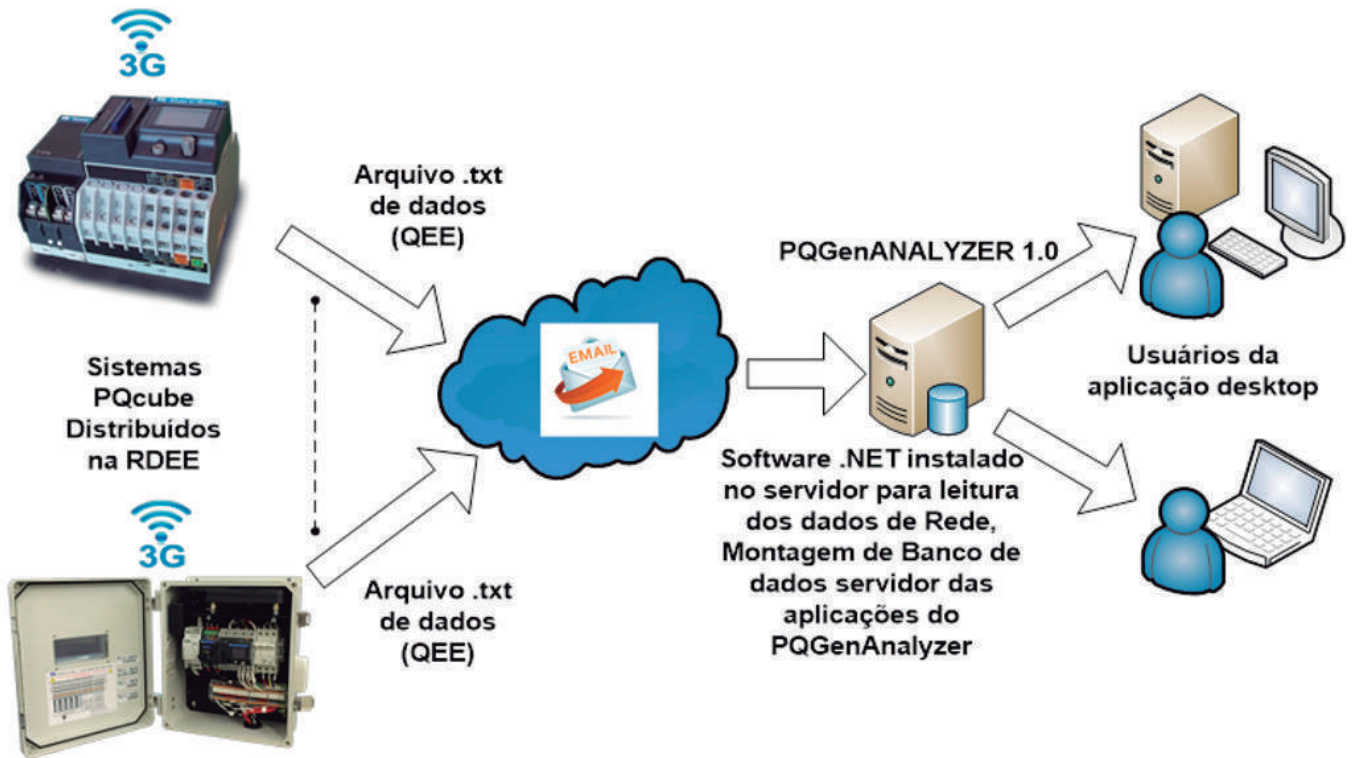


Figura 2. Representação do sistema de monitoramento de indicadores de QEE.

Considerando-se os recursos disponíveis para o desenvolvimento dessa pesquisa, apenas um alimentador foi admitido como estudo de caso para a instalação da instrumentação com os monitores de QEE. Esse alimentador (846), derivado de uma SE (Subestação de Distribuição) denominada PCA, de longa extensão, comporta cargas com características bem distintas, com carregamento não linear decorrente de áreas residencial, comercial, industrial e rural, resultando em uma linha de distribuição elétrica com altos índices de perturbações relacionadas a eventos de QEE, os quais podem resultar em penalidades para a concessionária.

Para uma adequada avaliação dos perfis de tensão e parâmetros de QEE para o alimentador 846, foram utilizados sete pontos estratégicos de monitoramento, os quais são indicados por círculos azuis na figura 3. A tabela I apresenta a descrição dos pontos de instalação dos analisadores PQube, seguindo a numeração mostrada na figura 3.

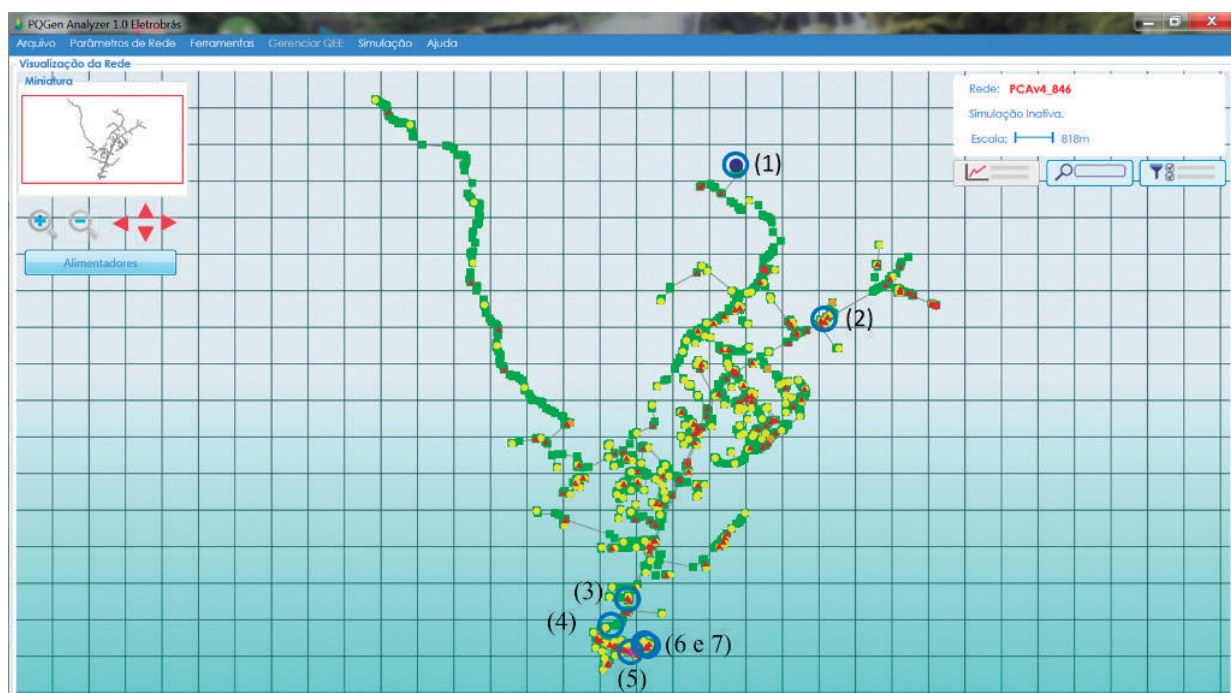


Figura 3. Alimentador 846 (SE PCA), estudo de caso para a instalação dos sistemas de monitoramento remoto de indicadores de QEE.

Tabela I. Pontos de instalação de monitoramento de acordo com a figura 3

Número	Especificações da Barra
(1)	Saída da Subestação SE PCA
(2)	Alimentação de um condomínio de elevada demanda
(3)	Instituição de ensino superior (Montante do RT)
(4)	Jusante de Regulador de Tensão
(5)	Banco de capacitores
(6)	Máquina de Refrigeração de hotel de grande porte
(7)	Hotel de grande porte ao final do alimentador
*RT (Regulador de Tensão)	

Um exemplo de instalação do equipamento de monitoramento QEE é mostrado na figura 4, onde são destacados os transformadores de potencial (TP), os transformadores de corrente (TC) e o PQiAb, contendo o PQube e todos os acessórios necessários para sua instalação em ambiente externo.

A. Ferramentas do PQGenAnalyzer



Figura 4. Instalação do monitoramento com o analisador PQube na barra de alimentação do condomínio identificado como (2).

O aplicativo desenvolvido, PQGenAnalyzer, permite a simulação dos fluxos de potências nos alimentadores que compõe a SE estudo de caso, envolvendo a modelação do carregamento não linear dos mesmos, permitindo o gerenciamento em tempo “quase real” dos principais parâmetros de QEE do alimentador nos pontos de interesse onde encontram-se instalados os monitores de QEE. As análises dos fluxos de potências e parâmetros de QEE são possíveis através do aplicativo PQGenAnalyzer, onde automaticamente são classificados os eventos de QEE e informadas em códigos de cores as áreas críticas do alimentador.

São inúmeras as possibilidades de análise utilizando-se dados coletados dos analisadores PQube. Um exemplo é apresentado na figura 5, onde o perfil de tensão (em valores eficazes) ao longo do alimentador é analisado, considerando-se os pontos de medição adotados.

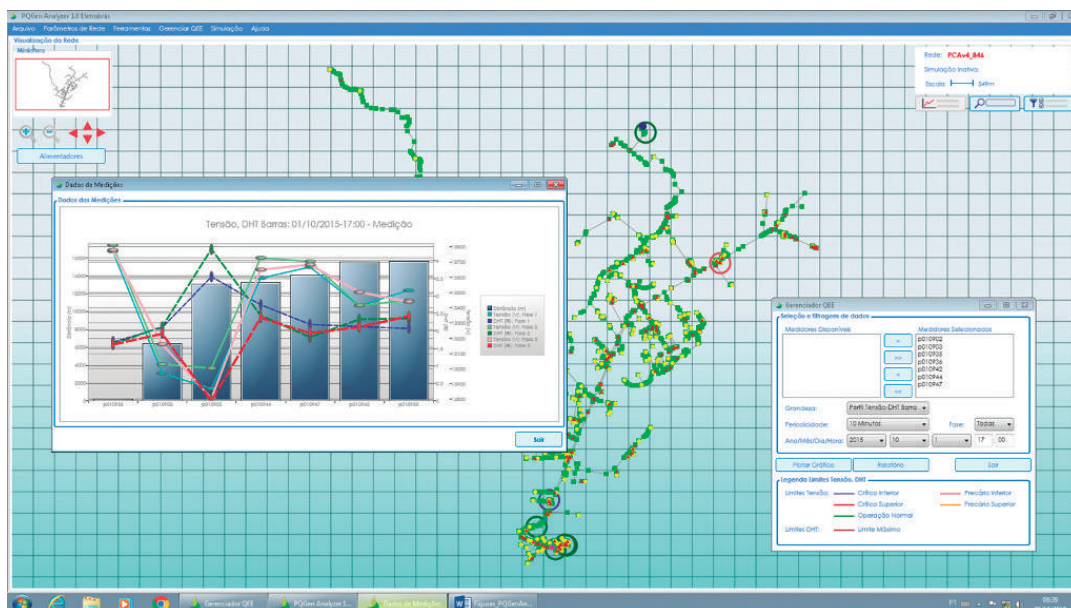


Figura 5. Perfil de tensão ao longo do alimentador estudo de caso, considerando-se os pontos de monitoramento, análise em 01/10/2015 as 17:00 horas, todas as fases.

B. Parâmetros de Monitoramento

Para que o aplicativo PQGenAnalyser seja alimentado convenientemente, diversos dados coletados devem compor o banco de dados residente na empresa, o que foi realizado nessa pesquisa pelos analisadores PQube.

A tabela II apresenta os parâmetros envolvidos nesse estudo e a periodicidade de envio ao banco de dados.

Tabela II: Classificação dos principais parâmetros de QEE avalia-dos.

Identificação do Distúrbio	Dado (horário transferência)
VTCD	Perfil RMS dos eventos (as 0:00h)
Tensão RMS	Valores médios de 10 minutos (as 0:00h)
Corrente RMS	Valores médios de 10 minutos (as 0:00h)
Deseq.Tensão	Percentis 95, 97, 99% diários (as 0:00h)
Deseq. Corrente	Percentis 95, 97, 99% diários (as 0:00h)
DHT Tensão	Percentis 95, 97, 99% diários (as 0:00h)
DHT Corrente	Percentis 95, 97, 99% diários (as 0:00h)
Flicker PST	Percentis 95, 97, 99% diários (as 0:00h)
Flicker PLT	Percentis 95, 97, 99% semanais (as 0:00h)
IMT	No momento da ocorrência
AMT	No momento da ocorrência
EMT	No momento da ocorrência
ITT	No momento da ocorrência
ATT	No momento da ocorrência
ETT	No momento da ocorrência

*** Deseq. (Desequilíbrio), Interrupção Momentânea de Tensão (IMT), Afundamento Momentâneo de Tensão (AMT), Elevação Momentânea de Tensão (EMT), Interrupção Temporária de Tensão (ITT), Afundamento Temporário de Tensão (ATT), Elevação Temporária de Tensão (ETT).**

III. CONCLUSÕES

O aplicativo desenvolvido, PQGenAnalyser, permitiu a simulação do fluxo de potências dos alimentadores da SE estudo de caso (alimentador 846), envolvendo a modelação dos carregamentos não lineares que impõe os principais componentes de distorções e assimetrias nestes alimentadores. Adicionalmente, o aplicativo permite o gerenciamento integral dos pontos de interesse graças ao monitoramento em “tempo real” dos analisadores de QEE adotados, possibilitando a análise “instantânea” dos trechos e barras monitoradas da rede para detecção de limites críticos e/ou precários dos parâmetros de QEE, em relação às normas estabelecidas para redes de distribuição.

Com a possibilidade de gerenciamento integral da operação das redes de distribuição, permitem-se ações preditivas e preventivas de engenharia para a melhoria constante dos indicadores de QEE, estabelecidos em regime permanente e transitórios, possibilitando a redução de penalidades/multas pelo não cumprimento destes indicadores em seus limites padronizados, assim como, a redução de perdas, ajustes de equipamentos de regulação e compensação, dentre outras importantes contribuições para a operação segura e com qualidade para redes de distribuição de energias elétricas.

Por sua flexibilidade, o aplicativo torna-se ainda um instrumento efetivo para a liberação de novas conexões de cargas e aumentos de demandas. Ainda, além do monitoramento atual do fluxo de potências (ativa, reativa e aparente) e parâmetros de QEE, tem-se a possibilidade da implementação de ferramentas de análise da conexão de múltiplos GD, o que está previsto para desenvolvimento em novo projeto em continuidade junto à Eletrobras Distribuição Alagoas.

IV. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Eletrobras Distribuição Alagoas pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho, através do P&D ANEEL 117/2013.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. A. Canesin, B. D. Bonatto, et al., "Harmonic propagation analysis in electric energy distribution systems", in Proc. 2011 International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, pp. 1-6.
- [2] Gil-Soo Jang, et al, "Development of Power Quality Management System with Power Quality Diagnosis Functions", Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 1, nº 1, pp. 28-34, 2006.
- [3] PRODIST Módulo 5 – Sistemas de Medição, ANEEL – Resolução Normativa nº 424/2010, Jan. 2011.
- [4] PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, ANEEL - Resolução Normativa nº 641/2014, Jan. 2015.
- [5] Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Standard 519, Dec. 2014.
- [6] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), IEC 61000-3-2, Mai. 2014.
- [7] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-4: Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A, IEC 61000-3-4, Out. 1998.
- [8] M. Romero, R. Pardo, L. Gallego, and A. Pavas, "Web based Management System for Power Quality Assessment and Detection of Critical Zones", in Proc. 2011 International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies, pp. 1-8.
- [9] M. Romero, and L. Gallego, "Development of Power Quality Web Management System for Assessment and Critical Zones Detection", Ingeniería e Investigación, vol. 31, nº 2, pp. 102-109, 2011.
- [10] M. McGranaghan, "Trends in Power Quality Monitoring", IEEE Power Engineering Review, vol. 21, nº 10, pp. 3-9, 2001.
- [11] S. Vlahinic, D. Brnobic, and N. Stojkovic, "Indices for Harmonic Distortion Monitoring of Power Distribution Systems", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 58, pp. 1771-1777, 2009.
- [12] IEEE Task Force, "Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 11, nº 1, 1996.

Aproveitamento de resíduos gerados na CPFL

Antonio L. Beraldo(1), Raquel Gonçalves(1), Gisleiva C. S. Ferreira(2), Marco T. Ospina(1),
Leandro Shiroma(1), Flaviane F. F. Freitas(1)

Resumo – As empresas do setor elétrico geram grande quantidade de resíduos, sendo que apenas para os metálicos existe atualmente um sistema de logística reversa implantada. As demais categorias de materiais de descarte (silicosos, lignocelulósicos e poliméricos) ainda não despertaram o interesse de empresas, constituindo-se atualmente em um passivo ambiental. O objetivo deste trabalho foi o de avaliar as características dos resíduos de isoladores de porcelana (RIP), dos resíduos de postes de concreto (RPC), além da avaliação não destrutiva de postes de madeira descartados. Após a caracterização dos resíduos silicosos (RIP e RPC), foi avaliada sua aplicação em componentes construtivos (pavers, blocos vazados sem função estrutural e placas de ancoragem de postes em terrenos moles). De aplicação imediata no setor elétrico, podem ser destacadas as placas de ancoragem e as cruzetas de madeira, enquanto que outras aplicações (pavers e blocos vazados) podem ser destinadas a obras a serem realizadas nas Estações Avançadas.

Palavras-chave – cruzetas de madeira, descarte, isoladores de porcelana, postes de concreto, resíduos

ANEEL PD 0063 – 0037/2011. PA-0037 – Matriz de Reúso e Descarte Limpo na CPFL. Universidade Estadual de Campinas; Uni-versidade de Caxias do Sul. **Custo total (em R\$): 2.451.876,47.**

1 Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp - beraldo@feagri.unicamp.br 2 Faculdade de Tecnologia - Unicamp

I. INTRODUÇÃO

Empresas de geração e de distribuição de energia elétrica geram grandes quantidades de resíduos de variadas naturezas, sendo que vários deles ainda não têm uma correta destinação após sua vida útil. No entanto, o acesso ao Banco de Dados dos resíduos gerados pela CPFL indicou a possibilidade de serem propostas aplicações dos mesmos em produtos de interesse para a empresa. Dessa forma, após se efetuar a moagem industrial, resíduos de isoladores de porcelana (RIP) e de postes de concreto (RPC) foram caracterizados fisicamente e, posteriormente, foram testadas aplicações dos mesmos na confecção de blocos vazados não estruturais, pavers, placas para ancoragem de postes em terrenos moles e em argamassas. Por sua vez, postes de madeira descartados foram previamente inspecionados por ultrassom; para aqueles que foram aprovados em sua integridade, foi proposta sua utilização na forma de cruzetas, após o devido processamento mecânico.

Os resultados obtidos indicaram que os produtos testados em laboratório se mostraram adequados para aplicações em atividades diretas da CPFL (placas de ancoragem de postes em terrenos moles e cruzetas de madeira) ou nas instalações das EAs (blocos vazados não estruturais, pavers e argamassas). Visando adequar-se às exigências da Lei Nº 12305, a análise ambiental evidenciou que os contaminantes dos resíduos puderam ser adequadamente encapsulados por matrizes cimentícias ou poliméricas. A análise econômica indicou a viabilidade de utilização dos resíduos quando combinados com a comercialização dos resíduos metálicos.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Os materiais RIP e RPC foram inicialmente analisados quanto à sua granulometria; para o RIP buscou-se sua aplicação na substituição parcial do cimento Portland, enquanto que o RPC foi estudado também quanto à possibilidade de sua aplicação na forma de agregado, substituindo parcialmente a areia e/ou a brita, para a confecção de argamassas.

Resíduos de isoladores de porcelana (RIP): os isoladores de porcelana foram processados em empresa terceirizada de forma a obter-se uma produção em escala industrial. O RIP, após ser caracterizado quanto às suas propriedades físicas e químicas, foi avaliado como substituição parcial ao cimento Portland, nos teores de 10%, 20% e 30%. Pastas com cimento CPV ARI [1] (cimento Portland de alta resistência inicial) foram avaliadas por meio de ensaio não destrutivo (ultrassom) e por ensaio de compressão. **Os resultados obtidos indicaram que se torna possível a substituição de até 20% do cimento CP-V ARI pelo RIP.** Em etapa posterior, foram testadas misturas na confecção de blocos vazados não estruturais [2, 3], pavers [4] e placas de ancoragem de postes em terrenos moles [5]. Os resultados dos ensaios indicaram que os componentes construtivos obtidos na substituição parcial de 20% de cimento CPV ARI pelo RIP atenderam às especificações técnicas [6-9].

Resíduos de postes de concreto (RPC): em visita a uma empresa terceirizada pela CPFL observou-se que os postes de concreto, descartados pela empresa, eram quebrados manualmente, recuperando-se apenas a armadura metálica. Os resíduos do concreto de proteção das armaduras eram descartados, sem que houvesse preocupação quanto à destinação final dos mesmos. Visando avaliar uma alternativa a essa deposição inadequada feita por parte da empresa, os resíduos grosseiros foram submetidos a dois tipos de britagem: no primeiro deles, os resíduos foram enviados a uma empresa especializada na moagem de resíduos da construção e da demolição (RCC); a segunda britagem foi efetuada com o auxílio de um equipamento (moinho) adquirido pela CPFL. A seguir, efetuou-se a análise da distribuição granulométrica do material obtido, buscando-se então as possíveis aplicações para o mesmo. **Dessa forma, foram confeccionadas argamassas efetuando-se substituições parciais dos agregados convencionais (areia e/ou brita) por aqueles obtidos após a moagem do resíduo dos postes. As características das argamassas obtidas atenderam às especificações das normas técnicas.** Em uma etapa posterior, foram testadas substituições de areia ou de brita por 10%, 20% e 30% de RPC [10], para a confecção de blocos vazados não estruturais [3] pavers [4] e placas de ancoragem de postes em terrenos moles [5]. Os componentes construtivos foram avaliados por meio de ensaio não destrutivo (ultrassom) e destrutivos (compressão ou flexão estática – caso das placas de ancoragem de postes em terrenos moles, Fig. 1).

Cruzetas de madeira: postes de madeira utilizados na distribuição de energia elétrica no meio rural originam-se de duas categorias de madeira: **de alta durabilidade natural (aroeira, principalmente) e de eucalipto tratado em autoclave, preservados com creosoto ou arseniato de cobre cromatado (CCA).** Devido às pressões exercidas contra a extração de árvores nativas destinadas à produção de postes, atualmente tem sido utilizados apenas postes de eucalipto tratado nas linhas de transmissão elétrica, sobretudo no meio rural. De uma forma geral, a falha nos

postes de madeira ocorre na região de afloramento, por nela existirem condições favoráveis ao desenvolvimento de organismos xilófagos, principalmente os fungos apodrecedores. Resultados de projetos anteriores ([11] e [12]) indicaram que a adoção de um método não destrutivo por ultrassom se mostrou viável para detectar os defeitos internos nos postes e que não haviam sido possíveis de detectar em inspeção visual, que é a prática mais usual nas empresas. Dessa forma, postes de madeira de eucalipto tratado e que haviam sido descartados pela CPFL foram inspecionados por ultrassom. Observou-se que vários postes inspecionados ainda mantinham regiões íntegras e que poderiam ser destinadas à confecção de cruzetas. Em uma empresa terceirizada foram então confeccionadas cruzetas as quais foram então submetidas ao ensaio de acordo com as normas técnicas ([13] e [14]) e recomendações da Feagri - Unicamp ([11] e [12]). Os resultados obtidos indicaram que as cruzetas atenderam às especificações técnicas. **Além disso, o reaproveitamento da madeira na forma de cruzetas (Fig. 2) permite que seja diminuída a extração de madeira proveniente de espécies tropicais [15].**

Avaliação econômica das alternativas de reúso e descarte: **Utilizando o Banco de Dados fornecido pela CPFL, realizou-se a identificação e a análise da quantidade e o valor monetário dos materiais de descarte utilizando-se planilhas EXCEL e o software MINITAB 17.** Essa análise mostrou a presença marcante do material de descarte de natureza metálica, com presença menos expressiva dos materiais silicosos, lignocelulósicos e poliméricos. A prática atual de simplesmente enviar os resíduos para os aterros não se mostrará sustentável em um futuro muito próximo, devido ao esgotamento da capacidade apresentado pelos aterros devendo, portanto, as empresas se prepararem estrategicamente para a reciclagem e/ou reutilização dos resíduos gerados em suas atividades. **Entretanto, grande parte dos materiais de descarte poderia ser reutilizada, combinando-se ou não com outros materiais, gerando então novos produtos com incrementos tecnológicos para reduzir o custo das instalações de redes rurais, por exemplo, ou dos produtos utilizados no padrão de rede.**

O principal aspecto ambiental refere-se ao descarte limpo e ao reúso de material de descarte, que de outra forma estaria contribuindo à poluição na medida em que a empresa geradora dos resíduos não tem a certeza do destino final dos mesmos quando terceiriza seu descarte. Neste caso os processos indicados representam o descarte limpo e reúso de aproximadamente 91 mil toneladas de resíduos ao ano. Em termos de equivalente de emissões de CO₂, esse valor representa uma redução na emissão do CO₂ gerada na produção e transformação dos produtos originais.

Esta avaliação contempla a substituição das matérias primas utilizadas pelas empresas em funcionamento com o material de descarte que está sendo avaliado. **Essa substituição das matérias-primas atuais pelos**

materiais de descarte está restrita, na maioria dos casos, a 30%, e não representa um aumento expressivo na rentabilidade dos processos de produção. Isto não reduz a importância da avaliação de rentabilidade e confirma a característica estratégica dos processos de aproveitamento do material de descarte e sua contribuição às práticas sustentáveis exigidas pelas leis ambientais.

Nesse contexto e com os valores técnicos de operação, os custos e receitas dos processos de aproveitamento e reutilização dos materiais de descarte foram calculados e analisados utilizando como indicadores de rentabilidade o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR), contemplando um horizonte de projeto de sete (7) anos e taxas mínimas de atratividade entre 6% e 13% ao ano. As receitas foram calculadas a partir dos dados fornecidos pela CPFL considerando o valor recebido durante 11 meses de operação e quantificando os custos de administração e de logística para colocar os materiais de descarte à disposição dos compradores. Esse modelo de negócios alcança, aproximadamente, o mesmo nível de rentabilidade de uma fábrica de blocos de 17% ao ano.

Como resultado das visitas às empresas e consulta aos seus diretores o modelo de negócios proposto contempla a instalação de uma empresa fabricante de postes de concreto e de madeira que compraria todo o material de descarte das EAs. Esse modelo de negócios simula a situação atual do processo de descarte dos materiais e, neste caso, a empresa estaria encarregada da logística de todo o material inservível das EAs, assumindo a responsabilidade pela reutilização, reciclagem ou destinação final desse material.

O valor do investimento, indicado por um dos diretores entrevistados, foi definido como sendo equivalente ao valor do investimento de uma fábrica de postes de concreto e de madeira, incluindo a fabricação de cruzetas e placas de ancoragem utilizadas pelas empresas distribuidoras de energia. Esse investimento com um valor de 10 milhões de reais seria utilizado na instalação da estrutura física e da logística necessária ao modelo de negócios para a fabricação dos mesmos produtos e reutilização, ou para proceder-se ao descarte final de todo o material (metálico, lignocelulósico, silicoso e polimérico).

Considerando esse modelo de negócios para o reuso e a disposição correta do material de descarte, com um valor investido de R\$10 milhões e estimando os custos operacionais, administrativos e de logística para a fabricação de postes de concreto e de madeira, cruzetas, placas para ancoragem de postes e outros produtos (blocos vazados, argamassas e pavers), o empreendimento se mostra economicamente viável com valor presente líquido (VPL) positivo e uma taxa interna de retorno (TIR) de 30%. Com uma redução de 10% no faturamento anual, o VPL continua sendo positivo, mas a TIR se reduz para 15%. Os aspectos

sociais, além de estarem relacionados diretamente ao bem estar da população, pelo uso ambientalmente correto de matérias-primas e dos resíduos, representam benefícios de geração de emprego e renda. Estima-se que a instalação de duas unidades de fabricação de artefatos de concreto e madeira poderia gerar até 30 empregos diretos e 90 empregos indiretos [16].



Figura 1. Ensaio aplicado à placa de ancoragem.



Figura 2. Cruzetas obtidas de postes descartados.

III. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente projeto indicaram a viabilidade técnica de serem obtidos produtos de interesse para a CPFL, a partir dos resíduos descartados pelas EA's. Dentre os produtos de aplicação direta destacam-se as placas de ancoragem, confeccionadas com RIP ou RPC, e as cruzetas obtidas de postes de madeira descartados. Também produtos com possibilidades de aplicação nas instalações das EAs foram avaliados, tais como, blocos vazados não estruturais, pavers e argamassa. Embora a análise econômica tenha indicado a viabilidade de instalação de em-presas que utilizem os resíduos gerados pela CPFL em seus processos produtivos, no entanto a logística dos suprimentos deve ser avaliada, assim como os aspectos ambientais envolvidos no processamento dos resíduos e o seu descarte limpo.

IV. AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pelo financiamento desta pesquisa, à CPFL, pelo suporte técnico e à Feagri – Unicamp, pelo apoio institucional.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR5733. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, especificação, 5p., 1991.
- [2] _____ NBR 6136. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Requisitos. Rio de Janeiro, 9p., 2006.
- [3] _____ NBR 6236. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Requisitos, 9p., 2006.
- [4] _____ NBR9187. Peças de concreto para pavimentação- Especificação e método de ensaio, 21p., 2013.
- [5] Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL. GED 12628. Placa de concreto armado, 3p., 2009.
- [6] L. Shiroma, “Avaliação do resíduo de isoladores de porcelana e sua utilização como adição mineral em matrizes cimentícias”, Tese de Doutorado, Fac. de Eng. Agrícola, Unicamp, 2016.
- [7] A. L. Beraldo, A. L.; G. C. S. Ferreira.; V. H. L. Mesquita. Porcelain waste as a partial Portland cement replacement. ACCTA - Advances in Cement and Concrete Technology in Africa, 2013, Jo-hanesburg. In: Annals of...Johanesburg: ACCTA. v. 1. pp. 1-8. 2013.
- [8] G. C. S. Ferreira; A. L. Beraldo, V. H. L. Mesquita; L. Shiroma. Substituição parcial do cimento Portland por resíduo de porcelana de isoladores elétricos em matrizes cimentícias. In: Anais do 3º ENARC – Encontro Nacional sobre Reaproveitamento de Resíduos na Construção Civil, São Leopoldo, RS, 10-12 de julho, 13 p., 2013.
- [9] A. L. Beraldo, L. Shiroma, G. C. S. Ferreira. Compósito de cimen-to Portland com adição de resíduos de isoladores de porcelana e Pinus. In: Anais do I Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2014, Guimarães - Portugal. Materiais de Cons-trução Sustentáveis. v. 1. pp. 1-12., 2014.
- [10] D. M., Agostinho; G. C. S. Ferreira. Peças pré-moldadas de matriz cimentícia com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de postes de concreto. In: Anais do XXI Congresso de Iniciação Científica da Unicamp, novembro de 2013.
- [11] Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp. Relatório do Projeto P & D 121: Inspeção de materiais e estruturas da rede por ultrassom, 2009.
- [12] Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp. Relatório do Projeto P & D 133: Gestão Global - Classificação e monitoramento de postes de linhas aéreas, 2010.
- [13] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 8458. Cruzetas de madeira para rede de distribuição de energia elétrica - Especificação. 2010.
- [14] _____. NBR 8459. Cruzetas de madeira – Dimensões – Padronização, 2010.
- [15] F. F. F. Freitas; R. Gonçalves; E. Coelho Jr.. Ultrasound as a tool in defining the reuse potential of wood poles. In: 18th Nonde-structive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Madison, USA. 2014.
- [16] M. T. Ospina-Patino; G. C. S. Ferreira; G. C. S. Ferreira; L. Shi-roma, V. Dos Santos; R. N. Brandalise; A. J. Zattera, A. L. Beraldo. Natureza e classificação do material de descarte de uma empresa distribuidora de energia elétrica e avaliação econômica de sua terceirização. In: 4º Congresso Internacional para Tecnologia para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves, RS, 23-25 de abril, 8 p. 2014.

Geração de eletricidade a partir da biodigestão da vinhaça

João R. C. Pires(1), Edson A. A. Nour(2), Paulo S. F. Barbosa(2), Leonardo O. Lopes(3),
Paulo C. Almeida(3).

Resumo – Este trabalho tem como objetivo apresentar uma breve explicação dos processos de produção da Unidade Piloto de geração de eletricidade a partir da biodigestão da vinhaça, considerando as etapas de produção de biogás, remoção do ácido sulfídrico (H₂S) e a geração de eletricidade. Também serão comparados os parâmetros de projeto utilizados na construção da Unidade Piloto com os parâmetros realizados durante o período de operação da Unidade Piloto.

Palavras-chave – Cana-de-açúcar, Biogás, Geração elétrica, Energia renovável, Vinhaça.

Este projeto é resultado da sequência de projetos de P&D ANEEL PA056, “PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE ELETRICIDADE PRODUZIDA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DA BIODIGESTÃO DA VINHAÇA” Custo total (R\$ 6.684.201,94) e do projeto do P&D ANEEL PA046, “PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DA BIODIGESTÃO DA VINHAÇA COM CONSEQÜENTE REDUÇÃO DE SEU POTENCIAL POLUIDOR E DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA” Custo total (R\$ 5.432.015,33). Este trabalho também contou com apoio financeiro da FINEP e CPFL Comercialização Brasil, e com o suporte pelo empréstimo da área e fornecimento da vinhaça pela Usina Ester.

1 ‘Côrtex Consultoria’ (e-mail: jrcortes@cortesconsultoria.com.br).

2 ‘Unicamp’ (e-mails: ednour@fec.unicamp.br, franco@fec.unicamp.br).

3 ‘OMNIS Biogás’ (e-mails: pcezara@gmail.com, llopes@omnisbiotech.com)

I. INTRODUÇÃO

A necessidade de busca por novas fontes renováveis de energia é fundamental para permitir o atendimento crescente da demanda minimizando os impactos ambientais provocados. As usinas de cana-de-açúcar que já são grandes exportadoras de energia produzida a partir da queima do bagaço possuem mais um subproduto com capacidade de produção de energia que é a vinhaça. A vinhaça é o sub-produto da destilação do caldo fermentado de cana de açúcar e é produzido de 12 a 16 vezes em volume ao etanol. Segundo [2] são gerados aproximadamente 14 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido. A vinhaça, além dos nutrientes, contém uma carga orgânica muito alta, variando entre 25 e 70 KgDQO por metro cúbico de vinhaça. O presente projeto tem por objetivo avaliar os parâmetros de produtividade da produção de biogás a partir da biodigestão da vinhaça para geração de eletricidade. A tecnologia utilizada na produção de biogás foi a combinação de reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA ou UASB do inglês Upflow Anaerobic Sludge Blanket) com recirculação entre eles. Para a remoção do ácido sulfídrico (H₂S), que pode chegar a 35.000 ppm no caso da vinhaça, foi utilizado um reator aeróbio. Para geração de energia elétrica, um conjunto gerador a biogás da GE Jeanbacher.

A Unidade Piloto foi desenvolvida na Usina Ester, em parceria entre a CPFL e OMNIS Biogás, e pode ser vista na figura 1.



Figura 1. Vista da Unidade Piloto de Biogás
Cosmópolis –SP

II. PROCESSOS DA UNIDADE PILOTO PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA BIODIGESTÃO DA VINHAÇA

A Unidade Piloto ocupa uma área da Usina Ester de aproximadamente um hectare, e tem capacidade para processar 40 m³/h de vinhaça, que pode ser utilizado para a geração de 1,056 MW de potência elétrica. A unidade é composta basicamente de 3 grandes módulos, i) o reator anaeróbico para produção de biogás, ii) o reator aeróbico para remoção de ácido sulfídrico em conjunto com sistema de secagem e pressurização do biogás, e iii) o conjunto gerador para produção da eletricidade.

Na Unidade Piloto, a vinhaça produzida pela Usina, e já resfriada, passa por mais uma torre de resfriamento que tem como objetivo permitir controle fino da temperatura da vinhaça sem necessidade de interferência no processo da usina de cana-de-açúcar. Após a passagem pela torre de resfriamento a vinhaça é bombeada para o tanque de mistura ao lado do reator anaeróbico. No tanque de mistura, também é adicionada a vinhaça biodigerida que passou pelo reator primário de forma a se controlar os parâmetros de entrada que são pH, alcalinidade e ácidos voláteis (VFA). Essa vinhaça misturada é bombeada pelo sistema de bombeamento primário e distribuída pelo fundo de todo o reator primário. A vinhaça biodigerida é utilizada em parte para misturar com a vinhaça bruta, como já mencionado, e outra parte é direcionada para o bombeamento secundário que distribui a vinhaça pelo reator secundário.



Figura 2. Tanque de mistura e sistemas de bombeamento e distribuição primários e secundários.

Os sistemas de bombeamento primário e secundário, e o tanque de mistura, podem ser vistos na Figura 2. Nos reatores UASB primários e secundários são produzidos o biogás. Aplicação de reatores UASB para vinhaça pode ser visto em [1] e [3]. A partir do reator secundário, a vinhaça biodigerida vai sequencialmente por gravidade para a caixa de descarte, decantador e por último é bombeada novamente para os sistemas de irrigação da usina. No decantador é feita a separação da biomassa, que pode ser descartada ou reaproveitada no reator. O biogás produzido, e rico em gás sulfídrico, é impelido através de sopradores da fase gasosa do reator anaeróbico para o reator aeróbico responsável pela remoção de H₂S, o dessulfurizador. No dessulfurizador é adicionado ar comprimido em até 30% do volume de biogás e vinhaça decantada para lavagem. Após a lavagem a vinhaça retorna a caixa de descarte para o envio à lavoura. O biogás produzido, então sem a presença do H₂S, é resfriado em um chiller elétrico para secagem e posteriormente reaquecido e pressurizado para envio para o motor do conjunto gerador, ou então para o queimador do excedente. O fluxo do processo pode ser visto na figura 3.

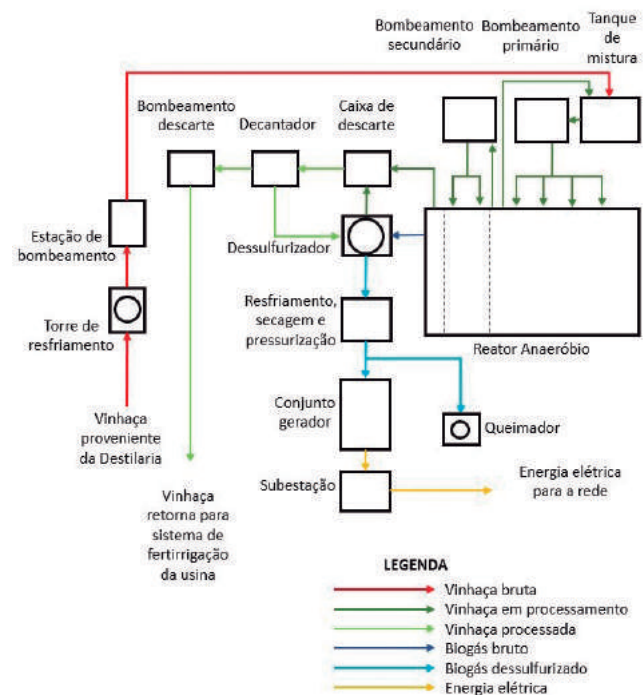


Figura 3. Fluxo do Processo da Unidade Piloto de Biogás.

III. RESULTADOS DA UNIDADE PILOTO PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA BIODIGESTÃO DA VINHAÇA

A. Reator Anaeróbico

No dimensionamento do reator, as taxas de conversão e taxa de carregamento são os principais parâmetros a serem analisados durante o projeto. A taxa de conversão representa quanto de metano em Nm³ é produzido para cada kg de DQO inserida no reator. Ela já inclui todas as

eficiências do sistema. A taxa de carregamento indica quanto de carregamento orgânico, em kgDQO, pode ser processado por metro cúbico por dia do reator. Com estes dois parâmetros pode ser dimensionado o tamanho do reator e a quantidade de metano produzido. O reator foi dimensionado para receber uma carga orgânica total diária de 28.800 KgDQO. e produzir 533 Nm³/h de biogás através da remoção de 60% da DQO de entrada. O volume dele é de 14.400 m³ e tempo de retenção de 15 dias. O resumo das características da vinhaça de entrada e de saída pode ser visto na tabela I.

Parâmetro	Capacidade
Vazão de Vinhaça:	40 m ³ /h
DQO entrada:	30 kg
DQO saída:	12 kg
Temperatura vinhaça:	30° a 35° C
pH Vinhaça de entrada	3,5 a 4,5
pH Vinhaça de saída	6,5 a 7,5
Vazão de biogás	533 Nm ³ /h

Tabela I. Características de entrada e saída do reator

O biogás produzido tem em média na sua composição 55% de metano, 43% de dióxido de carbono e 2% de gás sulfídrico. Comparando os dados do laboratório da unidade piloto, certificado com ISO 9001:2008, com os valores de projeto de carregamento orgânico e taxa de conversão, pode-se ver na Tabela II que se atingiu respectivamente 98% e 93% dos valores de projeto.

Parâmetros	Projeto	Realizado
Taxa de carregamento (kgDQO/m ³ Reator.dia)	2,00	1,95
Taxa de conversão (Nm ³ CH ₄ /KgDQO)	0,21	0,196

Tabela II. Parâmetros Técnicos - Projeto e Realizado

A. Unidade de Remoção de H₂S (Dessulfurizador)

O sistema biológico aeróbio para remoção do H₂S (dessulfurizador) é composto de um tanque de fibra de vidro com um sistema de lavagem na parte superior e coleta na parte inferior. O tanque possui 5,5 m de diâmetro e 14 m de altura e é preenchido com um meio suporte para as bactérias responsáveis pela diminuição da concentração de H₂S. A foto da unidade de dessulfurização pode ser vista na figura 4.

O dessulfurizador trabalha com injeção de ar junto ao biogás na proporção em que todo o oxigênio seja consumido no processo de oxidação do enxofre. As características do dessulfurizador podem ser vista na tabela III. Para esta configuração do reator, com a presença de 2% de H₂S no biogás, tem-se a vazão de 611 Nm³/h de biogás e a remoção de 16,5 KgH₂S/dia.

Parâmetro	Capacidade
Volume útil:	300 m ³
Tempo de retenção:	0,56 h
Vazão de Biogás:	533 Nm ³ /h
Injeção de Ar	110 Nm ³ /h
Água/Vinhaça Decantada	0,65 m ³ /h

Tabela III. Dados técnicos do dessulfurizador



Figura 4. Unidade de dessulfurização

A composição do biogás na saída do dessulfurizador é de 48% de CH₄, 37,5% de CO₂, 14,2% de N₂, e 0,3% de O₂. Após a saída o biogás é comprimido, secado e enviado ao conjunto gerador com pressão entre 80 e 200 mbar.

B. Conjunto Gerador

O conjunto gerador instalado na Unidade Piloto é um GE – JC320 de 1,056MW e 60 Hz, que pode ser visto na figura 5. Considerando a eficiência elétrica de 39% desta unidade geradora ela é capaz de utilizar 96% do total de biogás produzido para geração na potência máxima do motor. O biogás excedente é enviado para o queimador.



Figura 5. Conjunto gerador GE JC 320.

Com base nos dados reais calibrou-se a equação 1 para a obtenção da potencia real (kWh) em função da vazão de metano em (Nm³/h).

Conforme os valores da curva calibrada e os dados da especificação técnica da GE-Jenbacher [4], na tabela IV pode-se verificar que a geração elétrica ficou 4% abaixo do teórico para 50% da potência e 12% abaixo para 100% da potência.

Consumo CH4 (Nm ³)	Nível de operação	Potência Teórica (kW)	Eficiência Elétrica	Potência realizada(kW)
271,5	100%	1.056,00	39,00%	932,8
211,0	75%	792,00	37,50%	717,2
150,5	50%	528,00	34,90%	501,6

Tabela IV. Comparação do consumo de CH4 real versus especificado

IV. CONCLUSÕES

Com base nos parâmetros de produtividade calculados com todo o histórico de informações da unidade piloto, verifica-se que eles ficaram muito próximos aos valores do projeto inicial. A taxa de conversão obtida que é de 0,196 Nm³CH₄/KgDQO) representa 93% do valor de projeto e a taxa de carregamento de 1,95 KgDQO/m³Reator.dia representa 98% do valor de projeto. Portanto os conceitos de utilizados na concepção do projeto se mostram válidos para a implantação de novas unidades.

Os níveis de H₂S foram, em 90% das medições, abaixo de 250 ppm. Os valores de eficiência elétrica estavam próximos dos dados apresentados no catálogo técnico do conjunto gerador. (3,48kWh/Nm³ CH₄ para 50% de carga). Com base nos dados obtidos podemos concluir que com o fornecimento de biogás dentro dos parâmetros recomendados, o Grupo Gerador operou próximo das necessidades do projeto, chegando ao consumo de 290 Nm³ de metano por MWh.

Estima-se, através de dados da colheita de cana-de-açúcar de 2014, vinhaça suficiente para um potencial de geração de 180MW durante a safra, na área de concessão da CPFL Paulista.

A análise econômica realizada pelo projeto demonstra que, para a implantação de uma planta comercial de 5MW, o retorno passa a ser viável para o valor da energia superior a R\$ 250,00 MWh. A implantação de unidades maiores (10MW) contribui para a redução do custo de operação e maior viabilidade. Como os geradores representam cerca de 40% do CAPEX, outra alternativa seria a queima do biogás através da própria caldeira da usina de cana-de-açúcar.

A principal aplicação desta pesquisa para o setor elétrico é o desenvolvimento de uma nova fonte de geração de energia elétrica a partir de um resíduo de alta carga orgânica, a vinhaça, e que hoje é desperdiçado. A usina permaneceu em operação durante a execução do projeto e a realização da pesquisa permitiu subsidiar tecnicamente a concessionária e setor na implantação, operação e análise da viabilidade de aplicações futuras dessa tecnologia.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M. S. Szymanski, R. Balbinot and W. Nagel, "Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso". Faculdade de Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, n. 4, p. 901-912, out./dez. 2010.

[2] R. Hoffmanns, "Eficiência de um reator UASB na redução da carga orgânica e na produção de biogás, tendo vinhaça como substrato". Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (PPGEPRO), UFSM, 2013.

[3] E. F. Granato, "Geração de energia através da biodigestão anaeróbia da vinhaça". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da UNESP - Campus de Bauru/SP, 2013.

[4] Technical Description: Genset JGS 320 GS-B.L, versão 2. GE Jenbacher. 1 abr. 2009.

Transformador móvel de alta densidade de potência para tráfego sem licença especial

Thales Sousa(1), José A. Jardini(1), Marco A. Bini(2), Fumiaki Uemura(3),
Vivaldo Silveira Junior(4) e Cintia C. M. de Oliveira(4).

Resumo – O aumento da demanda de energia elétrica e a busca pelo ganho de confiabilidade da rede elétrica têm elevado o interesse dos fabricantes e concessionárias de energia no que diz respeito ao desenvolvimento dos limites operativos dos equipamentos. De maneira a atender esse objetivo, o emprego de novos materiais tem sido cada vez mais explorado. Nesse contexto, o presente projeto propôs o desenvolvimento de uma unidade de transformação móvel compacta construída a partir do emprego de novos materiais que dispensará a necessidade de esquemas especiais de acompanhamento de tráfego. A compactação proposta para a unidade de transformação móvel visa o máximo adensamento de potência ao transformador, considerando dimensões e peso que não necessitem de licença especial para tráfego, utilizando para tanto, materiais isolantes de alto rendimento, novas tecnologias de monitoramento e um sistema complementar de resfriamento.

Palavras-chave – Licença Especial, Nomex, Óleo Vegetal, Transformador Móvel.

PD-0063-0035/2011 - DE0035 - TMADP: Transformador Móvel de Alta Densidade de Potência para Tráfego Sem Licença Especial; Tema OP, subtema OPOX; CPFL e RGE; FDTE, Densitel e UNICAMP. Custo total de execução do projeto: R\$ 13.739.527,13.

1 Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) (e-mails: thales.sousa@gmail.com; jose.jardini@gmail.com).

2 Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) (e-mail: mabini@cpfl.com.br).

3 Densitel Transformadores (e-mail: fumiaki@densitel.com.br).

4 Universidade Estadual de Campinas (e-mail: vival-do@fea.unicamp.br; cintiamelgaco@hotmail.com).

I. INTRODUÇÃO

Nos sistemas elétricos de potência, em muitas situações resultantes de contingências ou aumento de demanda por períodos pré-determinados, as redes de transmissão e distribuição não têm condições de realizar operações, por estarem operando no limite de carregamento; ou não têm condições de realizar obras de expansão, em função da relação entre a necessidade, o tempo de obra e as restrições contingenciais.

Nesses casos, são utilizados transformadores móveis que possibilitam a minimização dos transtornos e corte de cargas, resultantes das condições impostas anteriormente, necessários na manutenção de indicadores de fornecimento, mitigando penalidades regulatórias.

Um grande problema é que, em muitos casos, quando da necessidade de transportar os transformadores móveis em vias de transporte normais, há a necessidade de definir

esquemas de transporte noturnos, rotas e esquemas especiais de acompanhamento de tráfego. Esse processo pode retardar o atendimento previsto e é de alto custo. Nesse contexto, unidades de transformação móvel de alta densidade de potência permitem a minimização da necessidade de esquemas de transporte noturnos, de rotas e de esquemas especiais de acompanhamento de tráfego, agilizando sua colocação em operação [1-3].

Para tanto, uma característica relevante relacionada à unidade de transformação móvel de alta densidade de potência é o emprego de novos materiais isolantes e de um sistema de monitoramento on-line, permitindo o controle do carregamento, da confiabilidade e do transporte em tempo real.

Ademais, é estritamente necessária uma operação com maiores eficiências e vida útil, independentemente das condições climáticas, as quais afetam a dissipação de calor gerada internamente pelos transformadores, conforme a demanda

elétrica variável. Assim, torna-se necessária a provisão de um sistema de resfriamento que garanta a devida dissipação de calor, não permitindo a sua acumulação, o que resultaria na elevação da temperatura de operação ou do óleo (meio de transferência de calor).

Assim, o presente projeto propôs o desenvolvimento de uma unidade de transformação móvel compacta construída a partir do emprego de materiais isolantes de alto rendimento, novas tecnologias de monitoramento e um sistema complementar de resfriamento.

II. METODOLOGIA EMPREGADA

Conforme descrito anteriormente, os transformadores ou subestações móveis são equipamentos utilizados em ocasiões de falhas do sistema, manobras ou obras programadas, permitindo a continuidade do fornecimento ou minimização do corte de cargas.

Nesse sentido, o emprego de unidades móveis compactas construídas a partir do emprego de novos materiais isolantes, que tenham um limite de operação maior a altas temperaturas, permite a minimização da necessidade de esquemas de transporte restrito a situações de baixo tráfego (geralmente noturnos), de rotas e de esquemas especiais de acompanhamento de tráfego.

De maneira a atender esse propósito, o projeto inicial proposto previu uma potência de 20-25 MVA. Porém, com o desenvolvimento da pesquisa e a exploração das características térmicas dos novos materiais, verificou-se que a potência poderia alcançar o valor de 36-40 MVA [4].

Entretanto, para obter a potência de 36-40 MVA e atender aos limites de pesos e dimensões desejadas para tráfego sem licença especial, foi necessário o aumento de temperatura de trabalho dos enrolamentos e dos materiais isolantes. Para tanto, foi proposto um sistema complementar de resfriamento composto por três módulos. São eles: conjunto de trocadores de calor aletados com ar forçado em série; sistema de nebulização e; um trocador de calor a placas com resfriamento com água gelada produzida em Chiller [5].

Os materiais isolantes inicialmente previstos (20-25 MVA) eram compostos de papel Kraft e Nomex® [6], isolação híbrida. Nessa condição, somente os pontos críticos seriam utilizados o Nomex®, visto que tem custo muito superior em relação ao papel Kraft.

Porém, para chegar aos novos valores de potência (36-40 MVA), o ambiente interno ao tanque do transformador atingiria elevadas temperaturas, que o papel Kraft não suportaria. Desta forma, optou-se por utilizar a isolação sólida desenvolvida 100% em Nomex®, inclusive nas capas isolantes. Tal isolação, associada ao emprego de óleo vegetal suportaria a condição de elevadas temperaturas.

Deve-se destacar aqui que as capas isolantes foram desenvolvidas em Nomex® pela primeira vez, tornando-as um produto jamais utilizado no mundo.

As principais consequências das mudanças construtivas propostas foram:

1. Projeto específico, de maneira a prover um transformador móvel com alta densidade de potência, regulável e que atenda as dimensões e peso de maneira a não necessitar de licença especial para tráfego;
2. Isolação sólida com a utilização de 100% Nomex® e capas isolantes desenvolvidas neste mesmo material;
3. Isolação líquida com a utilização de 100% óleo vegetal;
4. Dimensionamento de trocadores de calor com capacidades maiores, uma vez que com maior potência, maior as perdas a serem dissipadas;
5. Utilização de bombas de óleo de maior potência e adequadas para operação em temperaturas elevadas;
6. Adaptação do ambiente e do sistema de testes de maneira a permitir os ensaios de transformadores considerando as características apresentadas e perdas acima de 1.200 kW;
7. Projeto específico da plataforma de transporte, permitindo o transporte de logística simples, agilizando sua colocação em operação;
8. Desenvolvimento de um sistema de integração entre o transformador e o sistema de resfriamento complementar e;
9. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento e proteção específico para o projeto.

III. RESULTADOS ALCANÇADOS

No Brasil, os valores limites para o peso e dimensões físicas que devem ser cumpridas a fim de evitar a necessidade de licença especial de trânsito são: peso total (incluindo caminhões e semirreboque) igual a 53,0 t; comprimento máximo igual a 18,6 m, largura máxima de 2,6 m e altura máxima igual a 4,4m. Esses valores são representados na Figura 1.

Assim, a ideia para o transformador móvel proposto foi obter a máxima potência possível mantendo as dimensões e peso a um nível que não requer licença especial de trânsito.



Figura 1. Limites de peso e de dimensões físicas que devem ser atendidos de maneira a evitar a necessidade de licenças especiais de tráfego

Verificada a possibilidade de atender uma potência entre os valores de 30-40 MVA, um projeto com os pesos dos enrolamentos e do núcleo foi desenvolvido. Os pesos obtidos são apresentados na Tabela I.

Potência (MVA)	Peso do Núcleo (kg)	Peso do Cobre (kg)	Peso da Parte Ativa (kg)
25	12.651	4.850	17.501
30	8.541	4.886	13.427

Tabela I. Resultado do Projeto – Pesos

Para obter uma potência entre os valores de 30- 40 MVA e atender aos limites de pesos e dimensões desejadas para tráfego sem licença especial foi necessário o aumento de temperatura de trabalho dos enrolamentos e dos materiais isolantes.

Para tanto, foi proposta a utilização da isolamento sólida desenvolvida 100% em Nomex, inclusive nas capas isolantes [6], associada à utilização da isolamento líquida de óleo vegetal e ao emprego de um sistema complementar de resfriamento composto por três módulos.

Os testes de fábrica foram realizados inicialmente para uma potência de 32 MVA. Porém, para essa potência o transformador resultou em uma elevação de temperatura maior que a especificada em projeto.

Por conseguinte, de forma a adequar ao valor especificado de elevação, foi feita a correção da potência para o valor de 30MVA, definindo assim a potência máxima de operação do transformador.

As Figuras 2 e 3 ilustram o transformador móvel durante os testes de fábrica.



Figura 2. Visão geral da construção do transformador.



Figura 3. Detalhes do sistema de troca de calor convencional.

As Figuras 4 e 5 ilustram o transformador móvel concluído e o sistema complementar de resfriamento proposto.



Figura 4. Transformador móvel concluído.



Figura 5. Sistema complementar de resfriamento.

Nesse ponto, vale destacar que para operação com potência superior a 30 MVA, considerando o intervalo de 30 a 40 MVA, foi considerado o emprego do sistema de resfriamento complementar. Nesse caso, em ensaios de operação, o transformador, após recebido o resfriamento complementar do óleo vegetal, teve sua capacidade de operação aumentada para o valor de 39,5 MVA, com propensão a alcançar maiores patamares de potência, mantendo as condições de operação do óleo dentro dos limites adequados de elevação de temperatura [5].

IV. CONCLUSÕES

O emprego de transformadores móveis minimiza alguns inconvenientes, evitando o corte de cargas e proporcionando o fornecimento contínuo de energia ao sistema. Consequentemente, o fornecimento contínuo de energia ajuda a manter bons índices de energia, mitigando riscos regulatórios.

Neste projeto específico, o desafio proposto foi o de construir um transformador móvel com alta densidade de potência, com carregamento flexível e transporte de logística simples, satisfazendo as necessidades da rede elétrica. Para fazer isso, novos conceitos, processo de construção e os materiais tiveram de ser considerados. Para tanto, foi necessário desenvolver um projeto específico de maneira a racionalizar as variáveis de projeto e processo construtivo.

As principais dificuldades encontradas estão relacionadas ao sistema de transporte, resultado dos limites de peso e dimensão impostos ao projeto; à utilização da isolação sólida 100% em Nomex, uma vez que até os dias de hoje não se construiu capas do transformador em Nomex; e ao dimensionamento dos trocadores de calor, uma vez que é objetivo do projeto dissipar as perdas, com a maior eficiência e com o menor nível de ruído possível.

Adicionalmente, verificou-se que o emprego do resfriamento complementar do óleo vegetal permitiu um aumento da potência de até 32% (em relação ao valor de 30 MVA), com propensão a alcançar maiores patamares de potência devido a maior capacidade existente da unidade de resfriamento. Estes resultados se mostram promissores no que diz respeito à compactação de transformadores móveis de alta tensão.

Por fim, os resultados apresentados pelos testes se mostraram satisfatórios, validando os objetivos propostos no que tange o desenvolvimento de um transformador móvel com alta densidade de potência para tráfego sem licença especial.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), a CPFL Paulista (Companhia Paulista de Força e Luz - Paulista) e a RGE (Rio Grande Energia) pelo apoio financeiro e técnico fornecidos.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G.A. Hamoud,. "Use of mobile unit transformers in high voltage load stations"; In: 2008 Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, pp. 1-8, 20-24 July, 2008.
- [2] IEEE, "Std 1276-1997: IEEE Guide for the Application of High-Temperature Insulation Materials in Liquid-Immersed Power Transformers", 1997.
- [3] International Electrotechnical Commission. "Power Transformers - Part 14: Design and application of liquid-immersed Power transformers using high-temperature insulation materials", Switzerland, 2004.
- [4] T. Sousa; J. A. Jardini; M. A. Bini; J. C. Carneiro; F. Uemura; J. L. P. Brittes. "Characteristics of High Power Density Transformer Without a Special License to Traffic" IEEE T&D Latin America 2014, Medellin, 2014.
- [5] C. C. M. Oliveira; J. L. P. Brittes; V. S. Junior. Avaliação do Resfriamento Complementar de Óleo Vegetal de Transformador Móvel de Alta Potência. Submetido ao XXII SENDI, Curitiba, 2016.
- [6] DuPont. "Nomex Tipo 410". Disponível em: http://www2.dupont.com/Energy_Solutions/en_US/assets/downloads/Nomex%20Paper%20410/DPP_Nomex410_K20612-1.pdf. Acesso em: 25/04/2016.

Modelagem estratégica para a caracterização das condições de antecipação do atendimento ao cliente para a melhoria operacional e de serviços

Carlos A. Fróes Lima(1), Luciano E. A. Peres(2) e Tales Neves Anarelli(2)

Resumo – O foco no reconhecimento e antecipação do atendimento ao cliente exige a interpretação dos serviços solicitados e executados. 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, além de quais serviços são solicitados, a necessidade efetiva da comunicação e as condições de operação da distribuidora para atender tais solicitações. A criação de mapas estratégicos e ferramentas analíticas foram incorporados nas rotinas de avaliação de atendimento, como forma de garantir a efetividade do atendimento regional. Técnicas de tratamento de ‘big data’ foram utilizadas, devido ao volume mensal de dados (milhões de registros/mês), garantindo agilidade na compilação e apresentação de respostas de formas gráfica e tabular, com granularidade de informação por bairros e de perfis de clientes/ consumo estruturando um modelo que permite um acompanhamento histórico e preditivo.

Palavras-chave – Antecipação de atendimento, Atendimento ao cliente, Estratégias de atendimento, Melhoria operacional, Relacionamento

PD-0063-3004/2014 – DE 3004 “Modelagem estratégica para a caracterização das condições de antecipação do atendimento ao cliente para a melhoria operacional e de serviços”; OU; CPFL; KNBS; Custo total de execução do projeto: R\$ 2.372.140,00.

1KNBS Telecomunicações e Informática Ltda. (e-mails: froes@knbs.com.br).

2CPFL Paulista (e-mail: lucianoperes@cpfl.com.br, tales@cpfl.com.br).

I. INTRODUÇÃO

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. Estes critérios são necessários para o relacionamento/engajamento do cliente com a implantação de smart grid, como indicados pelo DOE (USA Department of Energy) [1] e Gangale [2], reforçando a análise multidisciplinar dos relacionamentos proposta por Kotler [3].

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 reforçado 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. 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 ou explicitamente disponibilizados.

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 relacionamentos para atendimento de suas expectativas, a visão gerencial focada na organização de um único canal de atendimento não garante necessariamente o atendimento das expectativas do cliente ou apresenta o melhor custo de operação. Entender o cliente em sua busca de serviços pode representar melhor o espaço de atuação da concessionária, que deve ser integrativo, multidepartamental e multicanal.

Com a implantação das smart grids, cada vez mais será necessário ter ferramentas de ‘analytics’ especializadas nas várias maneiras de relacionamento como forma de se agregar inteligência e não apenas automações, buscando ganhos para todos os stakeholders 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). Foram avaliadas as necessidades de relacionamento dos consumidores no seu uso da energia, nas suas demandas de serviços relacionados e pagamentos devidos por estes serviços; os condicionantes regionais/locais de atendimento, os perfis de consumo e 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 serviços nos canais de relacionamento da concessionária.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Diferenciais tecnológicos foram agregados para se caracterizar a granularidade de observação do cliente (apresentando as condições de exceção no nível de bairros 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 dos pontos a serem evoluídos. Este trabalho trouxe à 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 para responder as questões apresentadas na Figura 1.**

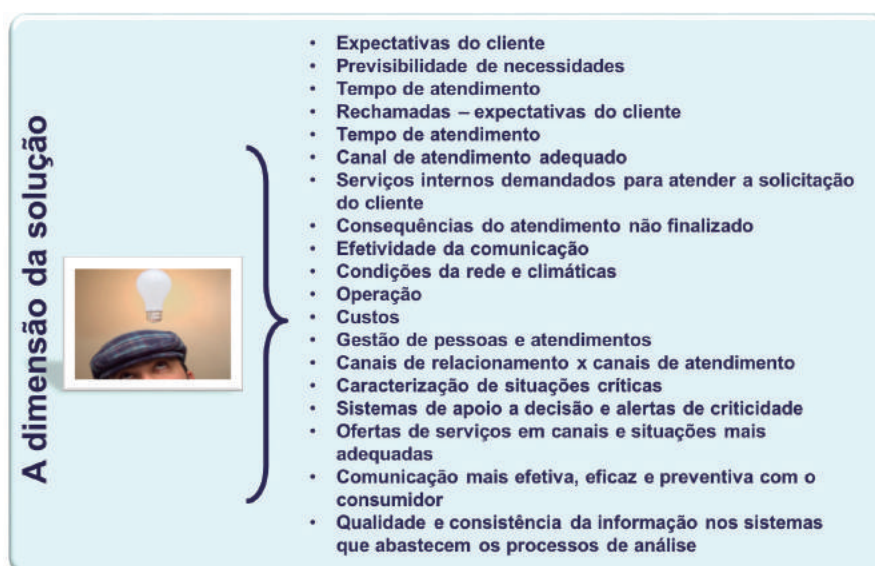


Figura 1. A dimensão do problema

Técnicas de tratamento de big data (estado da arte em tratamento de grandes volumes de dados) ([4], [5]) 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 pudessem ser executadas pelas equipes dos diversos

canais de atendimento, 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 permitem 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 permitem 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 detectam a causa das necessidades de atendimento e não somente cumprem 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 dos clientes (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). Foram acompanhadas pelo sistema software gerado e validada a efetividade de atendimento com implantação de novos formatos de comunicação para eventos de problemas na rede, via SMS. Melhores práticas de relacionamento foram revisitadas, quanto à disponibilidade de informações para os clientes e agilidade no atendimento pelos canais existentes. O processo metodológico foi incorporado ao sistema desenvolvido CCAF (*Contact Center Analytical Framework*), **que representa os 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.**

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, observados na Figura 2 e na Figura 3.

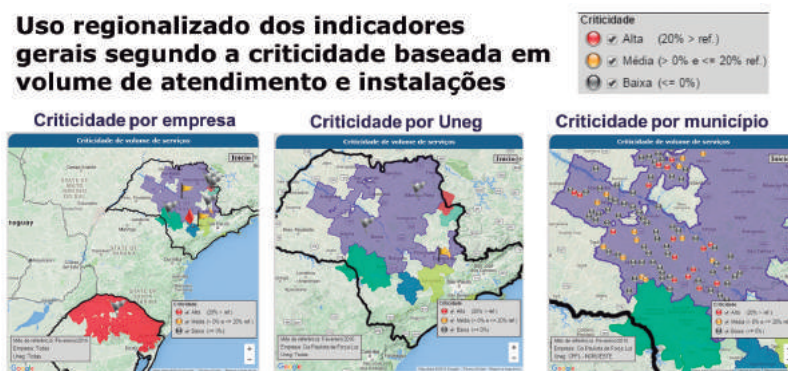


Figura 2. Indicadores regionais e mapas de criticidade

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.

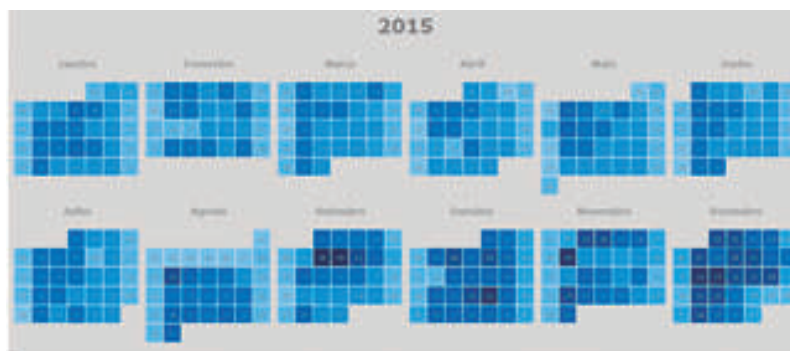


Figura 3. Mapa “de calor” de atendimentos para 2015 representando um filtro de atendimentos/canal realizados por dia

Adicionalmente, e como aplicação especial da solução, a realização, gestão e acompanhamento de campanhas especiais com base na realidade local (regional) pôde ser mais assertiva do ponto de vista da fidelização e atendimento às expectativas dos clientes. E a grande dificuldade de acompanhamento de seus resultados foi 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 esta-belecido), 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 consequências administrativas mais detalhadas por Fróes [6].

III. CONCLUSÕES

Estes novos recursos foram disponibilizados para os analistas de inteligência de negócios para análise dos relacionamentos com os clientes [4]. 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. Atenção especial tem sido dada ao status de adimplência do cliente com a concessionária e a efetividade dos registros das chamadas. Questões operacionais relacionadas com os tempos para a execução dos serviços solicitados também estão sendo consideradas. 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.

Do ponto de vista de fragilidades da rede elétrica 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 reavaliadas para permitir e garantir 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. Estas ações 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 [1].

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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 Nov/23/2015
- [2] 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
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Soares, S., "Big Data Governance - An Emerging Imperative", MC Press Online, 2012, 342 p.
- [6] Fróes Lima, C. A.; Luz, B.M.; Takemoto, S. T., Barisson, P.; Tezzin, R.A.T.; Peres, L.E.A.; Anarelli, T.N., Silva, A.F., "Strategic modeling to improve services and operation to energy industries' customers", Journal of Business Research, v. 44, p. online24May2016, 2016.

Plataforma virtual interativa para capacitação de eletricitas em subestações

Juliana A. Paludo(1), Eduardo H. Tanaka(1), Rafael Bacchetti(1), Leonardo R. Domingues(1), Carlúcio S. Cordeiro(1), Olavo Giraldo Jr.(1), Edgar V. Gadbem(1), Guilherme Alcarde Gallo(1), Adam Mendes da Silva(1), Marcos H. Cascone(1) e Adriana Euflausino(2)

Resumo – Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma plataforma interativa em realidade virtual imersiva para capacitação de eletricitas de distribuição habilitados em subestações. Foram reunidas tecnologias de realidade virtual imersiva, simulação por eventos discretos, sensoriamento biométrico e desenvolvimento web, com o intuito de criar um ambiente de treinamento inovador. Com a plataforma, buscou-se aprimorar o treinamento dos eletricitas da CPFL, para elevar a qualidade e a rapidez dos serviços prestados pela empresa, assim como o nível de segurança dos colaboradores.

Palavras-chave - realidade virtual imersiva; sensoriamento biométrico; subestação de distribuição; treinamento virtual.

“PD-0063-3005/2014 – Plataforma virtual interativa baseada na simulação de eventos discretos para comprovar a habilitação do eletricitista para realizar manobras em subestações”; Segurança; CPFL; Instituto de Pesquisas Eldorado; Custo: R\$ 2.202.666,24.

1 Instituto de Pesquisas Eldorado: (juliana.paludo; eduardo.tanaka; rafael.bacchetti; leonardo.domingues; carlucio.cordeiro; olavo.giraldo; edgar.gadbem; guilherme.gallo; adam.silva; mar-cos.cascone)@eldorado.org.br

2 CPFL: adrianaeuflausino@cpfl.com.br

I. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o treinamento de equipes de campo no setor de distribuição de energia elétrica é subdividido em aulas teóricas e atividades práticas. Para os eletricitas de distribuição habilitados em subestações de distribuição de energia elétrica (EHS) da CPFL, as atividades práticas são restritas e não refletem a atuação do eletricitista durante uma ocorrência. Os exercícios realizados em subestações (SEs) energizadas podem oferecer riscos à integridade física do profissional e da instalação, enquanto que os efetuados em SEs desenergizadas, embora seguros, não reproduzem o comportamento dinâmico da subestação após a manipulação de algum equipamento. Sobre os métodos de avaliação, usualmente optam-se por provas teóricas e análises de desempenho durante as práticas na SE. Informações subjetivas sobre o treinando, que poderiam impactar em sua atividade em campo, não são coletadas durante a avaliação.

Explorando o referido problema, foi proposta uma plataforma educacional interativa e imersiva para capacitação de EHS. Esta plataforma foi construída com diferentes tecnologias, dentre as quais se destacam a realidade virtual imersiva, que é capaz de proporcionar uma experiência bastante realista ao usuário, e o sensoriamento biométrico, que fornece ao instrutor informações adicionais sobre o comportamento do treinando, especialmente seu nível de estresse. A construção da plataforma interativa contou com a colaboração de uma equipe multidisciplinar, que incorporou diversas competências no desenvolvimento do projeto (simulação por eventos discretos, representação de sistemas elétricos, modelagem 3D, avaliação de interface, usabilidade, desenvolvimento web, análise estatística de dados, entre outras). A figura 1 ilustra um panorama da subestação virtual construída para o treinamento.

Inicialmente, a aplicação da plataforma encontra-se dedicada aos cursos de formação e de reciclagem de EHS da CPFL, e poderá ser estendida a outras áreas da empresa, assim como adaptável para outras distribuidoras. O sistema teve uma boa aceitação pelos EHSs, que consideraram a plataforma bastante didática, prática e muito semelhante à subestação real.



Figura 1. Subestação virtual da plataforma interativa de treinamento baseada na SE Monte D'Este da CPFL. No ambiente, o electricista é capaz de visualizar as instalações e interagir com os objetos e equipamentos presentes no cenário. As atividades podem ocorrer durante o tempo e a quantidade de vezes necessárias para que o electricista se familiarize com a subestação.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Por oferecer um modo realista e seguro de praticar o conhecimento, o uso de simuladores computacionais em realidade virtual vem sendo incorporado aos treinamentos de diversos segmentos. Dos trabalhos encontrados no contexto de sistemas elétricos, a predominância está nas áreas de manutenção de equipamentos ou de redes elétricas [1], evidenciando a contribuição do projeto proposto para a literatura técnica.

Como já exposto anteriormente, o principal objetivo do projeto foi criar uma plataforma interativa com uma metodologia educacional que pudesse aprimorar os métodos atuais de capacitação e de avaliação do treinamento de EHS. A arquitetura da plataforma de treinamento é apresentada na figura 2. A descrição das

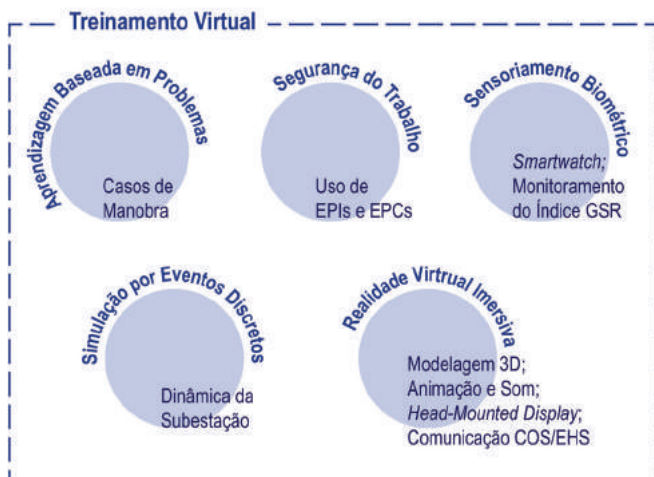


Figura 2. Arquitetura da plataforma de treinamento virtual.

técnicas e tecnologias empregadas serão apresentadas nas próximas seções.

O processo de desenvolvimento desta plataforma foi dividido basicamente em duas frentes: (i) a subestação virtual, que deveria representar da maneira mais fiel possível a subestação real; (ii) o treinamento, que seria a

interface entre o electricista em treinamento e o instrutor. A seguir serão apresentados mais detalhes de cada uma.

A. Subestação Virtual

A construção do ambiente virtual foi realizada no motor de jogos Unreal Engine, com o emprego de modelos 3D para representação visual e um óculos de realidade virtual do tipo *Head-Mounted Display* (HMD) para proporcionar a sensação de imersão e realismo aos usuários.

Para simular o comportamento elétrico da SE, foi utilizada a técnica de simulação por eventos discretos, que ainda não havia sido explorada em outros simuladores no contexto de subestações de distribuição. A técnica possibilitou a mudança de estados dos equipamentos baseada em eventos, replicando automaticamente as consequências na subestação após a interação do usuário com algum equipamento. Para enriquecer o realismo, foram inclusos sons ambientes da SE real e animações e ruídos dos equipamentos, para abertura de seccionadores, acionamento de disjuntores, sinalizações e alarmes de relés de proteção, entre outros.

B. Treinamento na plataforma interativa

A metodologia educacional adotada baseou-se no Aprendizado Baseado em Problemas (ABP), conduzindo o candidato a EHS à execução de casos de manobras com diferentes graus de complexidade, à comunicação com um COS virtual, à manipulação dos equipamentos da SE e ao emprego correto de EPIs e EPCs. Ao todo, vinte casos de manobras estão disponíveis na plataforma, e estas podem ser realizadas sob diferentes condições climáticas e temporais: (i) noite; (ii) dia com sol; (iii) com chuva.

O processo de criação e desenvolvimento dos casos de manobra é exibido na figura 3 e contou com o apoio de técnicos electricistas da CPFL, que contribuíram com seus conhecimentos e experiências das atividades em campo.

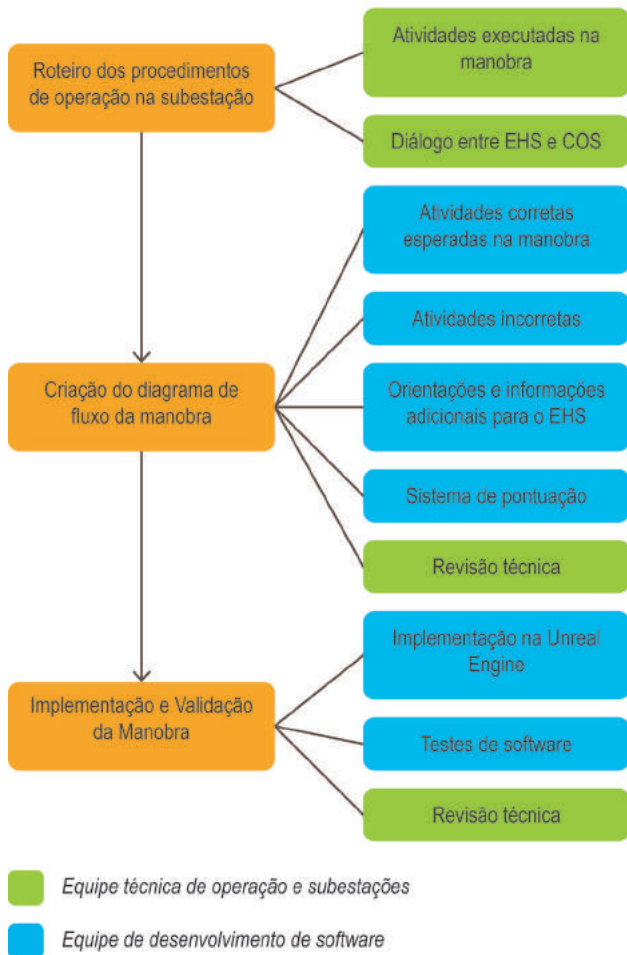


Figura 3. Elaboração dos casos de manobra para o treinamento virtual.

Os casos de manobra basearam-se nos manuais de manobras básicas e de emergência da CPFL. O diagrama de fluxo da manobra abrangeu conteúdos referentes à atuação do EHS, tais como os procedimentos corretos de execução, erros frequentes cometidos e dúvidas usuais. Para classificar quantitativamente o desempenho do EHS, foi incorporado um sistema de pontuação.

Para a avaliação dos treinandos, os instrutores podem emitir relatórios de desempenho de cada manobra, sendo possível visualizar graficamente os erros cometidos e o tempo de execução da manobra. Além disso, são coletados através de um *smartwatch* dados biométricos do treinando.

Dentre os dados biométricos, o que se destaca é o índice *Galvanic Skin Response* (GSR) por ser um ótimo indicador para analisar possíveis alterações no nível de estresse [2]. Com o GSR, os instrutores podem identificar situações que ocasionaram possíveis elevações no nível de estresse dos treinandos e relacionar estas situações com outros dados coletados na manobra.

A figura 4 ilustra um gráfico exibindo a variação do sistema de pontuação com o índice GSR de um treinando. Com estes dados, os instrutores podem aprimorar seus treinamentos e retrabalhar as condições que causaram maiores desconfortos aos eletricitistas.

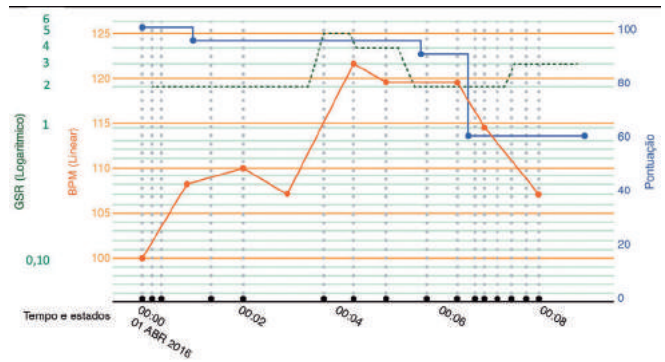


Figura 4. Variação do sistema de pontuação com o índice GSR durante a execução de uma manobra.

As tecnologias inovadoras HMD e ‘*smartwatch*’ adotadas ainda carecem de padrões e ‘*guidelines*’ de usabilidade. Portanto, fez-se necessário realizar testes de usabilidade da plataforma durante o desenvolvimento do projeto para assegurar sua facilidade de uso, ergonomia e eficácia. Resultados expressivos foram obtidos nesta área e publicados em outro trabalho dos autores [3].

III. RESULTADOS E APLICAÇÃO NA CPFL

A integração entre a equipe de desenvolvimento da plataforma e profissionais de diversas áreas da CPFL (educação, engenharia, operação do sistema, operação de subestações, segurança) fez com que a plataforma estivesse adequada para todas as áreas envolvidas.

A plataforma de treinamento em realidade virtual foi entregue à CPFL em uma mídia portátil, possibilitando a instalação em qualquer computador que atenda aos requisitos mínimos do sistema, não necessitando de uma infraestrutura física. Este é um resultado bastante benéfico visto que o grupo CPFL possui uma extensa área de concessão e um elevado número de eletricitistas.

O equipamento está em operação e já foi utilizado com sucesso no treinamento de três turmas de formação de EHSs, além de divulgado em eventos internos e externos na SIPAT – Semana Interna de Prevenção de Acidentes do Trabalho. A figura 5 exhibe um EHS utilizando a plataforma de treinamento virtual. Atualmente, a plataforma se encontra instalada nas seguintes localidades: (i) Universidade Corporativa – Campinas/SP, (ii) EA Centro – Campinas/SP, (iii) CT Ribeirão Preto/SP e (iv) CT Bauru.

Com profissionais mais capacitados, espera-se uma melhoria da produtividade e da eficiência operacional da empresa por meio do aumento da assertividade dos eletricitistas nas manobras e atendimento às ocorrências de falhas em subestações. As equipes de campo executarão suas atividades com mais agilidade, reduzindo o tempo de regularização do sistema elétrico em situações de contingências, o que acarreta na melhoria dos indicadores de qualidade do fornecimento do produto por reduções de quedas e faltas de tensões e do atendimento devido às reduções do TMA (Tempo Médio de Atendimento).

Ademais, haverá uma melhoria na segurança no trabalho e potencial redução de riscos de acidente em subestações de distribuição.



Figura 5. EHS utilizando a plataforma interativa de treinamento

Desta maneira, uma redução dos custos também é esperada, compreendendo gastos de treinamentos presenciais (deslocamentos, hospedagens e refeições de instrutores e treinandos) e de operação (mão-de-obra de retrabalhos, ressarcimentos e multas relacionados aos Indicadores de Continuidade DEC e FEC, Tempo Médio de Atendimento a Emergências TMAE, danos em equipamentos, entre outros).

IV. CONCLUSÕES

Com a plataforma de treinamento virtual, os eletricitistas poderão praticar de maneira livre e contínua no ambiente da subestação, aprimorando seus conhecimentos sobre operação em subestações e fortalecendo conceitos de segurança do trabalho, contribuindo assim para elevação de sua capacitação e qualidade do serviço executado.

Como continuidade deste projeto, vê-se a oportunidade de explorar a simulação por eventos discretos e o monitoramento biométrico para outros contextos além das subestações, uma vez que o método de simulação representou de maneira adequada a subestação, e o monitoramento biométrico pode trazer insumos para novos métodos de avaliação. Almeja-se, com essas novas explorações, propor uma solução ainda mais completa ao setor, definindo seu arranjo comercial.

V. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Eldorado pela equipe técnica e infraestrutura, à CPFL pela contribuição técnica e à Aneel pelo incentivo financeiro.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Silva, R. C. "Virtual Substation: Um sistema de Realidade Virtual para treinamento de operadores de subestações elétricas", Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 138. 2012.

[2] Rieder, R., Kristensen, C. H., and Pinho, S. "Identifying Relationships between Physiological Measures and Evaluation Metrics for 3D Interaction Techniques", in Proc. the Human-Computer Interaction – INTERACT 2011. [S.l.]: [s.n.], 2011. p. 662-679.

[3] Tanaka, E. H., Paludo, J., Domingues, L. R., Cordeiro, C., Giral-di JR, O., Cascone, M. H., Gadbem, E., and Euflasino, A., "Design de Interface de um Ambiente de Realidade Virtual Imersiva para o Treinamento de Eletricitistas", in Anais do XIV Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais, 2015, Salvador, 2015. p. 350-359.

Dispositivo microcontrolado para detecção de aterramento móvel temporário (AMT) instalados em subestação

Rogério Thomazella(1), Cezar J. S. Anna(2), Marcelo Marchi(1), João M. R. Ianhes(3),
Joaquim B. Neto(2), José E. C. Castanho(1), Fábio R. L. Dotto(4), Denivon Jose Dos Santos(3).

Resumo – Este trabalho trata do desenvolvimento de um dispositivo eletrônico microcontrolado, capaz de monitorar, avaliar e detectar a presença de Aterramento Móvel Temporário (AMT), instalados nas intervenções/manutenções em barramentos, transformadores, bays, alimentadores e linhas de transmissão nas subestações alta tensão. Este dispositivo faz parte de um sistema de monitoramento desenvolvido intitulado de SisMonAMT, cuja patente fora requerida, capaz de evitar a normalização da subestação, com AMT's esquecidos e não retirados na finalização das atividades e que possivelmente causariam danos ao sistema de transmissão.

Palavras-chave – AMT, Aterramento Móvel Temporário, Detecção de AMT, Hardware Microprocessado, Monitoramento AMT, Transponder RFID.

Este artigo foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica [P&D] regulado pela ANEEL com Contrato PD-0068-0018/2011 entre a Proponente ISA/CTEEP e a Executor: FUNDEB/UNESP, cujo investimento foi de **R\$ 650.650,95**.

1 Unesp – (e-mails: thomazella@feb.unesp.br; castanho@feb.unesp.br).

2 Fundeb - (e-mails: marcelo.marchi@outlook.com; cezarjose@hotmail.com; jbri@terra.com.br).

3 ISA/CTEEP (e-mails: jianhes@ctEEP.com.br; djsantos@ctEEP.com.br).

4 Farol Consultoria e Pesquisa. (e-mail: fabio@farolconsultoria.com.br).

I. INTRODUÇÃO

O dispositivo microcontrolado – SisMonAMT - para detecção de Aterramento Móvel Temporário AMT é fruto do projeto de pesquisa e desenvolvimento - Contrato P&D 0068/0018/2011 - entre a ISA/CTEEP Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista e a FunDeB/Unesp Fundação para o Desenvolvimento de Bauru/Universidade Estadual Paulista.

O SisMonAMT é capaz de monitorar, avaliar e detectar a presença de AMT em áreas desenergizadas que estejam sob intervenção das equipes de manutenção.

A reenergização de uma linha de transmissão com o AMT instalado resulta em graves incidentes ao sistema de transmissão e ou distribuição, que vão desde problemas de segurança do trabalho até a queima de equipamentos e consequentemente possíveis desligamentos do sistema de transmissão, ocasionando prejuízos às concessionárias, aos funcionários afetados pelo incidente e aos cidadãos afetados por uma possível falha, incorrendo em grandes penalidades impostas pela ANEEL [2-3-4].

O SisMonAMT mostrado pela Figura 1 tem a finalidade de realizar o monitoramento e a detecção da presença desses AMT's instalados nas áreas desenergizadas, sob algum tipo intervenção, eliminando os riscos de se energizar essas áreas com AMT instalado no processo de normalização de uma subestação.

II. DESENVOLVIMENTO E COMPONENTES DO SISTEMA

O sistema desenvolvido consiste em uma solução completa, aplicada no monitoramento do Aterramento Móvel Temporário (AMT) em subestações de Extra-Alta Tensão, Alta Tensão e Média Tensão. É um produto inovador, que utiliza

um sistema eletrônico e um software desenvolvidos durante a pesquisa. O SisMonAMT é composto por: uma Estação de Monitoramento Local, um Painel de Monitoramento Remoto e, um Bloqueador Mecânico de AMT, como mostrado na Figura 1. Esse sistema permite avaliar em tempo real as instalações dos AMT's por meio de comunicação sem fio (via rádio).



Figura 1. SisMonAMT Sistema de Monitoramento do Aterramento Móvel Temporário.

A. O Aterramento Móvel Temporário - AMT.

O AMT [1] é um equipamento que garante a integridade física da equipe de manutenção, para o trabalho em circuito desenergizado e que venha a ser energizado no caso de falha humana, devido a problemas em equipamentos como as chaves seccionadoras, ou mesmo devido à ocorrência de descargas atmosféricas [5].

Na Figura 2, o esquema mostra os componentes de um AMT [6-8]: os grampos de aterramento mostrado na Figura 3 e os cabos condutores para acoplamento do circuito não energizado, no ponto de aterramento. O ponto de aterramento é situado na malha de aterramento da Subestação.

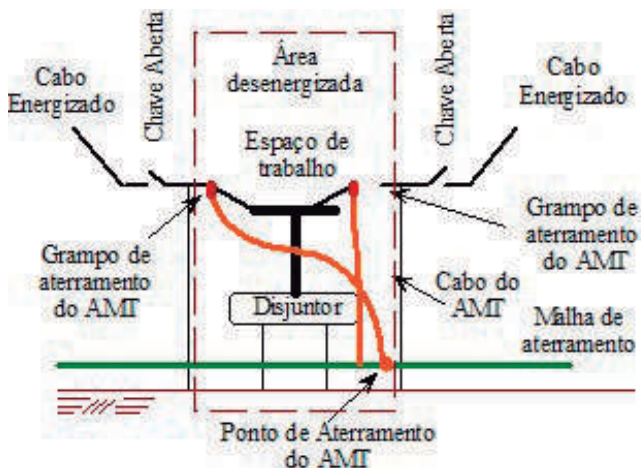


Figura 2. Esquema de ligação de conjunto de Aterramento Móvel Temporário (AMT) em disjuntor de Alta Tensão.

B. SisMonAMT.

Nesta seção serão apresentados todos os componentes que compõem o sistema de monitoramento, representado pelo SisMonAMT.

O Grampo de Aterramento utilizado rotineiramente pelas equipes de manutenção pode ser observado na Figura 3 e foi modificado com a inserção de um bloqueador mecânico, que está indicado com a seta em vermelho.

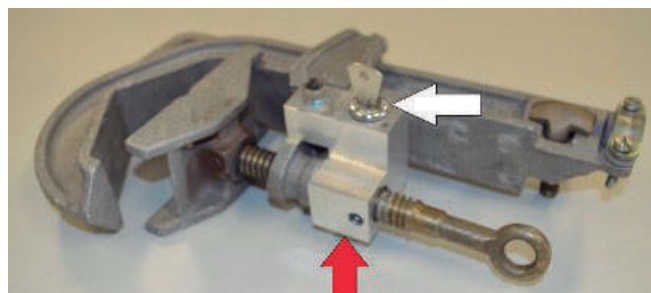


Figura 3. Grampo de Aterramento com bloqueador e Chave de Liberação com transponder RFID

Esse dispositivo adicional normalmente permanece no estado bloqueado, impedindo o uso do grampo, até que uma chave de liberação, retirada do Painel de Monitoramento Remoto, seja inserida, conforme indicado pela seta em branco mostrada na Figura 3. Essa chave, ao ser inserida e acionada, libera a manipulação da garra para uma possível instalação ou retirada do Grampo de Aterramento.

A Chave de Liberação contém um transponder RFID, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5, sendo o componente responsável pela geração do sinal de liberação/bloqueio. Estando inserida no Painel de Monitoramento Remoto, indica que um determinado grampo não está instalado, pois não está desbloqueado para o uso. A retirada de uma das chaves implicará na alteração do estado do sistema indicando a possível instalação de um grampo na planta, neste caso o sistema emite aviso de utilização de um AMT impedindo o religamento do sistema.



Figura 4. Chave de Liberação com o transponder RFID



Figura 5. Transponder RFID

O Painel de Monitoramento Remoto é um equipamento robusto que deve ser utilizado em campo (área de intervenção) a fim de monitorar os sinais das chaves de liberação. A partir deste equipamento são retiradas as

chaves de liberação com RFID, para serem acopladas aos grampos de aterramento efetuando seu desbloqueio, como visto na Figura 6.



Figura 6. Painel de Monitoramento Remoto

O software embarcado no microcontrolador do Painel de Monitoramento Remoto monitora o posicionamento e a inserção das Chaves de Liberação, indicando se estas estão inseridas em suas respectivas posições. O software do sistema de supervisão, por sua vez, somente autoriza a energização do circuito da subestação quando todas as chaves estiverem inseridas no Painel de Monitoramento Remoto.

A Estação de Monitoramento Local ilustrada pelas Figuras 7 e 8 deve ser instalada em um edifício base, como por exemplo, a sala de comando de uma subestação (SE) ou usina de energia elétrica (UHE), e é alimentada por um sistema de energia elétrica em corrente alternada 127/220 volts, existindo a possibilidade de se instalar uma antena externa para aumentar a capacidade de comunicação com o Painel de Monitoramento Remoto. Essa antena externa possibilita uma melhor comunicação com o Painel de Monitoramento Remoto, mesmo em áreas de alta densidade de corrente, como nas proximidades de transformadores, reatores, barramentos, etc.



Figura 7. Vista frontal do painel da Estação de Monitoramento

A Estação de Monitoramento deve ser conectada a um monitor, mouse, teclado e a um sistema wireless (sem fios) para o monitoramento por meio de dispositivos portáteis (notebook, tablets, smartphones, dentre outros), conforme ilustrado na Figura 8. O software do sistema SisMonAMT é executado pela Estação de Monitoramento e reporta aos operadores o estado de cada AMT instalado na subestação, podendo submeter esta informação ao operador do sistema.

C. Utilização do protótipo em campo.

A instalação do protótipo foi realizada na sala de comandos da subestação de Ilha Solteira, onde tem sido utilizado rotineiramente pelas equipes de trabalho. Durante o período de desenvolvimento do projeto, foram realizadas diversas atividades utilizando o protótipo em campo.



Figura 8. Estação de monitoramento em rack na Sala de Comando da Subestação.

Um dos ensaios experimentais foi realizado na Subestação da Usina Hidroelétrica de Ilha Solteira (ILS) de classe 440kV, situada no município de Ilha Solteira, no Estado de São Paulo. Neste ensaio foram simuladas algumas atividades de manutenção no bay paralelo de tensão 440kV. A sequência de atividades inicia com o desligamento da linha, impedimento da área e a instalação dos grampos dos AMT's nas barras do bay a fim de liberar a área para a realização de manutenção. As instalações e retiradas dos AMT's foram monitoradas via sistema, validando o produto desenvolvido e constatando sua eficiência. A Figura 9 ilustra o procedimento experimental mostrando as atividades de instalação do AMT.



Figura 9. Instalação do grampo de aterramento na Subestação 440 kV Ilha Solteira.

Os ensaios realizados mostraram a eficiência do protótipo no monitoramento de AMTs instalados na subestação, demonstrando sua eficiência e confiabilidade, tornando o protótipo bastante operacional em qualquer subestação da ISA-CTEEP.

III. CONCLUSÕES

O projeto de pesquisa e desenvolvimento resultou em sistema integrado e completo para o monitoramento de AMT's instalados nas subestações da ISA-CTEEP. O projeto apresentou inúmeras contribuições à comunidade técnica e científica agregada principalmente à inovação tecnológica do protótipo.

A principal contribuição foi a constatação de que o dispositivo desenvolvido contribuiu de duas maneiras para o aumento da segurança dos trabalhadores nas SE's: primeiramente, não permitindo a normalização com aterramento presente, foco do trabalho, e um segundo momento, contribuindo para a verificação dos AMT's presentes na realização dos serviços, ou seja, atuando como um supervisor de verificação das instalações dos AMT's, incrementando a confiabilidade do serviço prestado.

A implantação do sistema vem ao encontro das necessidades do incremento de segurança, mitigando a ocorrência de falhas por energização das subestações com AMT's presentes. Adicionalmente o sistema permite que toda a instalação e retirada de AMT's sejam acompanhadas remotamente, verificando-se a conformidade do serviço com as normas vigentes. O produto final atende perfeitamente às equipes de manutenção que o utilizam rotineiramente na subestação de Ilha Solteira. Devido à eficácia comprovada do sistema, existe a possibilidade deste ser produzido industrialmente, ampliando sua aplicabilidade para empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, trazendo por consequência mais segurança para a operação do SIN (Sistema Interligado Nacional de Energia Elétrica) e contribuindo para um melhor controle do ONS.

Em Março/2014, a ISA/CTEEP recebeu ofício nº 0153/2014-SPE/ANEEL, com a avaliação final do projeto P&D Dispositivo Microcontrolado para Detecção de aterramento móvel temporário (AMT) instalado na Subestação, onde recebeu parecer favorável, com nota e conceito 3,8 (Bom) e reconhecimento total dos custos do projeto.

IV. AGRADECIMENTOS

A ISA CTEEP e seus colaboradores pelo financiamento e apoio constante ao Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento - P&D. A Fundeb por viabilizar a realização do projeto. A Unesp Campus de Bauru pelo suporte e cessão de recursos e a todos que de certa forma contribuíram para a implementação deste projeto.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. E. Muller; E. F. Richards, "Temporary Protective Grounding of Distribution Circuits – Revisit Ten Years Later," Power Symposium, Rolla, MO, USA, 1989. Pp. 270-280.
- [2] W. e. Diniz; M. F. Alves. "Aterramento Temporário para Linhas de Transmissão: análise da segurança humana". Revista CIER no 57. Dezembro 2012. Pp 82-92.
- [3] Brazil. CTEEP Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista. "TR 128/94", São Paulo, SP, 1984.
- [4] Brazil. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria 598 de 07 de dezembro de 2004." NR 10 Norma Regulamentadora 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade". Brasília. DF. 2004
- [5] S. Visacro Filho. "Aterramentos Elétricos". Artliber Editora Ltda, São Paulo, Brazil, 2005.
- [6] IEEE Guide for "Temporary Protective Grounding Systems Used in Substations", IEEE Standard 1246, 2003.
- [7] IEEE Guide for "Protective Grounding of Power Lines" IEEE Standard 1048, 2003.
- [8] F. C. Ospina. Tierras, "Suporte de la Seguridad Elétrica". Editor INCONTEC, Bogotá, Colômbia, 2005 – ISBN 958 9383 63 7.

Sistema especialista para monitoramento online de ruídos em transformadores de transmissão para identificação de defeitos elétricos

Carlos G. Gonzales (1), Ivan N. Silva (2) e Rogério A. Flauzino (2)

Resumo – O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um sistema especialista, composto de hardware e software, dedicados à detecção e localização de descargas parciais por meio de sinais de sensores de emissão acústica. Assim, por intermédio do sistema eletrônico desenvolvido, os referidos sinais são obtidos e devidamente condicionados de forma a eliminar ruídos. Desses sinais são extraídas as seguintes características: contagem de pontos, duração do sinal, tempo de subida, energia do sinal, área do envelope do sinal e amplitude máxima. Essas características constituem-se nas entradas de uma rede neural artificial devidamente treinada para estimar a distância de ocorrência da descarga parcial. Desta forma, para cada canal tem-se uma distância correspondente entre a coordenada espacial do sensor e a coordenada espacial de ocorrência da descarga parcial. Diversos resultados experimentais foram obtidos a fim de demonstrar a validade das ferramentas desenvolvidas.

Palavras-chave – Detecção de falhas, emissão acústica, sistemas inteligentes, transformadores de potência.

Informações sobre o Projeto de P&D: Desenvolvimento de Sistema Especialista de Diagnóstico Baseado em Monitoramento On-line de Ruídos em Transformadores de Transmissão Para Identificação de Defeitos Elétricos Internos (Código ANEEL: PD-0068-005/2010; Classificação: Pesquisa Estratégica; Subtema: Pesquisa Aplicada; Proponente: ISA-CTEEP; Executora: USP/EESC/SEL; Custo Total: R\$ 1.008.147,79).

1 ISA-CTEEP (e-mails: cgonzale@ctEEP.usp.br).

2 USP/EESC/SEL (e-mail: insilva@sc.usp.br; raflauzi-no@sc.usp.br).

I. INTRODUÇÃO

Com as mudanças que vêm ocorrendo no setor elétrico, há um especial interesse das companhias de transmissão de energia elétrica em aperfeiçoar e definir estratégias para manutenção dos transformadores de potência. No entanto, quando ocorre alguma falha nesses equipamentos, estes são retirados e enviados às unidades fabris a fim de repará-los e posteriormente realocá-los ao sistema. Neste sentido, alguns estudos de viabilidade econômica são realizados, os quais visam a sustentação do sistema elétrico, de forma a manter o fornecimento de energia, bem como reduzir custos de operação e manutenção dos equipamentos.

Tem-se observado, em literatura da área, muitos trabalhos com o intuito de principalmente identificar as falhas internas em transformadores de potência. Neste caso, empregam-se normalmente as análises de gases dissolvidos [1]-[5].

Com o intuito de melhor fornecer um diagnóstico de falhas para transformadores de potência, alguns trabalhos fizeram uso de sensores de emissão acústica para identificar as falhas devidas às descargas parciais. Nessas metodologias propostas, tais autores fazem uso tanto de medidas de tempo provenientes de sensores quanto de pseudo-medidas, as quais garantem maior precisão ao sistema de identificação e localização de descargas parciais.

Com base em tais conceitos, o presente artigo apresenta uma análise envolvendo tanto os sinais elétricos, advindos das descargas parciais (DP), quanto aqueles de áudios provenientes da emissão acústica produzida pela DP. Portanto, o objetivo de tal metodologia seria atingir resultados bem satisfatórios de identificação de falhas internas, a fim de que auxiliem no processo de tomada de decisão relacionado à manutenção dos transformadores de transmissão.

II. ASPECTOS LABORATORIAIS PARA ENSAIOS DE FALHAS INTERNAS EM TRANSFORMADORES

Para o monitoramento de falhas internas em transformadores utilizando-se emissão acústica tem-se uma infinidade de equipamentos, métodos e parâmetros a serem especificados, que variam de acordo com o tipo de defeito que se deseja avaliar. De forma simplificada, o sistema de monitoramento pode ser melhor compreendido por meio da figura 1.

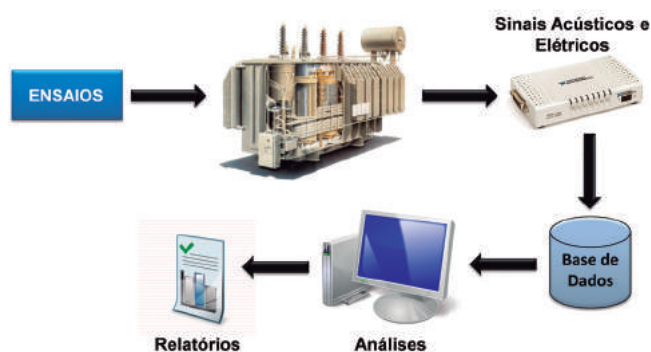


Figura 1. Diagrama de montagem laboratorial para ensaios de transformadores.

À medida que se roteirizam ensaios completos, com grande abrangência de falhas internas, mais complexos e caros tornam-se os equipamentos necessários para o processo de detecção de falhas.

A. Medidas Elétricas

As variáveis elétricas passíveis de serem monitoradas quando da ocorrência de uma DP vem demonstrando um grande interesse de pesquisadores. De fato, verifica-se que as variáveis elétricas também são necessárias para uma correta caracterização de falhas internas de transformadores, especialmente se tratando de sistemas que necessitam de bases de dados de condições normais de operação, manobras e também distúrbios. Este é o caso das redes neurais artificiais, que necessitam de dados quantitativos para o processo de aprendizado. Faz-se necessária a medição de tensões e correntes primárias e secundárias trifásicas, totalizando 12 variáveis elétricas. A frequência de aquisição neste caso não necessita ser elevada, pois se deseja investigar componentes harmônicas mais predominantes ao sistema elétrico.

B. Medidas Acústicas

Os sinais acústicos são captados pelos sensores de emissão acústica, que ficam conectados externamente ao transformador, de forma distribuída. Tais sensores possuem diversas características que necessitam de uma correta especificação, tais como número de sensores, pré-amplificação, frequência de operação e ressonância.

C. Equipamentos de Aquisição

As frequências para os sinais elétricos diferem em muito

daquelas encontradas nos sinais acústicos, sendo então uma grande vantagem técnica e financeira o desmembramento do hardware de aquisição em dois, ou seja:

- Hardware para sinais elétricos: para fins de qualidade de energia estabelecidos no PRODIST, a 25ª harmônica é a última de interesse, sendo que se adotando o critério de Nyquist é preciso uma taxa de aquisição de no mínimo 3 kHz.
- Hardware para sinais acústicos: necessidade de se utilizar um conversor A/D para cada canal. As fontes de emissão acústica também variam entre 5 kHz e 500 kHz, sendo então necessária uma frequência de aquisição na casa de MHz.

D. Análises de Dados

Um computador pessoal pode ser empregado para armazenar as informações acústicas e elétricas vindas do hardware de aquisição. A velocidade do barramento e também do armazenamento em disco tiveram considerável acréscimo, não sendo mais necessário discos de grande desempenho, como aqueles com barramento SCSI. Outra função do computador é processar as informações elétricas e acústicas a fim de detectar as falhas, sendo essa sua função com maior esforço computacional atualmente.

E. Relatórios de Suporte à Tomada de Decisão

Esta estrutura é a que oferece os maiores desafios, pois é preciso uma combinação de ferramentas para se identificar e localizar de forma eficiente as falhas dos transformadores. Destacam-se atualmente os sistemas inteligentes para se elevar a eficiência nos processos envolvendo a detecção de falhas, especialmente aqueles de localização.

III. ENSAIOS UTILIZANDO UM TANQUE EXPERIMENTAL

Com o intuito de realizar os primeiros ensaios de descargas parciais no óleo mineral isolante, um tanque experimental foi devidamente montado. Este tanque pode ser visualizado por meio da figura 2. A fonte de tensão e o TP empregado para transdução encontram-se na figura 3.

Nota-se que os sensores de emissão acústica foram alocados nas faces externas do tanque experimental com a finalidade de se obter sinais acústicos correspondentes à propagação das descargas parciais no óleo. Na figura 4 tem-se a representação do aparato responsável pela criação das DP. Os primeiros ensaios a serem realizados dizem respeito à calibração dos sensores e constituem um passo fundamental para os ajustes de parâmetros.

Tal procedimento é realizado quebrando-se a ponta de grafite de uma lapiseira, a fim de se aferir a precisão e o comportamento dos sensores de emissão acústica, bem como do equipamento de aquisição de dados.



Figura 2. Tanque Experimental para ensaios de descargas parciais.

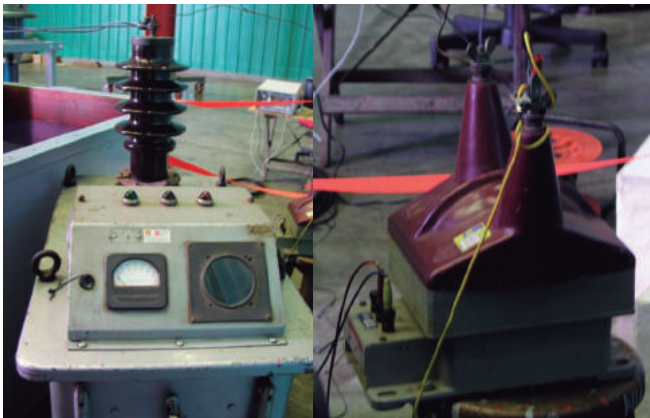


Figura 3. Fonte de alta tensão e TP utilizados nos ensaios.

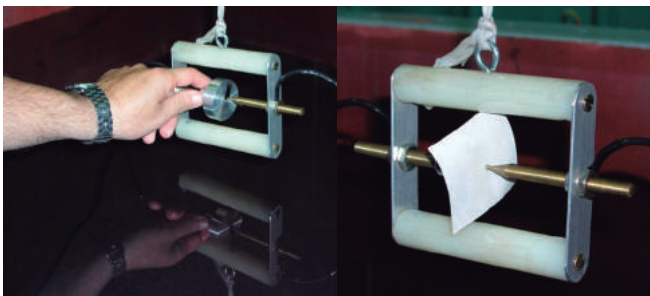


Figura 4. Eletrodos para geração de DP.

A fim de se compor uma base de dados de fenômenos acústicos, sobretudo aqueles relacionados às DP, diversos ensaios experimentais foram feitos em um tanque de óleo isolante, onde mais de 70 oscilografias foram registradas.

O intuito de se realizar tais aquisições é o de criar uma massa de dados que permita correlacionar os sinais elétricos e acústicos e fornecer subsídios para a proposição de ferramentas de identificação e localização de DP. Os sinais elétricos foram monitorados e adquiridos por meio de oscilógrafos. Já os sinais de emissão acústica foram adquiridos através de ferramentas comerciais próprias para este tipo de ensaio. Na figura 5 tem-se a representação de um sinal de emissão acústica armazenado.

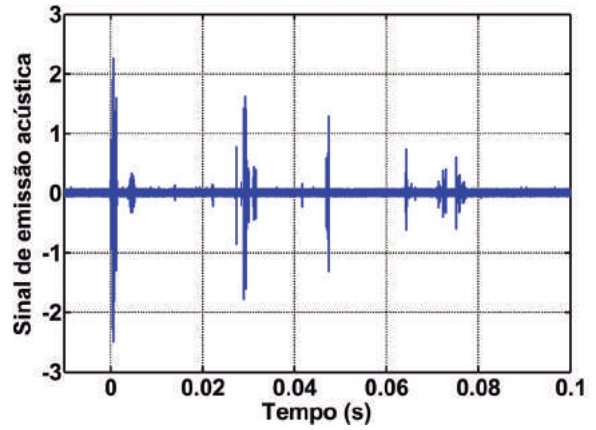


Figura 5. Sinal de emissão acústica coletado pelos sensores.

IV. ASPECTOS DO SISTEMA INTELIGENTE DESENVOLVIDO

Com o intuito de pré-processar os sinais provenientes dos ensaios experimentais previamente realizados, efetuaram-se os cálculos necessários para que os dados pudessem ser posteriormente submetidos às redes neurais artificiais. Seguindo este contexto, todos os cálculos são explanados tendo como base a figura 6 que representa um sinal de emissão acústica capturado após a ocorrência de uma descarga parcial num transformador de transmissão de energia elétrica.

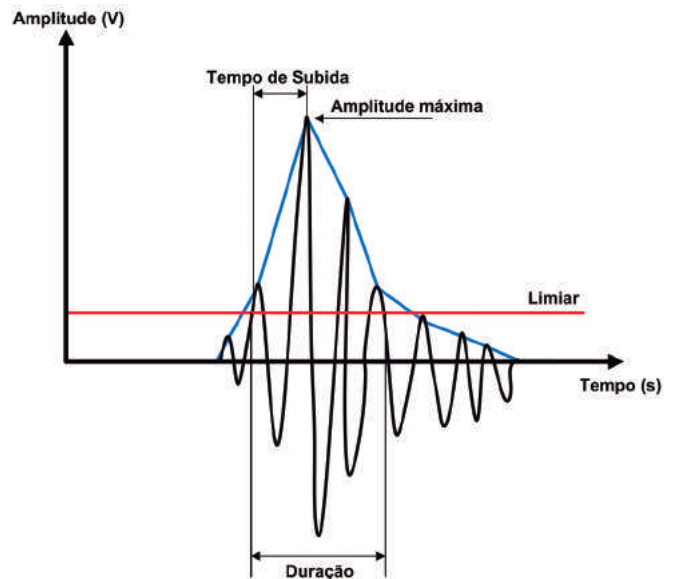


Figura 6. Atributos dos sinais de emissão acústica coletados pelos sensores.

A partir da figura 6, as seis características mais interessantes para a tratativa de localização de sinais de descargas parciais são as seguintes: amplitude máxima, duração, contagem de pontos, tempo de subida, energia e área da envoltória. Assim, a base de dados completa com mais de 3 milhões de registros fora processada com o objetivo de se extrair das informações no domínio do tempo tais características pertinentes ao processo de localização das DP.

Após este processo, um total de "21.816 registros" x "6 colunas" válidas é obtido. Tal base de dados foi então assumida para os processos de aprendizado das redes neurais, em que foram usados 17.453 padrões para

treinamento e 4.363 para validação. As topologias de redes testadas apresentam característica semelhante àquela representada pela figura 7.

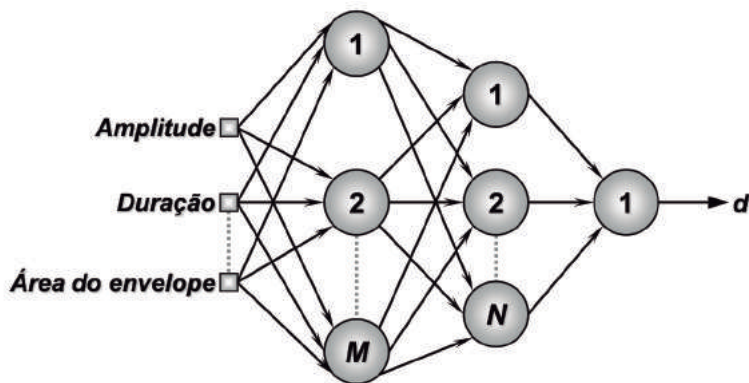


Figura 7. Arquitetura de rede neural artificial para localização de DP.

É possível então salientar que as redes avaliadas terão uma topologia de 6 entradas, 1..M neurônios na primeira camada neural escondida, 1..N neurônios na segunda camada escondida e uma saída d. A melhor topologia alcançada foi aquela com 12 neurônios na primeira camada neural escondida e 8 neurônios em sua segunda camada escondida. Foram realizados 42 treinamentos, sendo que as respostas foram devidamente registradas. Os resultados foram extremamente satisfatórios, em que quase 3 mil padrões (de um total de 4.363) foram estimados com erro inferior a 10 cm.

V. CONCLUSÕES

As tarefas de identificação e localização de falhas internas em transformadores de potência fazem-se extremamente necessárias, visto que este é um dos equipamentos que possui maior custo agregado, tanto para sua aquisição como para manutenção. Portanto, as análises de gases dissolvidos e análise das descargas parciais por meio de sensores de emissão acústica são fundamentais para a manutenção do equipamento, as quais trazem diversos benefícios, tais como: redução do risco de falhas inesperadas e paradas não programadas, extensão do tempo de vida útil do transformador, diminuição de gastos com manutenção e redução do tempo de manutenção (devido à localização da falha). Além disso, com o processamento destes dados por meio de sistemas inteligentes, torna-se ainda possível fornecer respostas que auxiliem nas tomadas de decisão sobre os transformadores analisados. Finalmente, constatou-se que os resultados alcançados pelo sistema especialista foram bem promissores.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Z. Yang, W. H. Tang, A. Shintemirov and Q. H. Wu, "Association Rule Mining-Based Dissolved Gas Analysis for Fault Diagnosis of Power Transformers," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, vol. 39, pp. 597-610, November 2009.
- [2] B. Németh, S. Laboncz and I. Kiss, "Condition Monitoring of Power Transformers using DGA and Fuzzy Logic," in Proc. IEEE Electrical Insulation Conference, 2009.
- [3] T. Snow and M. McLarnon, "The Implementation of Continuous Online Dissolved Gas Analysis (DGA) monitoring for all Transmission and Distribution Substations," in Proc. IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 2010.
- [4] P. S. Szczepaniak and M. Klosinski, "DGA-based Diagnosis of Power Transformers – IEC Standard versus k-Nearest Neighbours," in Proc. IEEE International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering, 2010.
- [5] Z. Peng and B. Song, "Research on Transformer Fault Diagnosis Expert System Based on DGA Database," in Proc. 2nd International Conference on Information and Computing Science, 2009.

Impactos da implantação e manutenção das emendas à compressão na confiabilidade de linhas de transmissão aéreas

Carlos David Franco Barbosa(1), Tiago L. D. Forti(2), Rogerio Lavandoscki(3), Paulo Sérgio Franco Barbosa(4), Carlos Antônio Severino Costa(4)

Resumo –A ocorrência de não-conformidades nas emendas em cabos ACSR em linhas aéreas, associada ao aumento da corrente em regime normal de operação, causa o aumento da taxa de falhas. A inexistência de normas e procedimentos específicos permitem que emendas mal prensadas ou empenadas sejam utilizadas provocando aquecimento, perdas por efeito Joule, aumento da resistência elétrica e queda da tensão mecânica residual, provocando o rompimento do cabo e diminuição da vida útil do sistema. Estudos de simulação com elementos finitos e ensaios realizados permitiram propor critérios para rejeitar as emendas na montagem de linhas de transmissão. As simulações de elementos finitos mostraram que a utilização de matrizes de compressão maiores do que as recomendadas acarretam prejuízo à resistência ao deslizamento da emenda.

Palavras-chave – Confiabilidade em sistemas elétricos de potência; Emendas em linhas de transmissão; Transmissão de energia elétrica.

Informações sobre o Projeto de P&D: PD-0068-0017/2011 Confiabilidade integrada estratégica em conexões de cabos de linhas aéreas de alta tensão; Tema e Subtema: SE - Segurança; SE02 - Análise e mitigação de riscos de acidentes elétricos. Empresa de energia elétrica que deu suporte financeiro ao projeto: CTEEP – Companhia de Energia Elétrica Paulista; entidades executoras: Prinsis, Simworx e Unicamp; Custo total de execução do projeto: R\$ 798.840,91.

1 Prinsis Projetos Inovação e Sistemas (cdfrancobarbosa@gmail.com).

2 Simworx (forti@simworx.com.br).

3 CTEEP (rlavandoscki@ctEEP.com.br).

4 Unicamp (franco@fec.unicamp.br, carlosseverino53@gmail.com).

I. INTRODUÇÃO

A reestruturação no setor elétrico brasileiro na década de 1990 aumentou a participação de capital privado, principalmente nas empresas de distribuição e transmissão de energia elétrica, trazendo consigo a necessidade de resultados financeiros em mais curtos espaços de tempo. Isso trouxe questões quanto a inspeção e manutenção dos equipamentos, flexibilização dos limites de operação e confiabilidade do sistema.

A construção de linhas de transmissão requer a confecção de emendas de cabos, e a não conformidade nas luvas de emendas nos processos de prensagem podem reduzir a sua vida útil, provocando aumento da resistência elétrica, perdas por efeito Joule e rompimento do cabo por queda na tensão mecânica residual entre o cabo e a luva.

Deficiências na confecção de emendas têm provocado eventos de falhas que podem se estender em efeito cascata e levar o sistema a um colapso de grande proporção, ou “black out”. As falhas geram custos e prejuízo à imagem das empresas, que deixam de fornecer a energia para os consumidores de diversos segmentos: industriais, residenciais, hospitais, fornecimento de água, comunicações, entre outros.

II. EMPENAMENTO EM EMENDAS DE COMPRESSÃO

Uma das falhas de construção de emendas de compressão é a sua conformação mecânica desigual, em que a emenda apresenta uma configuração empenada, como ilustrado na figura 1. O empenamento da emenda faz com que a peça trabalhe em flexão composta quando tracionada, amplificando os esforços solicitantes. Além disso, essa configuração desalinhada pode provocar distribuição de corrente não-homogênea, com maior perda de potência (efeito Joule), aumento de temperatura e da probabilidade de ruptura.

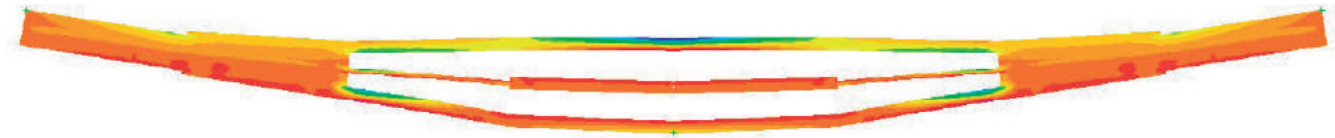


Figura 1. Ilustração de uma emenda desalinhada (corte longitudinal).

O estudo revela a necessidade de observância estrita aos procedimentos de execução, compatibilizando os padrões de prensa/matriz, ferramentas e luvas, preferencialmente do mesmo fabricante. Visando a quantificar a perda de resistência mecânica da emenda empenada, foram realizados ensaios de laboratório de tração para emendas com diferentes níveis de empenamento.

Foram realizados 5 ensaios, resumidos na tabela I, para valores de 1% a 3% de flecha (desalinhamento vertical sobre comprimento da emenda). A especificação mínima do fabricante (14.288 kgf) foi atendida pelas emendas, exceção à emenda 4 (3% de flecha) que resistiu 13.450 kgf no ensaio. A resistência da emenda 5 (2,5% de flecha) ficou muito próxima da especificação, de modo que se recomenda que a tolerância de flecha deva ser de até 2%. Comparando-se os resultados, observa-se uma diferença superior a 10% na resistência entre as emendas mais retilíneas e a de maior empenamento (3% de flecha).

Tabela I. Ensaios de tração de emendas empenadas ACSR DRAKE SADE

Emenda	Flecha	Tração de ruptura (kgf)
1	1 %	15.850
2	1 %	15.617
3	1 %	14.700
4	3 %	13.450
5	2,5 %	14.350

III. AVALIAÇÃO DE MATRIZES DE COMPRESSÃO

Uma das falhas de execução de emendas de compressão é causada pela utilização de matrizes de compressão diferentes das especificadas pelo fabricante das luvas. A adoção de matrizes similares é prática comum. Entretanto, os resultados deste estudo indicam que não devem ser praticadas, podendo-se comprometer a resistência da ligação.

A modelagem em elementos finitos foi realizada para diferentes configurações de prensagem da emenda, utilizando-se matrizes de diferentes tamanhos. Para a

simulação adotou-se um cabo Grossbeack com 26 fios de alumínio e 7 de aço e a matriz de compressão da Forjasul 55723/004, conforme figura 2.

A emenda a compressão estudada consiste de duas operações. Primeiramente é realizada a emenda dos fios de aço e na sequência é feita a emenda dos fios de alumínio.

Para os fios de aço, utiliza-se uma luva de aço; para os de alumínio, uma luva de alumínio.

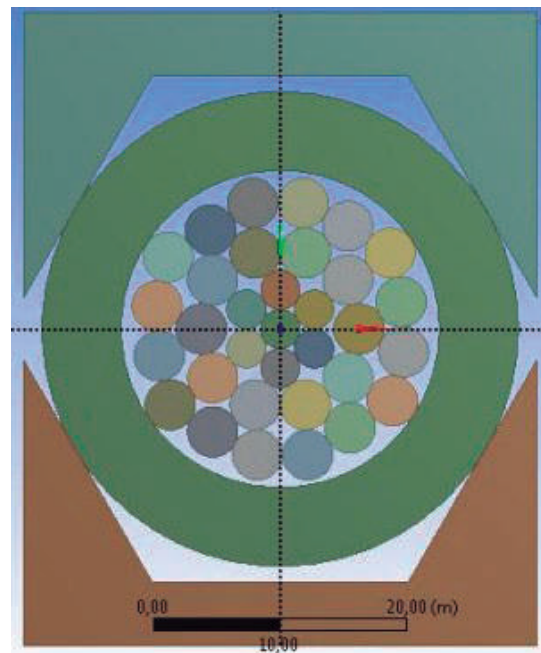


Figura 2. Seção da emenda do cabo (emenda dos fios de alumínio).

A conformação mecânica da luva é um processo de plastificação e a resistência ao deslizamento é função da tensão residual na luva. A pressão no contato da luva e dos cabos impede o seu deslizamento por atrito. Dessa forma, a pressão no contato foi adotada como variável de comparação das simulações.

Visando simular a utilização de matrizes de compressão similares, foram analisadas 5 geometrias de matrizes de prensagem. As geometrias foram 5% e 10% menores que a especificada, a própria matriz correta indicada pelo fabricante e até 10% maiores, mostradas na figura 3.

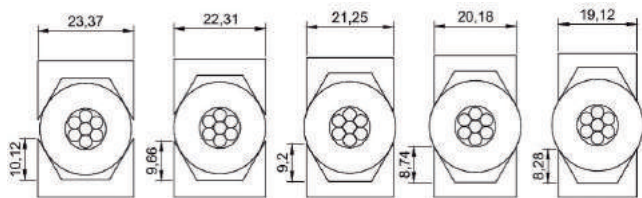


Figura 3. Matrizes de compressão para a luva de aço.

A compressão com a matriz correta apresentou, como esperado, uma deformação plástica bem acentuada na emenda, com tensões residuais atingindo picos de 360MPa. A figura 4 mostra a pressão nos contatos entre o cabo e a luva de aço.

As simulações com as matrizes de tamanhos maiores do que a matriz correta mostram serem viáveis a prensagem dos cabos. Entretanto, observa-se uma redução significativa da tensão residual do contato cabo luva quanto maior for a matriz de compressão. O gráfico da figura 5 mostra essa redução.

Pela simulação, as matrizes menores se mostraram inviável para executar a prensagem da emenda. A matriz 5% menor que a matriz correta provoca o escoamento da luva entre os vãos da matriz durante a prensagem ao invés de tomar a forma da matriz. Já a matriz 10% inferior danifica a luva como se estivesse rasgando-a. A figura 6 mostra o resultado da simulação para os dois casos.

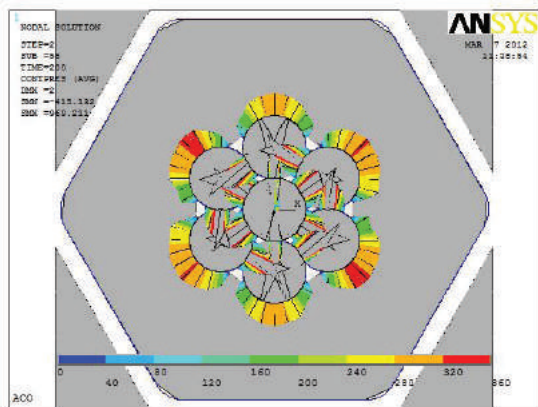


Figura 4. Pressão nos contatos entre o cabo e a luva de aço (escala em MPa).

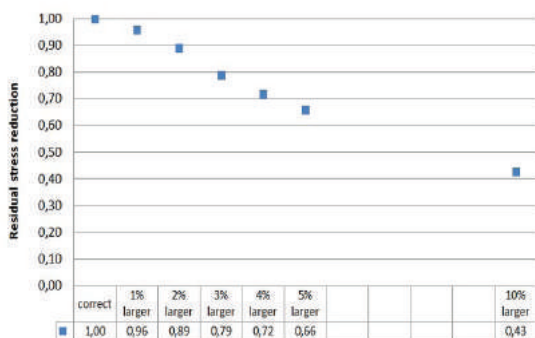


Figura 5. Redução da pressão de contato entre o cabo e a luva de aço para vários tamanhos de matriz de compressão.

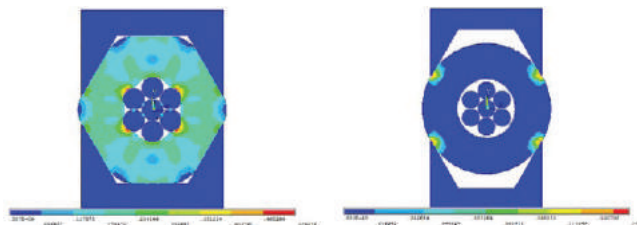


Figura 6. Resultado da simulação com matriz 5% menor (esquerda) e 10% menor (direita)

As simulações da execução da luva de alumínio foram realizadas para a matriz correta, especificada pelo fabricante, e para duas matrizes maiores (5% e 10% maiores). Assim como para a luva de aço, observa-se uma redução significativa da tensão residual do contato. O gráfico da figura 7 mostra essa redução.

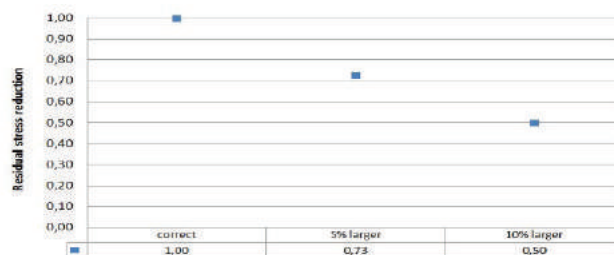


Figura 7. Redução da pressão de contato entre o cabo e a luva de alumínio para vários tamanhos de matriz de compressão.

Os resultados obtidos nas simulações preconizam que apenas as matrizes corretas e recomendadas pelo fabricante devem ser empregadas, tanto para a emenda dos fios de aço (figura 5) quanto de alumínio (figura 7).

IV. OTIMIZAÇÃO MULTICRITÉRIO DE AÇÕES E INVESTIMENTOS

A metodologia FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) é uma técnica para avaliar falhas, minimizar o risco de recorrências e aumentar a confiabilidade de sistemas. Através dessa metodologia é possível identificar causas, efeitos e impactos de falhas. Nesse estudo foi encontrado que os fatores mais importantes na confiabilidade de emendas de linhas de transmissão são: montagem e instalação; sobrecarga operacional; tamanho do vão; corrente elétrica; e tensionamento dos cabos. Encontrou-se também que a vibração dos cabos por ação de vento influencia a vida útil da conexão, por rompimento dos fios na região da emenda. Adicionalmente, a análise sugere que o monitoramento de temperaturas nas emendas e a medição de aumento na resistência elétrica e dos efeitos eletromagnéticos (principalmente o efeito Hall) podem efetivamente indicar a necessidade de manutenção preventiva, evitando-se falhas do sistema.

Paralelamente à aplicação da metodologia FMEA, uma pesquisa Delphi e de otimização multicritério foram realizadas para otimizar o planejamento de manutenção e investimentos na rede de transmissão. Uma lista de

sugestões para mitigar falhas foi construída a partir de informações dos colaboradores da CTEEP. A lista é hierárquica com as sugestões que minimizam falhas nos elementos e reduzem o custo de implantação. O diagrama de aplicação do método é mostrado na figura 8.

A ferramenta multicritério desenvolvida permite a redução da subjetividade na análise de falhas e mostra como os colaboradores da CTEEP podem mais precisamente visualizar e analisar os modos de falha, suas causas, como eles impactam os resultados da companhia e como as sugestões podem contribuir para aprimorar os processos. O uso da pesquisa Delphi em ambiente web propiciou que a pesquisa fosse extremamente versátil e direta.

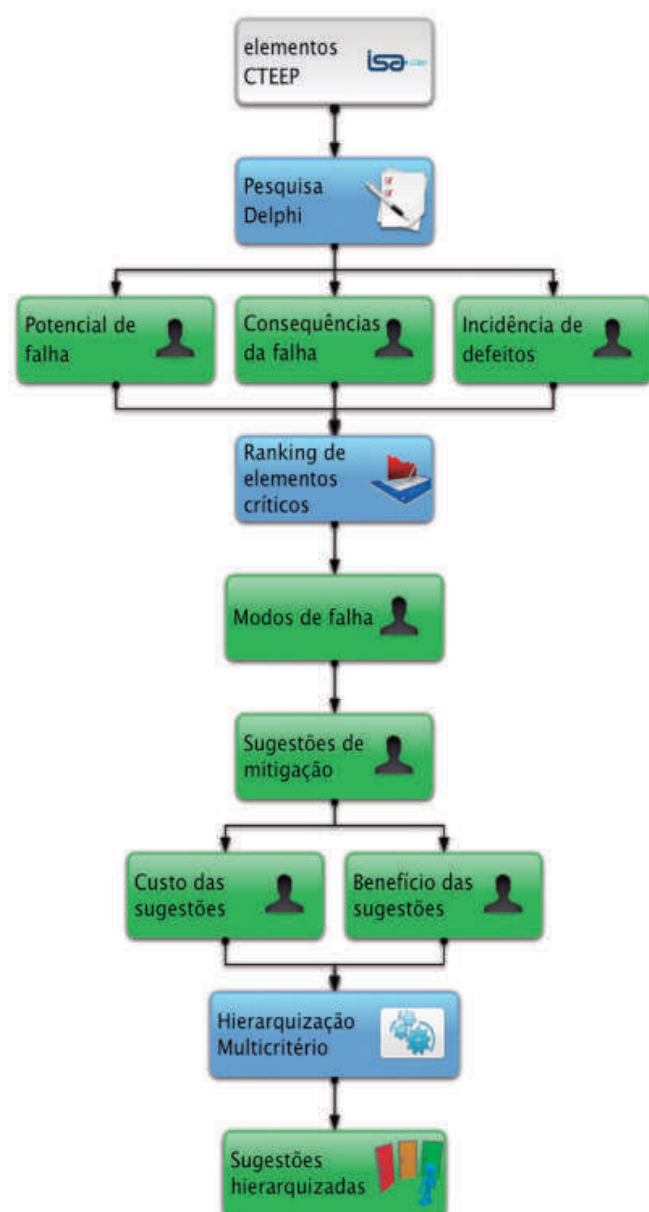


Figura 8. Diagrama da aplicação da pesquisa Delphi/Multicritério.

V. CONCLUSÕES

A desverticalização do setor elétrico brasileiro em que os ativos passaram do domínio público para o domínio privado, provocou mudanças na estratégia de operação e manutenção das empresas, dando maior peso na busca por lucratividade em menor horizonte de tempo. O estudo evidencia a necessidade de monitoramento dos cabos e manutenção preventiva das linhas de transmissão, principalmente nas condições atuais em que os investimentos em manutenção são reduzidos em razão da alta competitividade do mercado.

Os resultados obtidos nestes estudos vêm sendo utilizados na CTEEP, principalmente nas novas obras de construção de linhas de transmissão e subestações, onde a fiscalização e comissionamento adotam os critérios estabelecidos para controle de defeitos em emendas à compressão nos momentos das instalações das mesmas. Os mesmos critérios vêm sendo adotados também nas obras de manutenção.

Outro resultado desse estudo, refere-se à aplicação da lista de sugestões para mitigação de falhas, obtida através da Pesquisa Delphi e de otimização multicritério, na elaboração da MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) da CTEEP, utilizada para definição do Procedimento de Manutenção do Sistema de Transmissão de Potência da CTEEP.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] John Jy-An Wang, John K. Chan, Joseph A. Graziano, "The Lifetime Estimate for ACSR Single-Stage Splice Connector Op-erating at Higher Temperatures", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, issue 3, pp. 1317-1325, 2011. DOI: 10.1109/TPWRD.2011.2107921
- [2] Muhr Michael, Pack Stephan e Jaufer Stefan., "Elongation of overhead line conductors under combined mechanical and thermal Stress," in Proc. 2008 IEEE - International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, pp. 671-674. DOI: 10.1109/CMD.2008.4580375
- [3] Milenko Braunovic, Nikolai K. Myshkin e Valery V. Konchits, Electrical contacts: fundamentals, applications and technology, CRC Press, 2006, p. 672.
- [4] J. T. Oden, G. F. Carey e E. B. Becker, Finite Elements – an introduction, Prentice Hall, 1981, New Jersey, vol. 1.

Metodologia eficiente para coordenação ótima de relés de sobrecorrente direcionais em sistemas elétricos malhados

Nilson J. Francischetti, Denis V. Coury, Eduardo N. Asada, José C. M. Vieira, Mário Olesko-vicz,
Jean Sumaili, Helder Leite, Vladimiro Miranda, Silvio Aparecido de Souza

Resumo – Este artigo descreve o projeto de PD-0068-0020-2011, em que foi desenvolvida uma ferramenta computacional inédita no mercado para a coordenação de relés de sobrecorrente direcionais instalados em linhas de transmissão de energia elétrica. Esta ferramenta conta com um método de obtenção dos ajustes compreendendo duas características principais: (i) o cálculo automático de diversas condições de curto-circuito e (ii) o emprego do método ‘Evolutionary Particle Swarm Optimization’ para obter os ajustes visando minimizar o tempo de atuação das proteções. Os resultados obtidos com o auxílio da ferramenta desenvolvida objetivam garantir uma rápida e seletiva atuação da proteção de sobrecorrente direcional. Dessa forma, o engenheiro de proteção dispõe de um recurso prático e eficiente para cálculo e análise de ajustes de proteção dos relés, possibilitando realizar várias análises de forma mais completa em um intervalo de tempo menor.

Palavras-chave – Evolutionary particle swarm optimization (EPSO), proteção de sistemas elétricos, relés de sobrecorrente direcionais.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL - PD-0068-0020-2011: Metodologia Eficiente para Coordenação Ótima de Relés de Sobrecorrente Direcionais em Sistemas Elétricos Malhados; Este trabalho foi apoiado parcialmente pela ISA-CTEEP, ISA-EVRECY, ISA-PINHEIROS, IESul – Interligação Elétrica Sul. Custo total em R\$1.543.219,40.

Nilson Francischetti trabalha na ISA-CTEEP (e-mail: njunior@ctEEP.com.br).

Silvio Aparecido de Souza que trabalha na Universidade de Cornélio Procópio, email: silvio375@hotmail.com.

Denis V. Coury, Eduardo N. Asada, Jose C. M. Vieira e Mário Oleskovicz trabalham na Escola de Engenharia de São Carlos da USP (e-mails: coury@sc.usp.br, easada@usp.br, jcarlos@sc.usp.br, olesk@sc.usp.br).

Jean Sumaili, Helder Leite e Vladimiro Miranda são pesquisadores no Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores – Porto (INESC-Porto) (e-mails: jean.sumaili@inescporto.pt, hleite@fe.up.pt, vmiranda@inescporto.pt)

I. INTRODUÇÃO

A proteção de um sistema de energia elétrica deve ser projetada de maneira a alcançar os seguintes objetivos [1]:

- (a) Proteger o sistema elétrico de potência de forma a manter a continuidade do fornecimento da energia elétrica;
- (b) Evitar ou minimizar os danos e os custos de reparos de equipamentos;
- (c) Garantir a integridade física do pessoal técnico e dos usuários do sistema elétrico.

Para que esses objetivos sejam alcançados, o sistema de proteção deve ter as seguintes características: confiabilidade, seletividade, sensibilidade e rapidez de atuação. Neste contexto, a proteção de linhas de transmissão possui um importante papel na área de sistemas elétricos de potência, já que a maioria das falhas ocorre nestes elementos. Para se obter um bom esquema de proteção de linhas de transmissão com redundância, são utilizados também relés de sobrecorrente direcionais (RSD). Esses dispositivos devem ser ajustados de forma que estejam coordenados entre si para garantir a seletividade, ou seja, que apenas a porção mais próxima do curto-circuito seja desligada. Além disso, os ajustes desses relés devem ser bem definidos para não causarem desligamentos indevidos.

Resolver o problema de coordenação de relés de sobrecorrente direcionais não é uma tarefa trivial, pois requer uma quantidade grande de informações, tais como: restrições operativas do sistema elétrico, as principais correntes de curto-circuito necessárias para definir os ajustes dos relés, possíveis alterações topológicas e características (parâmetros) de ajuste dos elementos de proteção. Percebe-se, portanto, que esta atividade pode ser demorada e sujeita a erros, caso o sistema em análise seja complexo e o engenheiro de proteção não disponha de uma ferramenta computacional adequada para auxiliá-lo. As pesquisas neste tema tratam o ajuste como um problema de otimização em que se define um índice de desempenho como a minimização da soma dos tempos de atuação de todos os relés envolvidos no sistema de proteção, e deve-se satisfazer as restrições relativas à coordenação e operação do sistema.

O projeto finalizado em setembro de 2014, uniu a Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (ISA-CTEEP), a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC / USP) e o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência - INESC, Porto, Portugal. Foi desenvolvida uma ferramenta computacional que proporciona ao engenheiro de proteção um recurso prático e eficiente para ajustar e analisar simultaneamente diversos relés direcionais de sobrecorrente. Esta ferramenta considera automaticamente diversas condições de falta que podem ocorrer nas linhas de transmissão e oferece ao engenheiro de proteção, a flexibilidade de alterar as restrições do problema de acordo com as características operativas do sistema em análise. Como resultado, se ganha em tempo de execução deste tipo de tarefa, obtêm-se cálculos precisos que resultam na coordenação e rapidez de atuação entre estes dispositivos de proteção, com a consequente minimização do risco de atuações indevidas e a rápida eliminação da falta. O alcance destes benefícios pode evitar eventuais multas às empresas da área, por desligamentos indevidos e despesas com a substituição/manutenção de equipamentos que ficassem expostos a longos tempos de duração de faltas.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Um programa completo que inclui a interface gráfica foi desenvolvido para a coordenação de RSDs. Considera-se desde a inclusão dos relés (de fabricantes distintos), cálculo de curto-circuito e ajuste dos parâmetros (múltiplo de tempo e tap de corrente). O motor de resolução é o 'Evolutionary Particle Swarm Optimization' [2], que é uma metaheurística que combina características dos métodos evolutivos e o método original Particle Swarm Optimization [3]. Ele faz parte dos modernos métodos heurísticos aplicados à resolução de problemas de otimização complexos que apresentam grande sucesso na obtenção de soluções factíveis de alta qualidade, similarmemente observados com famílias de métodos inteligentes baseados em Redes neurais e Lógica Fuzzy. O método implementado apresenta as características de robustez na obtenção de solução viável e capacidade de auto-ajuste dos parâmetros internos de busca, o que resulta em sucesso na resolução do sistema.

A. Ferramenta Computacional Desenvolvida - CORDSEM

A ferramenta desenvolvida foi denominada CORDSEM e sua tela de abertura está apresentada na Fig. 1.

O CORDSEM conta com os seguintes módulos:

- Leitura da base de dados do sistema elétrico em formato .ANA [4];
- Leitura da base de dados dos relés. Base de dados semelhante ao utilizado no programa CAPE [5];
- Alocação dos relés de proteção no circuito analisado;
- Cálculo de curto-circuito;
- Edição dos parâmetros da otimização (limites operativos dos relés temporizados);
- Execução da rotina de otimização para as proteções de fase e de neutro;
- Verificação da coordenação: esta funcionalidade permite ao engenheiro de proteção avaliar a adequação de ajustes definidos por outros meios, que não o CORDSEM;
- Ajuste dos relés com atuação instantânea: a proteção instantânea é ajustada pelo próprio engenheiro de proteção, que avaliará a necessidade de sua ativação. Para tanto, a ferramenta computacional fornece todas as condições necessárias para a realização desta tarefa, tais como as máximas correntes de curto-circuito close-in, na barra remota e a 70% do comprimento da linha de transmissão. Este ajuste não faz parte do processo de otimização;
- Saída dos resultados em forma de relatórios e coordenogramas (Figura 3).

B. Benefícios Esperados

Alguns dos vários benefícios técnicos desta ferramenta computacional são: possibilidade de o engenheiro simular, validar ajustes; testar relés diferentes; ajustar de forma otimizada diversos relés simultaneamente, além de ampliar a capacidade de análise em um curto tempo (melhoria da relação homem-hora).



Figura 1. Tela de abertura da ferramenta CORDSEM.

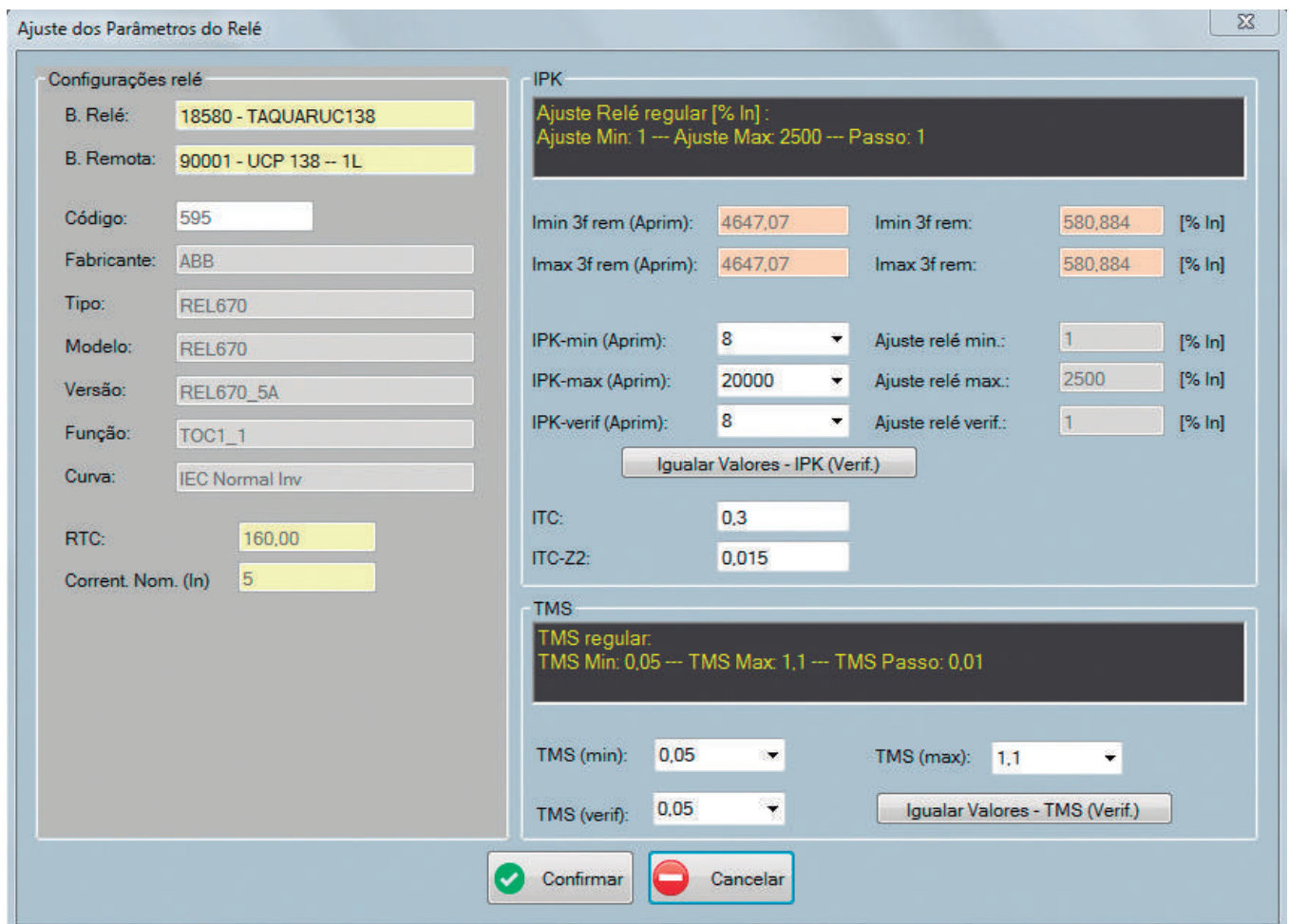


Figura 2. Edição dos parâmetros da otimização.

Com a aplicação dos resultados deste projeto de P&D tem-se a expectativa da redução das falhas de atuações dos equipamentos de proteção, com consequente aumento da segurança dos trabalhadores envolvidos em áreas energizadas. Há ainda o impacto na qualidade de vida da comunidade, pois com uma melhor coordenação das proteções de sobrecorrente de uma dada região, menos pessoas serão afetadas diante de um defeito, em função do desligamento apenas da área afetada. Adiciona-se a isto o fato de que com a melhoria da coordenação das proteções de sobrecorrente de uma região, a mesma deverá proporcionar a mitigação de impactos ambientais relacionados à redução da probabilidade de início de queimadas. Ressalta-se que estas podem ocorrer através da não eliminação de um curto-circuito, com a consequente contaminação do solo e do ar.

A CTEEP possui cerca de 250 bays de linhas de transmissão (230kV, 345kV e 440kV), totalizando 750 transformadores de corrente instalados. A correta eliminação do defeito pode evitar a queima ou avaria dos mesmos, e mantê-los em operação, postergando assim a necessidade de substituição imediata. Se forem evitadas a substituição de 5% (38 unidades) desses equipamentos, o benefício econômico superará a casa de R\$2.000.000,00 somente para este caso.

C. Resultados do Projeto

Além do desenvolvimento do software, que terá grande impacto na qualidade das análises de proteção, a redução de tempo de análise otimiza o tempo do Engenheiro de proteção, permitindo um gerenciamento melhor de suas atividades, pois o software pode otimizar o ajuste de dezenas de relés de sobrecorrente direcionais automaticamente em uma escala de tempo de minutos. O desenvolvimento teórico e testes realizados com dados reais geraram artigos que foram apresentados em conferências nacionais e internacionais [6-14], e resultou também na formação de cinco mestres [15-19].

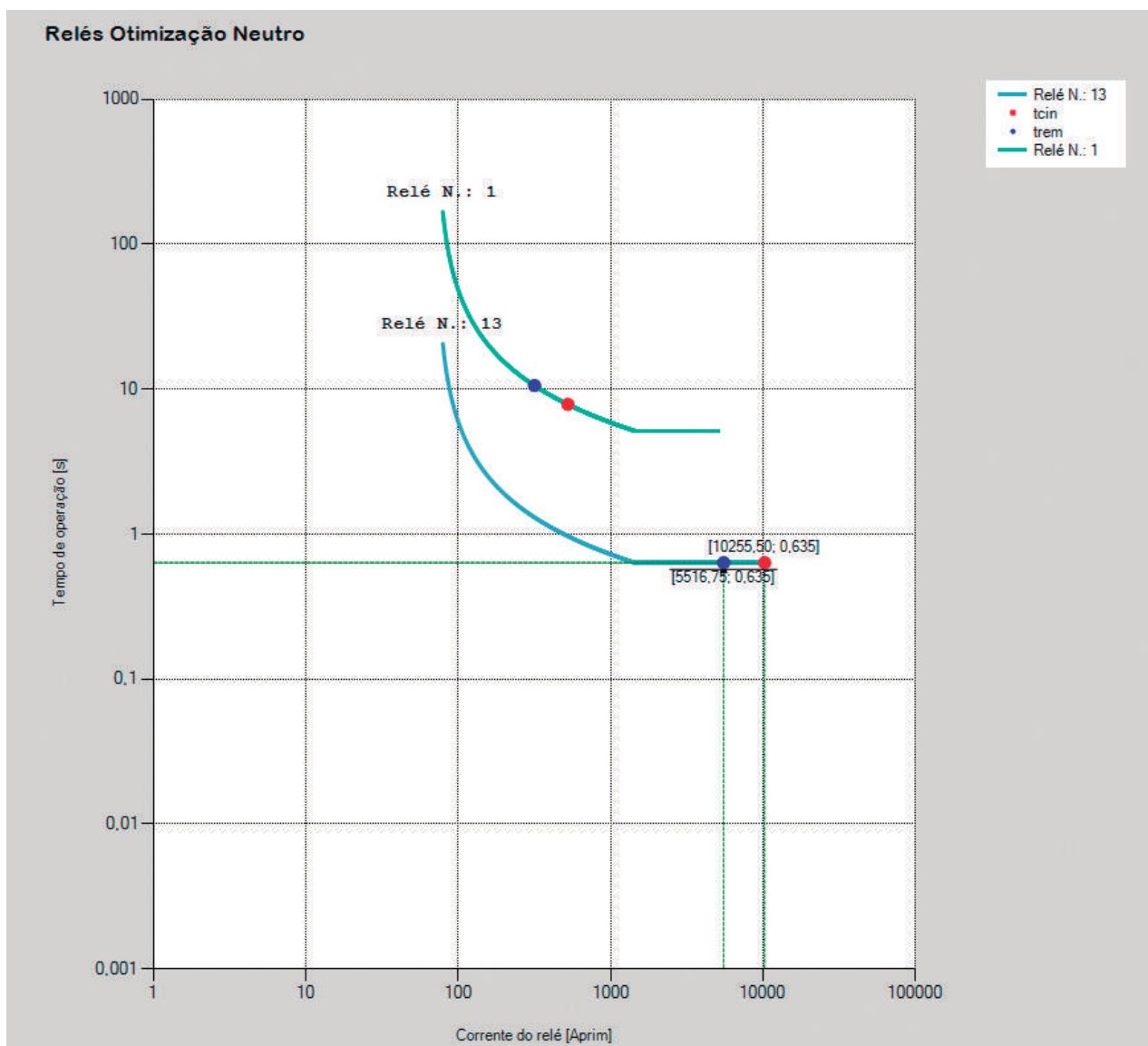


Figura 3. Saída no formato de coordenograma do programa

III. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do projeto resultou em uma ferramenta computacional de apoio ao engenheiro de proteção para efetuar a coordenação de relés de sobrecorrente direcionais, a qual foi construída sobre um novo método baseado na técnica EPSO. Dentre as vantagens da ferramenta destaca-se o cálculo automatizado das correntes de curto-circuito considerando diferentes condições operativas das linhas de transmissão (abertura e aterramento de circuitos paralelos e duplos), a flexibilidade que o engenheiro de proteção tem de alterar os parâmetros da otimização, a aplicação da técnica EPSO e a execução da coordenação de vários pares de relés simultaneamente. Estas características podem minimizar significativamente o tempo necessário para efetuar e analisar estudos de coordenação de proteção de relés de sobrecorrente direcionais, sobretudo em sistemas de transmissão complexos com malhas e vários pares de relés, resultando em ajustes de melhor qualidade e menor tempo total de análise.

IV. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CTEEP, e à equipe do Centro de Sistemas de Energia do INESC-TEC.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L.G. Hewitson, M. Brown, and R. Balakrishnan, Practical Power Systems Protection. Elsevier – Newnes, 2004.
- [2] V. Miranda and N. Fonseca, "EPSO – Evolutionary Particle Swarm Optimization, a new algorithm with applications in power systems". in: IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002. Asia Pacific: 2002, v. 2, pp. 745 – 750.
- [3] Kennedy, J. and Eberhart, R. C. Particle swarm optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ. pp. 1942-1948, 1995.
- [4] Centro de pesquisas de energia elétrica (CEPEL). Anafas – Análise de faltas simultâneas v6.3: Manual do usuário. Rio de Janeiro, CEPEL, 2011.
- [5] CAPE – Computer-Aided Protection Engineering. Electrocon International Incorporated. Disponível em <http://www.electrocon.com>. Acesso em 25 de fevereiro de 2015.
- [6] F. B. Bottura, M. Oleskovicz, D. V. Coury, S. A. Souza, "Hybrid Optimization Algorithm for Directional Overcurrent Relay Coordination". In: 2104 IEEE PES General Meeting, 2014, National Harbor.
- [7] D. L. A. Negrão, J. C. M. Vieira, S. A. Souza, "Methodology for Modeling Overcurrent Relays with Non-Standard Curves by Using Logarithmic-Linear Correction". In: 2104 IEEE PES General Meeting, 2014, National Harbor.
- [8] F. B. Bottura, W. M. S. Bernardes, M. Oleskovicz, E. N. Asada, S. A. de Souza, M. J. Ramos "Coordination of directional overcurrent relays in meshed power systems using hybrid genetic algorithm optimization". In: 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2014), 2014, Copenhagen.
- [9] V. C. Moro, J. C. M. Vieira, S. A. Souza. "Coordenação Otimizada de Relés Direcionais e de Distância em Sistemas Elétricos Malhados". In: XX Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2014), 2014, Belo Horizonte.
- [10] W. M. S. Bernardes, F. M. P. Santos, E.N. Asada, S. A. Souza, M. J. Ramos. "Application of Discrete PSO and Evolutionary PSO to the Coordination of Directional Overcurrent Relays". In: 17th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, 2013, Tokyo.
- [11] W. M. S. Bernardes, F. M. P. Santos, E. N. Asada, S. A. Souza, M. J. Ramos. "Discrete Metaheuristic for Coordination of

Directional Overcurrent Relays in Meshed Systems". In: 2013 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013, São Paulo.

[12] F. M. P. Santos, W.M.S. Bernardes, E.N. Asada, S. A. Souza, M. J. Ramos. "Coordenação de Relés Direcionais de Sobrecorrente por meio de Evolutionary Particle Swarm Optimization". In: XV Encontro Regional Ibero-Americano do Cigré, Foz do Iguaçu, 2013, Foz do Iguaçu.

[13] F. B. Bottura, U. C. Netto, M. Oleskovicz, D. V. Coury, S. A. Souza, M. J. Ramos. "Avaliação da Coordenação de Relés Direcionais de Sobrecorrente em Sistemas Malhados Frente a Variações na Topologia de Operação". In: 2012 Sixth IEEE PES Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D – LA), 2012, Montevideo.

[14] W. M. S. Bernardes, F. M. P. Santos, E. N. Asada; S. A. Souza, M. J. Ramos. "Ajuste Otimizado de Relés Direcionais de Sobrecorrente via Particle Swarm Optimization". In: XIX Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2012), 2012, Campina Grande.

[15] D. L. A. Negrão. "Metodologia para Coordenação e Seletividade da Proteção Direcional de Sobrecorrente em Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica". 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

[16] V. C. Moro. "Metodologia para Coordenação Otimizada entre Relés de Distância e Direcionais de Sobrecorrente em Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica". 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

[17] F. B. Bottura. "Algoritmo de Otimização Híbrido para a Coordenação de Relés Direcionais de Sobrecorrente em um Sistema Elétrico Malhado". 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

[18] W. M.S. Bernardes. "Algoritmo Enxame de Partículas Discreto para Coordenação de Relés Direcionais de Sobrecorrente em Sistemas Elétricos de Potência". 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

[19] F. M. P. Santos. "Algoritmo Enxame de Partículas Evolutivo para o Problema de Coordenação de Relés de Sobrecorrente Direcionais em Sistemas Elétricos de Potência". 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Diagnóstico inteligente de transformadores de transmissão utilizando resultados advindos de diversos tipos de ensaios experimentais

Carlos G. Gonzales(1), Ivan N. Silva(2) e Rogério A. Flauzino(2)

Resumo – Este trabalho apresenta um sistema especialista que possibilita a análise integrada de diversos tipos de ensaios que podem ser realizados em transformadores de transmissão de energia elétrica visando o diagnóstico de falhas em tais equipamentos. Mais especificamente, seguindo o contexto supracitado, a metodologia desenvolvida baseia-se na integração dos dados advindos dos seguintes experimentos: ensaio de fator de potência, ensaio de resistência de isolamento, ensaio de resistência ôhmica, ensaio de relação de transformação, e análise de gases dissolvidos no óleo isolante. Além dos resultados advindos desses ensaios e de suas análises, a metodologia produzida ainda conta com a integração dos dados provenientes dos relatórios de inspeção/manutenção dos transformadores. Em termos de validação dos resultados, as respostas proporcionadas pelo sistema especialista foram altamente satisfatórias, as quais foram também avalizadas por diversos profissionais da concessionária.

Palavras-chave – Transformadores de transmissão, identificação de avarias, segurança operativa, sistemas inteligentes, procedimentos de ensaios.

Informações sobre o Projeto de P&D: Ferramentas Inteligentes Para Diagnósticos em Transformadores de Transmissão Submetidos a Esforços Eletromagnéticos Severos (Código ANEEL PD-0068-0031/2011; Classificação: Transmissão de Energia Elétrica; Subtema: Desenvolvimento Experimental; Proponente: ISA-CTEEP, Cooperada IENNE; Executora: USP/EESC/SEL; Custo Total: R\$ 6.670.564,02).

1 ISA-CTEEP (e-mails: cgonzale@ctEEP.usp.br).

2 USP/EESC/SEL (e-mail: insilva@sc.usp.br; raflauzino@sc.usp.br).

I. INTRODUÇÃO

Equipamentos dos sistemas de transmissão possuem um complexo plano de manutenção, que visam a realização de ensaios de conformidade. Existem procedimentos específicos que permitem averiguar diversos critérios de funcionamento de tais equipamentos com ou sem a presença de falhas. Tais ensaios são realizados em sua maioria de forma manual e sem grandes preocupações com aspectos metrológicos [1].

O transformador de transmissão é considerado atualmente um dos pontos críticos do sistema, pois sua retirada de serviço, tanto programada, quanto por falha, promove diversos transtornos para os consumidores e também para as companhias. Quando sob falha, os procedimentos de ensaios se tornam críticos, pois elevam o nível de precisão de resultado a patamares que praticamente não permitem diagnósticos incorretos [2]-[4].

Neste cenário, de investigação por defeitos, também não se pode descartar a pressão regulatória que acompanha as exigências por qualidade por parte dos consumidores, que se vem em uma constante necessidade de níveis reguladores e sem interrupções, para uma operação segura e comercialmente atrativa. Tais necessidades fomentam tanto o mercado por novas ferramentas capazes de produzir resultados eficientes, bem como o setor acadêmico, que busca resolver os problemas de forma automatizada, combinando e aperfeiçoando ferramentas existentes ou propondo novas [5]-[7].

Neste contexto pode-se destacar a integração de técnicas, métodos e algoritmos para a obtenção de resultados ótimos. A consistência entre ferramentas se mostra um grande desafio para a comunidade científica e técnica, pois aos processos de detecção e localização de falhas em transformadores de transmissão encontram-se associadas não linearidades, além de uma infinidade de dados disponíveis que necessitam serem corretamente tratados [5].

À combinação de ferramentas especialistas em uma determinada função de forma a se conseguir resultados ótimos se dá o nome de Sistema Especialista. De fato, em tais sistemas, a grande dificuldade se encontra justamente no processo que envolve a avaliação dos resultados produzidos pelas ferramentas utilizadas na solução dos subproblemas. Cabe destacar também que as rotinas de ensaios podem apresentar diferentes formas de resultados, onde os dados além de apresentarem formatos distintos, também se diferenciam em volumetria.

Em situações onde todo o aparato de testes precisa se deslocar até o transformador avariado, os custos envolvendo tais ensaios então se elevam, tornando indispensável um diagnóstico automatizado e eficiente da condição operativa do transformador.

Assim, neste artigo serão apresentados diversos critérios técnicos e científicos envolvendo a confecção de um sistema especialista responsável pelo gerenciamento de ensaios em transformadores de transmissão, levando-se também em consideração todos os seus aspectos normativos.

Adicionalmente, serão também apresentados resultados advindos da integração de ferramentas convencionais e inteligentes, especialmente aquelas fundamentadas em sistemas de inferência *fuzzy* para análises de ensaios. O sistema especialista proposto neste trabalho se configura como um aplicativo computacional, com interface gráfica de utilização, voltado para o auxílio na tomada de decisão de manutenção de transformadores de transmissão.

II. CONCEITUAÇÃO SISTÊMICA DO SOFTWARE DE ANÁLISE INTEGRADA

A base desta proposta são os sistemas de inferência *fuzzy*, os quais são ferramentas capazes de tratar, de maneira robusta e eficiente, ambientes imersos em incertezas e imprecisões. A ideia de sistema, para fornecer uma solução de análise de ensaios de transformadores, fora arquitetada modularmente, para que progressivamente outros ensaios possam ser incorporados. Este paradigma de desenvolvimento consiste na mais nova filosofia de desenvolvimento de softwares de engenharia, pois precisam agregar não somente os aspectos técnico-científicos das ferramentas, mas também devem possuir capacidades de operação conjunta com outros softwares, sistemas, etc. A figura 1 apresenta de maneira simplificada todos os módulos que compõem a ferramenta de Análise Integrada de Ensaios em Transformadores, denominada CTEEP A2I Trafo.

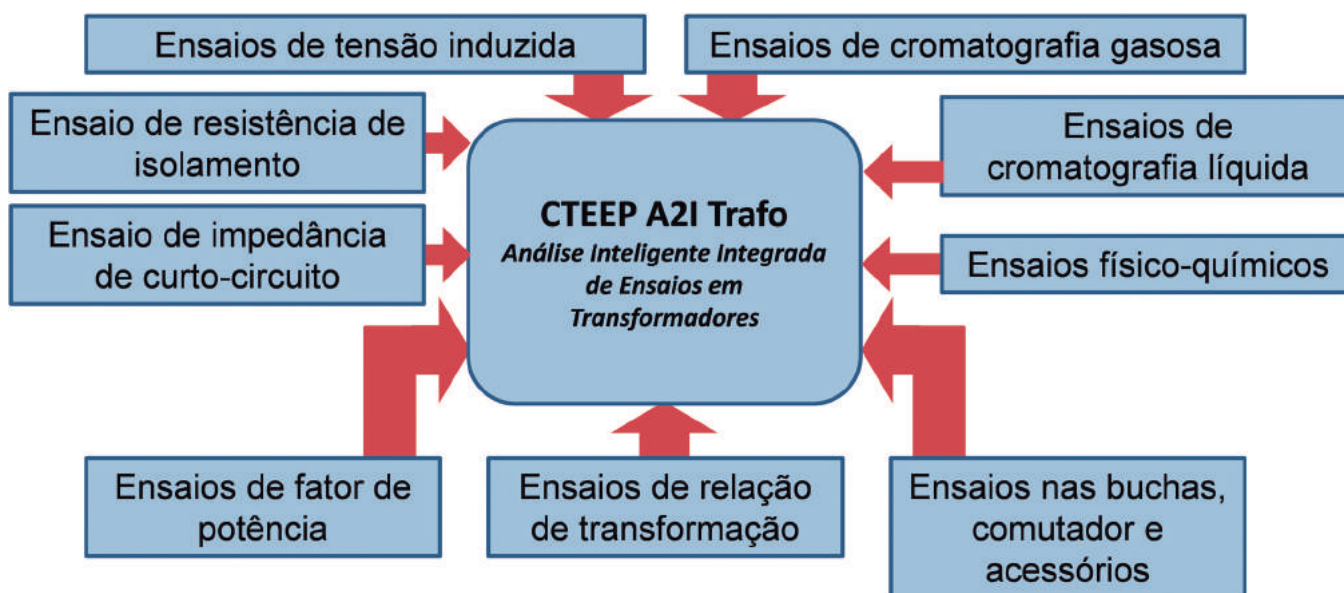


Figura 1. Sistemas constituintes do software de análises de ensaios.

O desenvolvimento de sistemas constituídos por módulos operacionais assíncronos requer a adoção de alternativas que permitam flexibilizar a comunicação entre os módulos, sendo que se adotou implementar toda a inteligência em nível de banco de dados. A implementação prática foi feita por meio de uma camada de abstração de banco de dados, permitindo-se no futuro alterações por modificar apenas a sua camada de abstração. As análises integradas são realizadas utilizando-se ferramentas inteligentes que mapeiam os principais métodos de análises de ensaios físico-químicos e também de cromatografia gasosa, tal como representado pela figura 2.

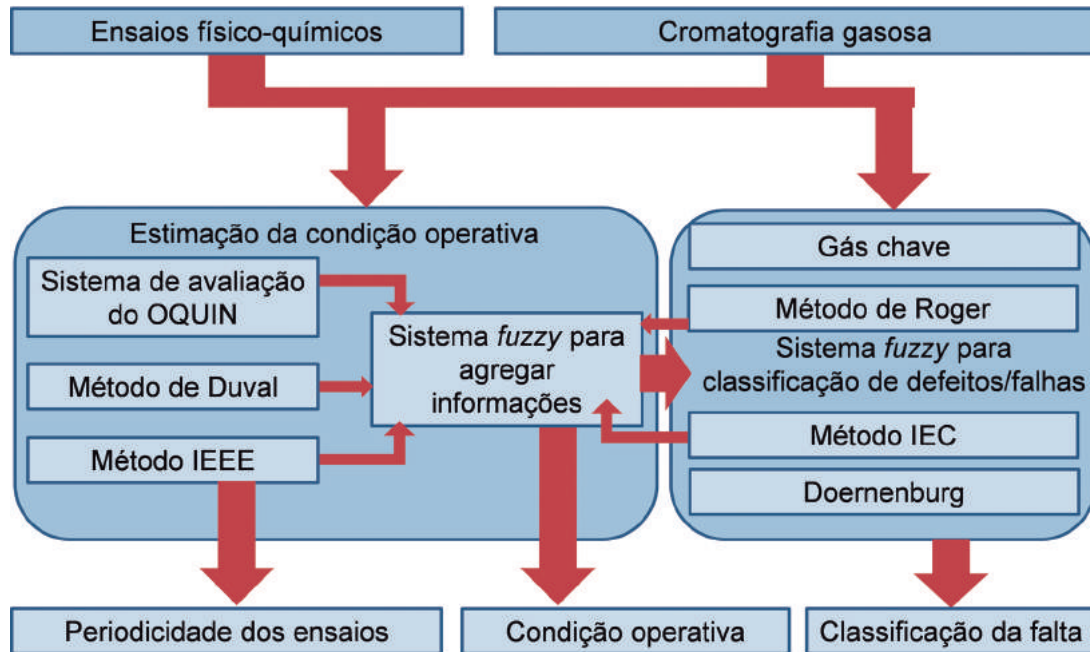


Figura 2. Sistema para análise inteligente integrada de ensaios em transformadores.

A confecção de cada uma das ferramentas representadas pela figura 2 levou em consideração aspectos teóricos e também práticos dos principais métodos de análises de ensaios, mapeados por meio de funções inteligentes *fuzzy*.

III. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

O mecanismo de integração de análises de ensaios do CTEEP A2I Trafo é uma dos principais atrativos desta ferramenta. O acesso ao menu de ensaios é exemplificado pela figura 3. Ao navegar por sobre os links apresentados na figura 3, por exemplo, em "Inserir ensaio" / "Óleo isolante", o usuário tem à disposição uma lista de cadastro dos tipos de ensaios.

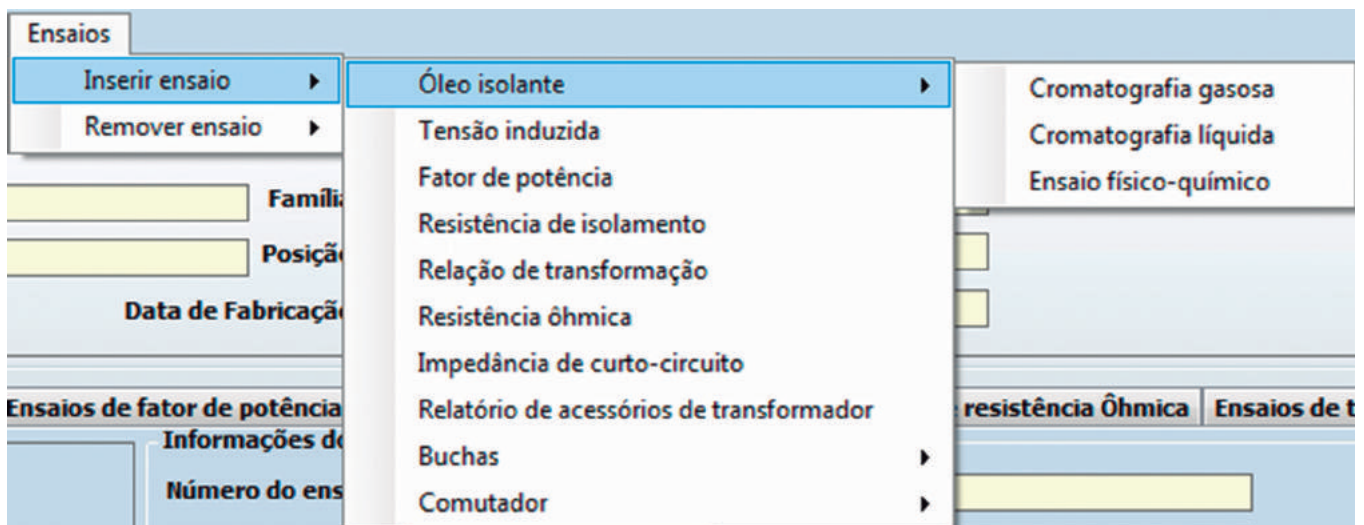


Figura 3. Tela de cadastro de ensaios de óleo isolante.

Para fins de estudo de caso envolvendo a interface gráfica, destaca-se aqui os resultados provenientes de análise de ensaios cromatográficos advindos do reator RE-2, fase branca, da subestação Bandeirantes. Os ensaios cromatográficos indicaram a presença de falha térmica.

De posse das informações dos ensaios cromatográficos, os quais são carregados na base de dados do CTEEP A2I Trafo, é possível ao usuário visualizar uma análise sumarizada e também detalhada sobre cada ensaio, tal como aquela apresentada na figura 4.

Já na figura 5 tem-se a tela com a análise individual de cada método de análise de gases dissolvidos. Os detalhes da evolução histórica do transformador podem ser acompanhados nas figuras 6 e 7.

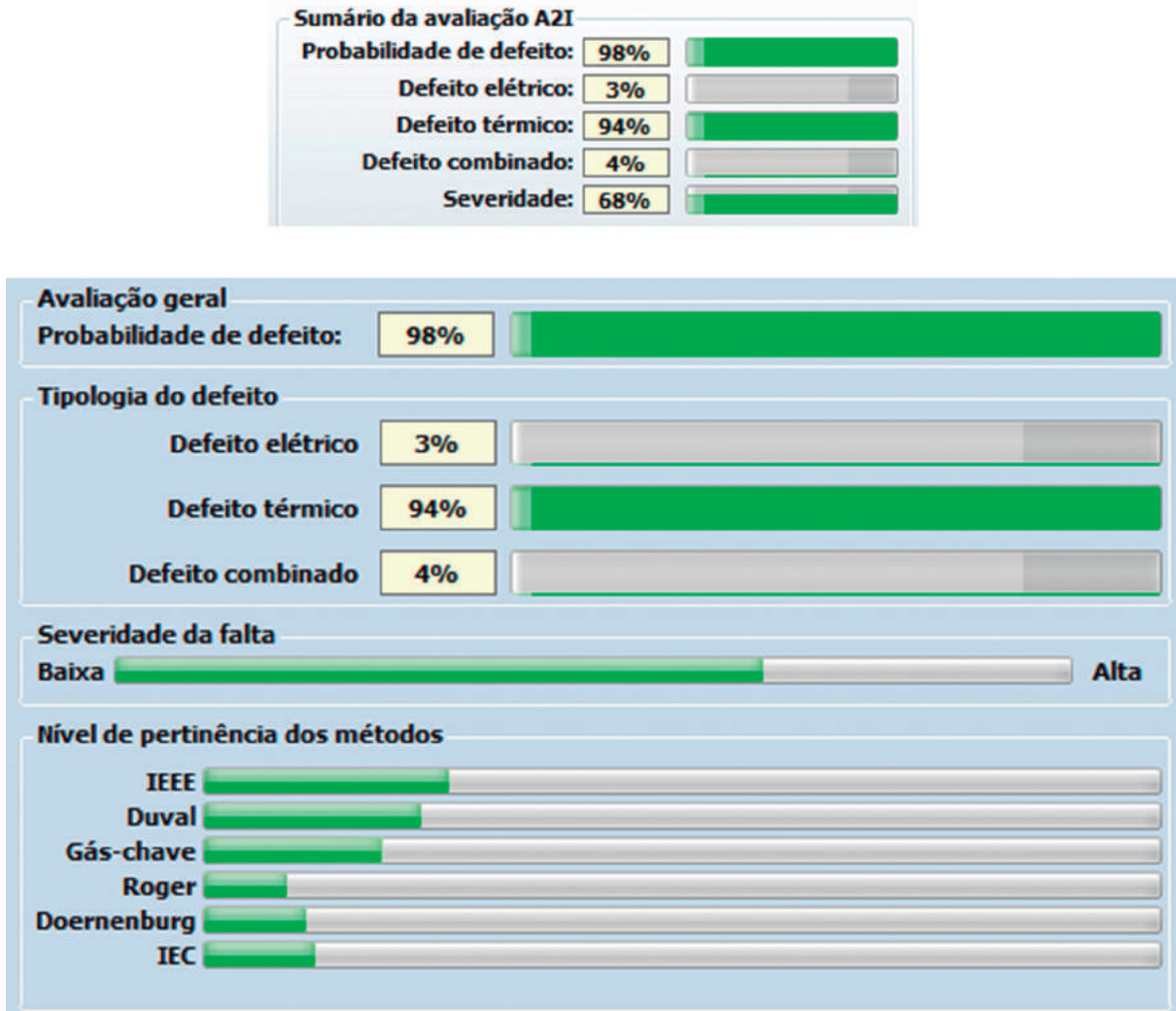


Figura 4. Análise integrada dos ensaios.

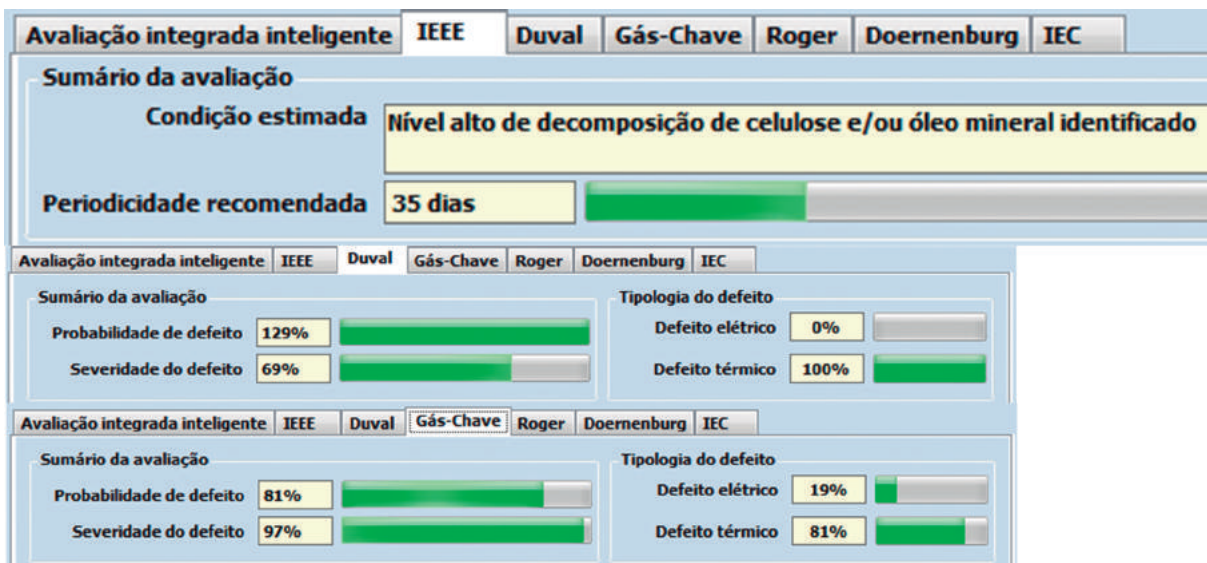


Figura 5. Análise individual de cada método.

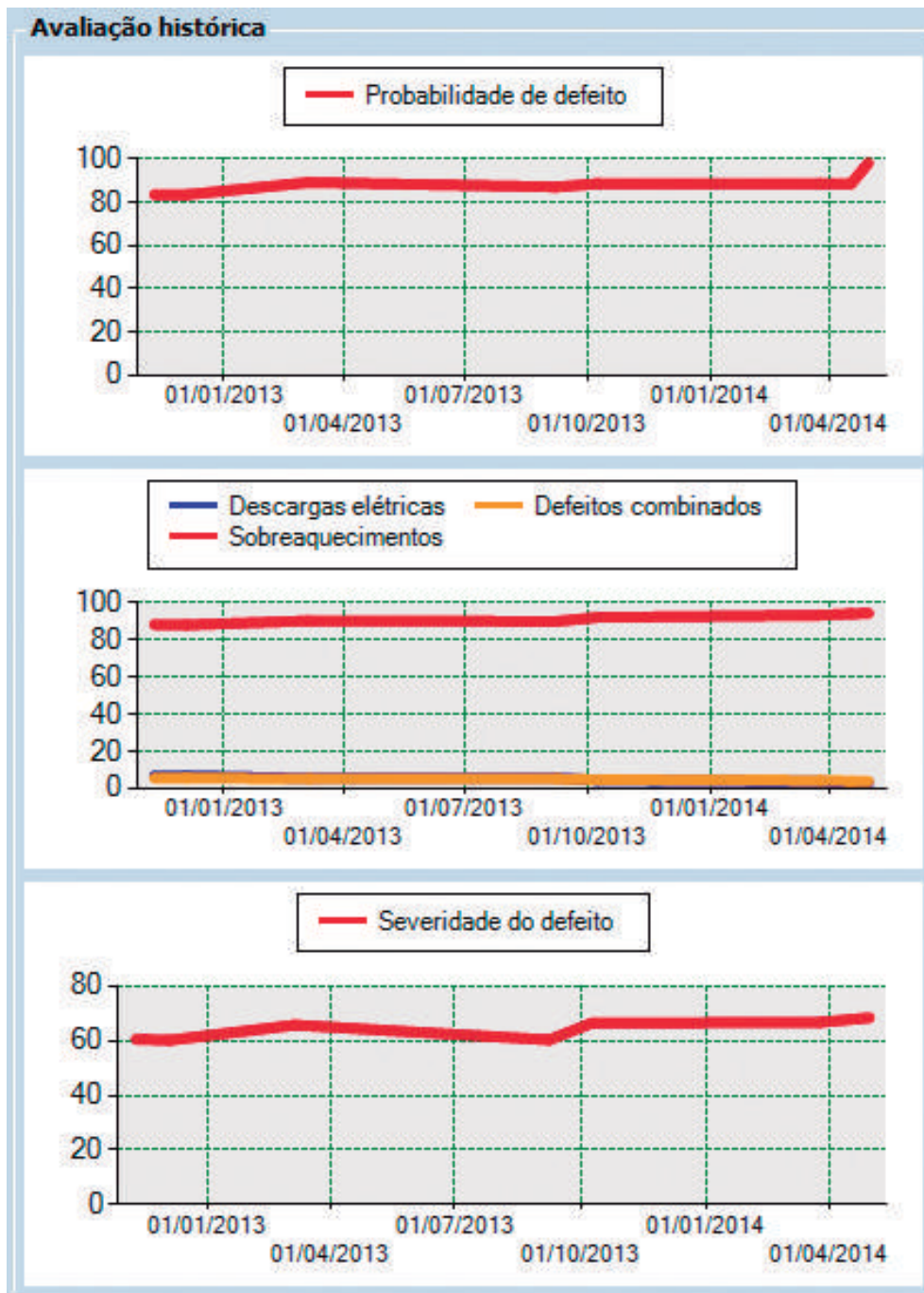


Figura 6. Detalhes de ensaios realizados e suas evoluções históricas (I).

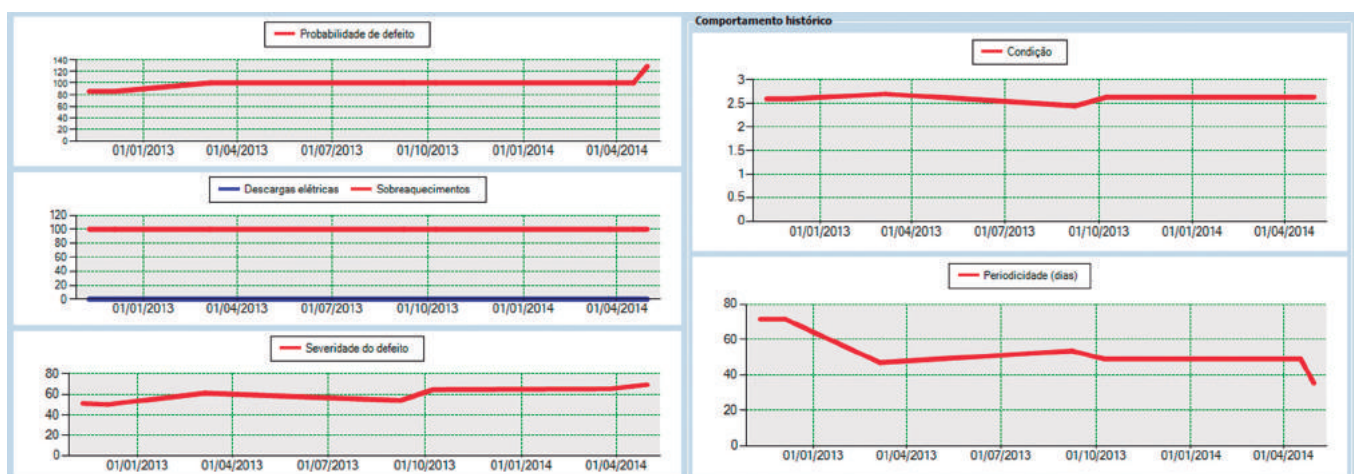


Figura 7. Detalhes de ensaios realizados e suas evoluções históricas (II).

IV. CONCLUSÕES

Os elevados custos associados às falhas dos transformadores de transmissão, bem como à manutenção, são os principais motivadores no desenvolvimento de novas ferramentas capazes de tratar todas as variáveis e fenômenos envolvendo uma parada não programada destes equipamentos. De fato, o problema é complexo e apresenta inúmeros desafios, principalmente quanto à generalidade da ferramenta a ser desenvolvida, frente às mais variadas situações de falhas que podem ser monitoradas por meio de um sistema que realize o diagnóstico do transformador de potência.

Todos os mecanismos de avaliação da condição dos transformadores foram aplicados em outros dispositivos elencados como pilotos, cabendo-se salientar a efetiva performance das ferramentas desenvolvidas frente aos resultados alcançados para todos os transformadores.

Além disso, é importante destacar que cada sistema *fuzzy* desenvolvido torna-se especialista em aproximar um método, sendo a resposta da condição global estimada após cada submódulo produzir sua respectiva saída. Adicionalmente, todos os formulários de banco de dados, bem como relatórios gráficos, visam atender completamente as necessidades das concessionárias quanto ao cadastro deste tipo de informação, fornecendo uma solução de software gráfica e de fácil utilização, a qual pode ser utilizada para propósitos de suporte à decisão pelo setor de manutenção.

Finalmente, os resultados já alcançados a partir da aplicação dessa ferramenta junto ao setor de manutenção (desde o término do projeto em 2014) têm proporcionado um eficaz suporte à tomada de decisão, resultando em um diagnóstico automatizado e preciso sobre a condição operativa do transformador. Ressalta-se, também, que a aplicabilidade da metodologia desenvolvida não se resguarda aos equipamentos da CTEEP, mas pode, sim, ser estendida a todo o setor elétrico.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Z. Yang, W. H. Tang, A. Shintemirov and Q. H. Wu, "Association Rule Mining-Based Dissolved Gas Analysis for Fault Diagnosis of Power Transformers," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, vol. 39, pp. 597-610, 2009.
- [2] B. Németh, S. Laboncz and I. Kiss, "Condition Monitoring of Power Transformers using DGA and Fuzzy Logic," in Proc. IEEE Electrical Insulation Conference, 2009.
- [3] T. Snow and M. McLarnon, "The Implementation of Continuous Online Dissolved Gas Analysis (DGA) monitoring for all Transmission and Distribution Substations," in Proc. IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 2010.
- [4] P. S. Szczepaniak and M. Klosinski, "DGA-based Diagnosis of Power Transformers – IEC Standard versus k-Nearest Neighbours," in Proc. IEEE International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering, 2010.
- [5] Z. Peng and B. Song, "Research on Transformer Fault Diagnosis Expert System Based on DGA Database," in Proc. 2nd International Conference on Information and Computing Science, 2009.
- [6] E. Mohammadi, M. Niroomand, M. Rezaeian and Z. Amini, "Partial Discharge Localization and Classification Using Acoustic Emission Analysis in Power Transformer," in Proc. 31st International Telecommunications Energy Conference, 2009.
- [7] G. F. C. Veloso, L. E. B. Silva, G. Lambert-Torres and J. O. P. Pinto, "Localization of Partial Discharges in Transformers by the Analysis of the Acoustic Emission," in Proc. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2006.

Sistema colaborativo de busca de anterioridade e apoio à redação de patentes

Frederico R. P. Doerner(1), Eduardo F. Silveira(1), Neusa M. L. Rodrigues(1), Rosani R. Celi(1), João Furtado(2), Luiz D. Lapolla(2), Gabriel Cavalcante(2) e Eduardo Ellery(2)

Resumo - Este artigo descreve um sistema desenvolvido no âmbito do programa de P&D da Eletronorte, capaz de atender às perspectivas de análise de anterioridade, monitoramento tecnológico e verificação do estado da técnica de novos produtos e processos, viabilizando um roadmap que permite formatar o conteúdo, a consistência e a forma de um pedido de patente. A prospecção tecnológica realizada com essa ferramenta possibilita a tomada de decisão antecipada, o que contribui com a mudança de rota tecnológica com foco na inovação, eficiência de investimentos em P&D, gestão de riscos e competitividade em novos negócios para a Empresa.

Palavras Chave - Monitoramento tecnológico, Redação de Patente, Verificação do estado da técnica.

'PD-0372-1378/2012 - Sistema Colaborativo de apoio à redação de patentes e busca de anterioridade';
'Tema: Outro, Subtema: Gestão de P&D; 'Suporte Financeiro: Eletronorte'; 'Executora: Elabora; 'Custo total: R\$3.131.824,02'.

1 Centrais Elétricas do Norte do Brasil – Eletronorte (frederico.doerner@eletronorte.gov.br; eduardos@itaipu.gov.br; neusa.lobato@eletronorte.gov.br; rosani.celi@eletronorte.gov.br)

2 Elabora Consultorias e Participação Ltda. (joao@elaboraconsultoria.com.br; lapolla@elabsis.com; gabriel@elabsis.com; ellery@elabsis.com.br).

I. INTRODUÇÃO

A realização da pesquisa descrita no presente artigo apoiou-se no fato de que a busca prospectiva para uma análise de anterioridade é recorrente em diversos cenários e nos mais distintos setores, prejudicando a gestão da Propriedade Intelectual - PI.

Estima-se que nos países da União Europeia sejam anualmente desperdiçados 30% dos recursos empregados em P&D devido à duplicidade de esforços. No Brasil, os investimentos do programa de P&D ANEEL somaram, no período entre 2008 e 2015, R\$4,6 bilhões em 1660 projetos, sendo que somente 7% desses recursos foram destinados às fases finais da cadeia da inovação (desenvolvimento experimental, cabeça de série, lote pioneiro e inserção de mercado). Nesse mesmo período, 27,75% dos projetos de P&D foram avaliados como insuficientes ou inadequados.[1]

As informações obtidas com um monitoramento tecnológico eficiente subsidiam o melhor entendimento das forças tecnológicas que orientarão o futuro e permitem a tomada de decisão mais fundamentada e de forma antecipada para realização de mudanças de rotas. Além de identificar tecnologias passíveis de exploração no território nacional sem violar direitos de terceiros, o monitoramento auxilia a priorização de investimentos em pesquisa, evitando a duplicidade de esforços de P&D.

O Sistema Colaborativo de Busca de Anterioridade e Apoio à Redação de Patentes trata-se do resultado do projeto de P&D ANEEL 0372-1378/2012, intitulado "Sistema Colaborativo de apoio à redação de patentes e busca de anterioridade". Seu objetivo principal foi justamente o desenvolvimento de um software que permitisse às empresas do setor elétrico,

ou qualquer outra do setor industrial, efetuarem análise de anterioridade e monitoramento tecnológico, alcançando um roadmap de novos produtos, bem como formatarem conteúdo, consistência e forma para um pedido de patente.

Pode-se considerar que a ferramenta desenvolvida tem contribuído para a difusão da cultura de patenteamento na Eletronorte e em seus parceiros, uma vez que é capaz de gerar, facilitar e integrar um meio de comunicação entre as diferentes pessoas envolvidas no processo. Sua utilização é facilitada para aplicação direta e uso de todos os empregados da Empresa, inclusive aqueles lotados nas plantas descentralizadas.

O produto originado integra soluções para prospecção e monitoramento tecnológico, levantamento do estado da técnica, orientação para redação do pedido de patente e apoio à proteção da propriedade intelectual. Este último é realizado por meio de uma interface com a Revista da Propriedade Industrial – RPI, expedida pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI para acompanhamento dos pedidos de patente efetivados.

Ademais, o sistema melhora a qualidade e a precisão da descrição das novidades que merecem ser protegidas e amplia a aderência das patentes com a estratégia da Eletronorte.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Num mercado competitivo e global, para assegurar retorno social e mercadológico das inovações é necessário que exista a correta proteção da PI. Essa proteção ocorre quando há concessão do pedido por parte do INPI. Neste caso, a patente deve atender a uma série de formalidades, entre as quais se destaca sua adequação a um gênero textual e às especificidades de suas condições de textualidade.

Por serem textos técnicos jurídicos, as patentes apresentam uma fraseologia e um estilo muito particulares, bem como uma estruturação textual altamente normalizada [2]. Cumprir com as formalidades inerentes à escrita desse gênero é tão difícil quanto fundamental para que um pedido de patente seja aprovado. Diz-se da patente que ela cumpre com seu objetivo textual quando é possível identificar em seu conteúdo suficiência descritiva, unidade, clareza e precisão.

O sistema desenvolvido pelo projeto apresenta-se como uma tecnologia que auxiliará na correta descrição do produto a ser patenteado. Por ser amigável, o software desenvolvido permitirá ao inventor descrever totalmente a potencialidade e as características de sua inovação, permitindo patentes mais completas com maior potencial de retorno do investimento.

As patentes da Eletronorte provêm de inovações internas ou externas, ou seja, desenvolvidas pelos próprios colaboradores da Empresa ou oriundas de Projetos de P&D, respectivamente. Pode-se assumir, porém, que os procedimentos que viabilizam o patenteamento de uma invenção são os mesmos em ambos os casos, já que a

diferença está apenas na forma como as invenções são identificadas e pré-selecionadas para entrar em processo de patenteamento. Uma vez iniciado o processo, o fluxo é o mesmo.

O documento de patente pronto para ser depositado é o resultado do processo da Eletronorte demonstrado na figura 1., abaixo:

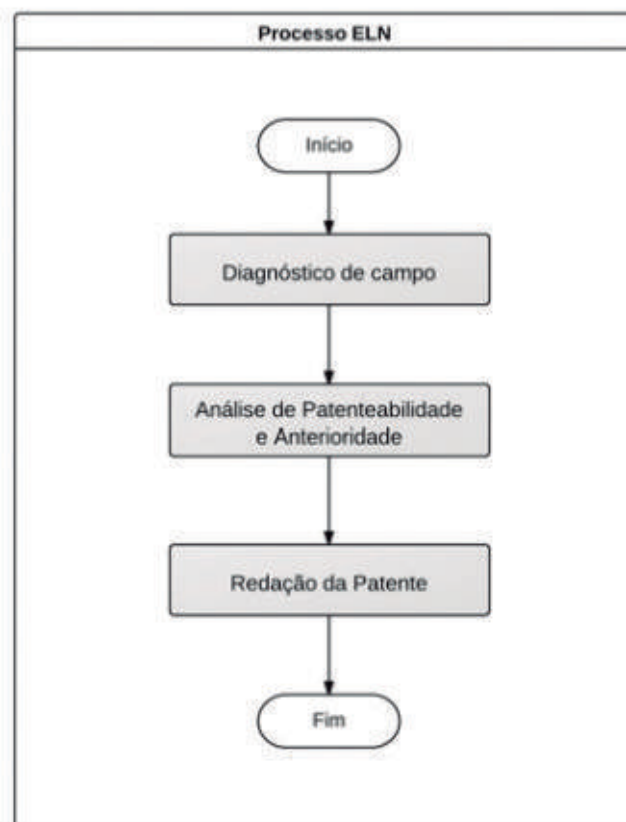


Figura 1. Macrovisão do processo de patenteamento da Eletronorte.

III. METODOLOGIA, TÉCNICAS UTILIZADAS E AVANÇOS TECNOLÓGICOS

No que se refere à metodologia, o sistema desenvolvido demandou o domínio, aplicação, adaptação e, eventualmente, a concepção de técnicas e algoritmos de processamento de linguagem natural e inteligência artificial. Além disso, exigiu intenso trabalho de engenharia de software para captação e entendimento dos requisitos e transformação do resultado da pesquisa em um produto funcional e de fácil utilização por parte dos inventores, pesquisadores e redatores de patentes.

Os requisitos levantados para a construção do sistema foram organizados em módulos, que representam as grandes funcionalidades do software, conforme demonstra a tabela I.

Tabela I Desafios científicos propostos no desenvolvimento da ferramenta.

Módulo	Desafio Científico
Análise de Anterioridade	Recuperação de Informação Recuperação de Informação com Ranking Expansão de Busca Similaridade de Texto Busca Facetada Modelagem de Tópicos Técnicas avançadas de visualização Processamento de Texto (línguas naturais) Análise sintática Extração de termos relevantes
Baú de Referências	Segmentação de Patentes Recuperação de Documentos
Redação de Patentes	Auxílio de leitura Sumarização Verificação de Itens Verificação de Veracidade Textual

A. Análise de Anterioridade

Um bom descritivo de patente, para obtenção de uma proteção intelectual sólida, utiliza-se da verificação do estado da arte nas bases de patentes importantes como USPTO, EPO e INPI, assim como diversas bases nacionais de projetos, como os da ANEEL, FAPESP, FAPERJ, FINEP e FNDCT.

A Eletronorte e a Elabora, executora do projeto, avaliaram que a centralização e automatização das buscas em várias fontes e idiomas simultaneamente incorrem numa certificação e localização mais facilitada dos documentos disponíveis no estado da técnica, seja para uma aplicação direta num descritivo de patente, seja na análise mercadológica ou ainda na visualização e montagem de um roadmap tecnológico do tema pesquisado.

A partir de termos sugeridos pela própria ferramenta (e extraídos automaticamente do seu texto descritivo de invenção, novidade ou problema técnico), o usuário pode atribuir novos termos e construir uma fórmula, podendo ampliar ou restringir seu campo de busca. A

ferramenta retorna de uma única vez todo o aglomerado de informações técnicas correspondentes às palavras-chave utilizadas. Os resultados são listados e agrupados de acordo com o que foi recuperado em cada base de informações, sejam elas de artigos, currículos, patentes ou projetos. Além da ampliação de escopo, os documentos de naturezas distintas permitem que o analista tenha uma visão global e use as informações recuperadas de uma fonte de dados para melhorar e refinar os resultados encontrados em outras fontes de outra natureza.

Com um sistema de auxílio de leitura, o usuário revisa e analisa diversos documentos técnicos em um menor tempo, visto que os documentos elencados são expressos por relevância com relação aos termos propostos e podem ser verificados pela aderência ao tema geral da pesquisa com maior facilidade.

Ao destacar palavras relevantes a seu critério do usuário, são criados ganchos visuais que aceleram a movimentação dos olhos e o foco nos trechos de texto que mais interessam, para que ele decida se o documento em questão é realmente relevante ou não como anterioridade, aumentando a capacidade analítica do técnico para definição das atividades inventivas da melhoria.[4]

Neste módulo, ainda é possível ao usuário salvar o critério/fórmula de busca, salvar o documento e ainda fazer interação de referência técnica para o estado da arte do pedido de patente ou selecioná-lo para um relatório de anterioridade para um projeto de P&D.

O uso preliminar das ferramentas de apoio à coleta de referências de anterioridade [1] permite verificar um ganho de produtividade. Ao organizar a informação de anterioridade para uso durante o processo de redação, a ferramenta induz a construção do raciocínio de escrita do usuário ao passo que se registra os fragmentos de texto importantes e necessários à matéria sendo protegida.

B. Baú de Referências

Compreende o conjunto de funcionalidades para manipular elementos extraídos dos resultados da busca de anterioridade para apoiar a própria busca e, posteriormente, a redação da patente.

Representa a coletânea de referências, construída pelo

usuário durante o processo de análise de anterioridade e de redação de patente e é composta por uma lista de referências a documentos encontrados pelo sistema e selecionados pelo usuário, bem como referências externas encontradas em buscas externas ao sistema.

Esta entidade possui também uma segunda lista de sugestões de referências (documentos) gerada automaticamente pelo sistema com base na primeira lista.

C. Redação de Patentes

Uma vez completados os processos de busca de anterioridade, com sua análise e aprovação para patenteamento (quando for esse o caso), inicia-se o processo de redação da patente. Esse processo é viabilizado pela ferramenta de apoio à redação de patentes, que compreende uma série de interfaces de usuário que segmentam e dão suporte à patente. Ela é redigida em seções e subseções, como: relatório descritivo, apresentação da invenção e campo de aplicação, estado da técnica, figuras e suas descrições breves e detalhadas, reivindicações e resumo.

A ferramenta indica as seções da patente com as informações constantes do comunicado de invenção, a fim de auxiliar o redator com uma ideia e ponto de partida para sua redação.

O redator pode, a qualquer momento, consultar sua coletânea e recortes de textos de referências através da interface da coleção de referências. Por meio dela é possível trazer para o âmbito da redação os recortes de texto que servirão de apoio. Pode-se ainda buscar por outros documentos que contenham similaridades textuais com o documento selecionado.[3]

III. RAZOABILIDADE DOS CUSTOS

A difusão de inovações e a apropriação dos ganhos delas advindos dependem da devida proteção. Um sistema de apoio à redação de patentes que permita a interação entre os redatores de patente e os inventores tornará o processo mais seguro e ágil, melhorando a apropriação dos ganhos e aumentando a efetividade dos projetos de P&D da Eletronorte. Além disso, o software auxiliará também na gestão da originalidade da carteira de projetos da Empresa. O projeto possibilitou a formação de uma parceria entre a Elabora e a Eletronorte, que empenharam esforços e recursos na proporção de 60% e 40%, respectivamente.

Estima-se que o Setor Elétrico poderá economizar até 30% do recurso de P&D nos gastos de projeto em duplicidade. O fato do produto gerado mitigar o investimento de recursos em projetos de P&D duplicados já evidencia a razoabilidade dos custos perante o benefício deste resultado. Um único projeto em duplicidade evitado já justificaria sua execução.

IV. CONCLUSÕES

A ferramenta apresenta a integração entre diversas funcionalidades, que individualmente possuem originalidade e juntas e integradas constituem um produto único. Os testes e a implantação do sistema foram realizados na Eletronorte a partir de casos reais. Os resultados alcançados indicaram o potencial para aplicação nas demais empresas do Sistema, bem como em outras empresas que tenham interesse.

O objetivo do projeto foi ampliado e o sistema é capaz de capturar informações tecnológicas para o monitoramento e prospecção tecnológica de qualquer área industrial, inteligência competitiva, redação técnica para pedido de patente e monitoramento dos pedidos junto ao INPI.

O produto superou as expectativas, atendendo aos objetivos estabelecidos e proporcionando a efetivação de novo modelo de negócio. Sugere-se que a ferramenta, cujo registro está sendo providenciado junto ao órgão competente, seja aperfeiçoada em um segundo projeto para a efetiva automatização da prospecção tecnológica.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pompermayer, Máximo Luiz. Palestra intitulada "Resultado e Impactos do Programa de P&D Regulado pela ANEEL." Apresentada no VIII Citenel, Costa do Sauípe-BA, 2015.
- [2] C. A.Ribeiro, O texto técnico em sua diversidade em ambiente de empresa, Relatório de estágio de mestrado em tradução, 2010.
- [3] F.R.P. Doerner, K. G. Junqueira, W. S.Laranjeira, J. E. M. P. Furtado, L. D. C. B. Lapolla, G. D. Cavalcante and E. H. P. Ellery, "Estudo de caso: Resultados da Implantação de um Sistema de Apoio ao Registro de Invenções, Patenteamento e Acompanhamento de Patentes na Eletronorte", apresentado no XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE, Foz do Iguaçu, PR, 2015.
- [4] F.R.P. Doerner, K. G. Junqueira, W. S.Laranjeira, J. E. M. P. Furtado, L. D. C. B. Lapolla, G. D. Cavalcante and E. H. P. Ellery, "Redator De Patentes: Ferramenta para Realização de Buscas de Anterioridade, Prospecção de Tecnologias, Apoio a Redação de Patentes – Utilização de Bases de Dados Dinâmicas", apresentado no XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE, Foz do Iguaçu, PR, 2015.

Sistema de identificação de ocorrências em SEPs a partir de múltiplas fontes de dados

Jefferson Morais¹, Yomara Pires⁽¹⁾, Aldebaro Klautau⁽¹⁾, Raimundo Pilar⁽²⁾ e Carlos Rezende⁽²⁾

Resumo – É de conhecimento que, na ocorrência de um distúrbio nos Sistemas Elétricos de Potência – SEPs, um grande número de mensagens e alarmes é gerado. Esta grande quantidade de informação, proveniente de múltiplas fontes, dificulta a atividade dos especialistas da área no que tange à identificação e classificação da causa da ocorrência. Assim, para equipar as empresas do setor elétrico com tecnologia adequada, foi proposto o projeto de P&D ANEEL 0372-0013/2010, intitulado “Sistema de auxílio na identificação de causas de ocorrências no sistema elétrico pelo processamento de múltiplas fontes de dados”. O resultado obtido com este projeto foi o desenvolvimento de dois sistemas: um voltado ao monitoramento de alarmes baseado no conceito de Mashups (SICOMF) e o outro destinado à preparação e mineração dos dados provenientes de medição fasorial síncrona (SisInfer) para inferência de perturbações em SEPs.

Palavras-chave – Inteligência computacional, Medição Fasorial Síncrona, Múltiplas fontes de dados e Sistemas de Informação Geográfica.

‘PD 0372-0013/2010 - Sistema de auxílio na identificação de causas de ocorrências no sistema elétrico pelo processamento de múltiplas fontes de dados’ Tema: Supervisão, controle e proteção de sistemas elétricos; Subtema: Técnicas de inteligência artificial aplicadas ao controle, operação e proteção de sistemas elétricos; ‘Suporte financeiro: Eletronorte’; ‘Executora: UFPA’; ‘Custo total: R\$ 281.014,44’

1 Universidade Federal do Pará (jmorais@ufpa.br, yomara@ufpa.br e aldebaro@ufpa.br).

2 Eletrobras Eletronorte (raimundo.farias@eletronorte.gov.br e carlos.almeida@eletronorte.gov.br).

I. INTRODUÇÃO

Sabe-se que nos Sistemas Elétricos de Potência - SEPs, as ocorrências de um distúrbio geram uma grande quantidade de informações provenientes de mensagens e alarmes. Assim, as múltiplas fontes acabam dificultando a identificação e classificação da causa dessa ocorrência por parte dos especialistas da área. Como consequência, no cotidiano da supervisão, proteção e operação do sistema elétrico brasileiro, existem distúrbios cujas causas não são identificadas.

Para equipar as empresas do setor elétrico com tecnologia suficiente para o estudo das relações entre eventos de interesse e suas causas, ounexo causal, faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema computacional baseado em técnicas de inteligência artificial e mineração de dados.

Diante deste cenário, foi proposto um projeto que teve como principal objetivo desenvolver um processo e um software, baseados em aprendizado de máquina e mineração de dados provenientes de múltiplas fontes de informação, para auxiliar na identificação de falhas frequentes (perturbações) que ocorrem nos SEPs. Para tanto, os seguintes entregáveis foram desenvolvidos:

- Sistema de inferência acerca do nexocausal - SisInfer.
- Sistema de informação geográfica para monitoramento on-line de alarmes - SICOMF.

Um dos fatores que demonstra a viabilidade do projeto é o fato de que a mineração de dados agiliza a análise das causas e a decisão sobre as providências a serem tomadas, indo ao encontro dos curtos prazos (cerca de uma semana) estabelecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS para análise das perturbações ocorridas no sistema.

As próximas seções descrevem a metodologia de desenvolvimento de cada produto e os resultados do projeto.

II. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA MONITORAMENTO ON-LINE DE ALARMES

O Sistema de Informação Geográfica para Monitoramento On-line de Alarmes (SICOMF) é um sistema baseado no conceito Mashups [1] para integrar dados provenientes de múltiplas fontes de informação, tais como: informações sobre queimadas, tempestades e indicadores climáticos. Estas múltiplas informações são correlacionadas com as informações provenientes do posicionamento das torres das linhas de transmissão. Além disso, o sistema realiza o monitoramento de dados e alarmes do Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia - SAGE.

O SICOMF tem como objetivo prover um conjunto de ferramentas de informações sumarizadas das condições climáticas e ambientais da região para a supervisão do sistema, tornando o processo de previsão de falhas e tomada de decisão mais eficiente. Desta forma, o sistema pode contribuir também para o atendimento a uma lacuna existente no processo de supervisão do sistema com informações atualizadas sobre diversos eventos climáticos que possam interferir na transmissão de energia elétrica.

Desenvolvido em Java, o SICOMF auxilia o operador na identificação de causas ou prevenção de eventos e falhas que ocorram nos SEPs, contribuindo com a tomada de decisão em situações críticas e aumentando a qualidade do serviço oferecido na região norte do país. O SICOMF encontra-se instalado no Centro de Operação Regional do Pará (COR-PA).

Sua abrangência compreende Altamira, Rurópolis e Tucuruí, localizadas no Pará, pertencentes ao sistema TRAMOESTE. No entanto, devido a sua arquitetura flexível, o sistema pode ser readequado para outras regiões. A figura 1. mostra a tela inicial do sistema.



Figura 1. Tela Inicial do SICOMF.

O SICOMF exibe seus mapas de queimadas e tempestades logo na tela inicial. Existem dois modos de exibição: mapa e satélite, que podem ser escolhidos no canto superior direito. No modo mapa, são mostradas apenas as fronteiras e os nomes das cidades, enquanto que no modo satélite são exibidas imagens tiradas por satélites em tempo não-real.

A. Arquitetura do SICOMF

A arquitetura do SICOMF abrange desde a fase de obtenção de dados via satélite até a fase de exibição do software, conforme figura 2. abaixo:

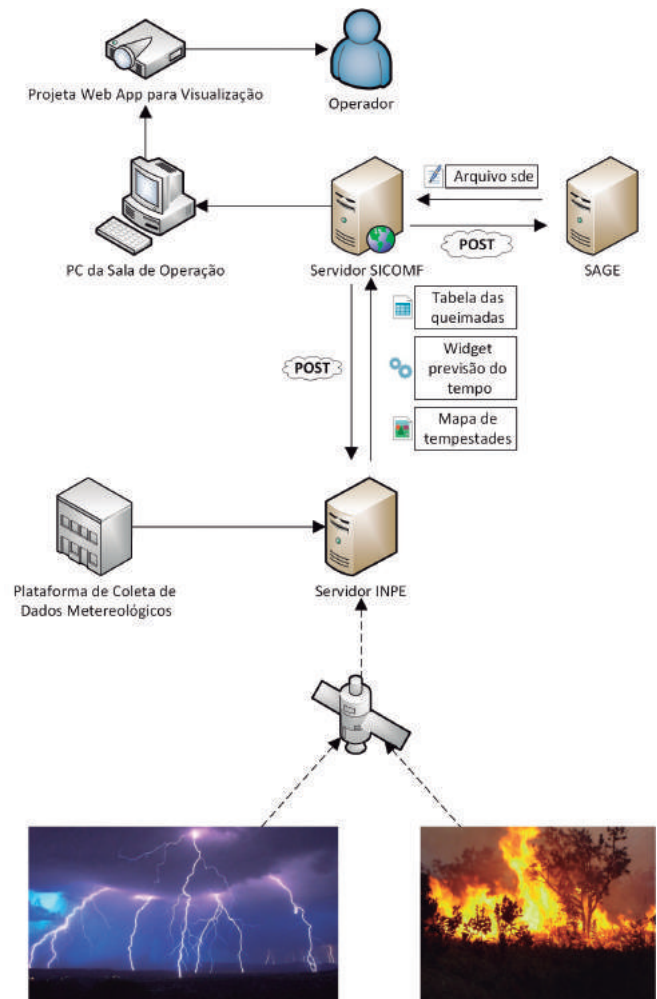


Figura 2. Arquitetura do sistema SICOMF.

Mais especificamente, a arquitetura do SICOMF funciona da seguinte forma:

I) As tempestades e queimadas são detectadas pelos satélites de monitoração que, por sua vez, enviam seus dados para os servidores do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

II) Os servidores do INPE disponibilizam os dados para uso público na internet em formatos de widgets, mapas e webservice. Assim, o servidor do SICOMF coleta as informações necessárias dos servidores do INPE e, juntamente com os arquivos de alarmes obtidos do SAGE, processa, organiza e exibe os dados em um browser no computador do cliente.

III) As posições das torres de linhas de transmissão encontram-se hospedadas no servidor SICOMF em formato DMS (dias, minutos e segundos). Estes dados são processados no browser do cliente via Javascript, convertidos para o formato DDD (graus decimais) e, em seguida, plotados no mapa.

B. Fontes de dados SICOMF

As seguintes fontes de dados alimentam o SICOMF:

Posições das torres de linhas de transmissão: Obtidas junto à Eletrobras Eletronorte e armazenadas em arquivos no formato xls.

Queimadas: O sistema SICOMF utiliza o Sistema de Informação Geográfica (SIG) Focos - Geral do INPE para obtenção das informações sobre os focos de queimadas. É possível visualizar os focos de queimadas com opções de períodos, regiões de interesse, satélites, planos de informação (desmatamento, hidrografia e estradas, por exemplo), etc., além da exportação dos dados em formatos txt e html.

Previsão do tempo: Para exibir as previsões de tempo das diversas cidades próximas às LTs monitoradas, utilizou-se um serviço de widget do site do INPE. Ao escolher a cidade e o visual do widget, foi gerado um código que é inserido no código fonte do SICOMF.

Arquivo de alarmes: Obtidos a partir de servidor da Eletronorte. Sempre que o sistema é aberto no browser do cliente, uma requisição de leitura do arquivo de alarmes mais atual é enviada para o servidor e a quantidade de linhas no arquivo é armazenada em uma variável do tipo JavaScript.

Diagramas Unifilares: Para se obter os diagramas, utiliza-se um iframe com o atributo src apontando para a página tela.html no servidor da Eletronorte. Como parâmetro GET, deve-se fornecer o nome da tela referente à subestação que se deseja mostrar.

Tempestades: As informações são obtidas a partir do mapa desenvolvido pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT). O mapa é baseado na Interface de Programação de Aplicativos - API do Google maps e seus dados são calculados a partir daqueles da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT).

III. SISTEMA DE INFERÊNCIA DE NEXO-CAUSAL

O Sistema de Inferência de Nexos-Causais (SisInfer) consiste em uma aplicação desktop que tem como objetivo a preparação e mineração dos dados de medição fasorial síncrona, provenientes dos equipamentos denominados de PMUs (Phasor Measurement Units) [2] de forma a auxiliar os especialistas na obtenção de diagnósticos e especificamente na inferência de perturbações que podem ocorrer nos SEPs.

Mais especificamente, o sistema utiliza alguns dos principais classificadores provenientes do software WEKA, tais como Redes Neurais Artificiais (RNA) [3], RandomForest (RF) [4] e K-Nearest Neighbor (KNN) [5],[6]. O motivo para escolha desses algoritmos é eles representarem alguns dos principais paradigmas de aprendizado de máquina [4-6].

Os resultados obtidos da metodologia implementada pelo SisInfer são apresentados em [7]. A figura 3 apresenta a interface principal do SisInfer.

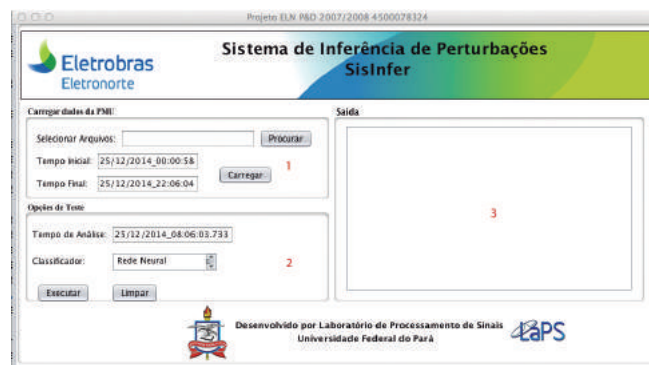


Figura 3. Tela principal do SisInfer

O SisInfer é dividido em três painéis principais:

- I) Painel responsável por carregar dados provenientes das PMUs a partir de um período pré-especificado;
- II) Painel que configura e executa os testes na predição de perturbações; e
- III) painel que apresenta as saídas em cada passo da execução do programa.

IV. RAZOABILIDADE DOS CUSTOS

Em uma de suas divulgações, a ANEEL informou que o número de perturbações no sistema de transmissão do SEB fica entre 2.000 e 3.000 por ano. Destas, cerca de 300 ocasionam desligamento de carga e menos de 3% do total das perturbações cortam montantes de carga superiores a 100 MW, o que equivale a uma cidade de 300 mil habitantes.

Em casos de problemas de continuidade na disponibilização dos ativos, o sistema de transmissão de energia sofre penalidade, intitulada Parcela Variável – PV, que se reflete diretamente na Receita Anual Permitida – RAP (faturamento da Empresa). Seu monitoramento é realizado em percentual sobre a RAP: quanto menor a penalização, melhor a qualidade da prestação dos serviços e melhor o desempenho da empresa.

Em termos percentuais, cabe dizer que o recurso investido neste projeto P&D corresponde a 2,6% da penalidade sofrida pela Eletronorte no período de 2012 a 2013, no que se refere à PV, já demonstrando a razoabilidade dos custos.

1. <http://www.inpe.br/queimadas/>
2. ELAT. <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>

V. CONCLUSÕES

Os sistemas SICOMF e o SisInfer possibilitam melhor monitoramento e ação sobre as causas de falhas e ocorrências nos sistemas elétricos de potência direcionados ao sistema TRAMOESTE, formado por Tucuruí, Altamira e Rurópolis. Ambos são caracterizados pelo uso de múltiplas fontes de dados, internas e externas, como: dados de meteorologia, focos de queimadas, descargas atmosféricas, sistemas de geolocalização, feature selection e pesquisa em predição de eventos para o estabelecimento denexo causal.

Os sistemas disponibilizam informações com visão sistêmica, sumarizada e online, possibilitando a redução do tempo de previsão de falhas e agilizando o processo de tomada de decisão do especialista do sistema no momento da ocorrência de um evento.

A avaliação do desempenho dos classificadores na prevenção de desligamentos em SEPs foi realizada utilizando métricas como: Acuraria, Taxa de erros, Taxa de Especificidade, Taxa de Sensibilidade, dentre outras, demonstrando que o classificador neural utilizado no produto final da pesquisa obteve o melhor desempenho.

O SisInfer foi testado e validado enquanto protótipo, e está disponível para a Eletronorte no Centro de Operação Regional do Pará (COR-PA), permitindo análise em modo off-line. No entanto, para aplicação em todo o sistema TRAMOESTE no estado do Pará, necessita da extensão do sistema, disponibilização dos dados fasoriais em tempo real, inserção dos dados e aprovação de nova rotina operacional.

O sistema SICOMF está entregue e disponível para utilização da Empresa. Este sistema executa o monitoramento dos dados meteorológicos das regiões associadas às linhas de transmissão e, em tempo real, os eventos de desligamentos ocorridos no sistema para visualização e identificação do operador do sistema.

Os produtos gerados na pesquisa agregam-se aos sistemas já utilizados pela Eletronorte de forma complementar. Essa integração permitirá a mitigação das causas que interferem e trazem perturbações ao sistema elétrico. A correção antecipada traz maior segurança para os operadores do sistema e maior confiabilidade para a continuidade no fornecimento de energia à sociedade.

Os produtos, uma vez parametrizados e atendidos os requisitos de instalação, poderão ser utilizados por todas as empresas do setor elétrico.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MERRIL, D. T "he new breed of Web App". 2006. Disponível em: <http://www.ibm.com/developworks/library/x-mashups> .
- [2] Hamrouni, Tarek, Sarra Slimani & Faouzi Ben Charrada (2015), 'A data mining correlated patterns-based periodic decentralized replication strategy for data grids', Journal of Systems and Software 110, 10–27.
- [3] HAYKIN, S. Neural Networks and Learning Machines. 3. Ed. [S.l.]: McMaster University, 2009.
- [4] Breiman, Leo. "Random forests." Machine learning 45.1 : 5-32, 2001.
- [5] HALL, M. e. a. The weka data mining software: an update. In: SIGKDD Explor. News. [S.l.: s.n.],2009.v.11,p.10–18.
- [6] WITTEN, I.; FRANK, E. Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations. Morgan-Kaufmann, 2005.
- [7] Maia, A. T., da Rocha, A. B., Júnior, K., de Moraes, J. M., Mar-tins, D., & Pires, Y. P. Avaliação de Técnicas de Mineração de Dados para Predição de Desligamentos em Sistemas Elétricos de Potência. Brazilian Symposium on Information System (SBSI), Goiânia-GO, 2015.

Desenvolvimento de protótipo de sensor interferométrico multimodal de fibra óptica para detecção de descargas parciais em transformadores e reatores de potência

Iran P. Arantes(1), Henrique O. Henriques(2), Andres P. L. Barbero(2), Ricardo M. Ribeiro(2)
e Sydney B. Germano(2)

Resumo – Este trabalho relata a construção de um sensor óptico que mede a intensidade e duração de descargas parciais, baseado nas alterações causadas por vibrações mecânicas na luz injetada em uma fibra multimodo. A fibra sensora, fazendo parte do sistema interferométrico multimodal, comporta-se como uma espécie de “nervo de vidro”, muito sensível aos distúrbios mecânicos de baixa magnitude. Serão apresentados resultados de ensaios no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL e na subestação de Imperatriz da Eletronorte. O trabalho mostra que existe forte evidência de que o número de ocorrências, a amplitude, a duração e o intervalo entre duas sequências de DP’s, podem medir o estado do isolamento.

Palavras-chave – Descargas parciais, fibra óptica, interferometria, reatores, sensor óptico e transformadores.

‘0372-009/2007 - Desenvolvimento de Sistemas Inteligentes Baseados em Sensores a Fibra Óptica para Transformadores de Potência’; Tema: Supervisão Controle e Proteção de Sistemas de Energia Elétrica – Subtema: Implementação de Sistemas de Controle; ‘Eletronorte e Tractebel’; ‘Fundação Euclides da Cunha, Fundação Josué Montello’; ‘R\$ 713.995,52’

1 Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A. - Eletronorte (e-mail: iran.arantes@eletronorte.gov.br).

2 Universidade Federal Fluminense - UFF (e-mails: rique@vm.uff.br; pablo@telecom.uff.br; bragantine@gmail.com; rmr.rlk@terra.com.br).

I. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, sabe-se que é possível monitorar em tempo real as condições operacionais de transformadores de potência, reatores e seus acessórios, tais como buchas, comutadores, moto ventiladores, etc.

O fenômeno das descargas parciais (DP’s) ocorre em cavidades ou inclusões de constante dielétrica, diferente do material que a rodeia. Quando este material é submetido a um campo elétrico, este se distribui pelo material, submetendo a cavidade ou inclusão a um gradiente de tensão em excesso ao gradiente máximo suportável pela mesma. Este fenômeno dará origem a pequenos centelhamentos no interior de transformadores, devido a conexões frouxas, baixa isolamento elétrica, curtos-circuitos e outros fatores [1].

As descargas consistem então de transientes elétricos que ocorrem onde houver queda suficiente da isolamento elétrica e, portanto, o colapso local da rigidez dielétrica, acarretando um processo temporal de deterioração progressivo do material e, eventualmente, a falha do equipamento.

Esta deterioração da isolamento elétrica ocorre de forma cumulativa, devendo-se à fadiga mecânica, térmica, química e elétrica durante a operação do transformador. Com esse propósito, a Eletronorte e a Tractebel Energia executaram o projeto intitulado “Desenvolvimento de Sistemas Inteligentes Baseados em Sensores a Fibra Óptica para Transformadores de Potência” [2], cujo produto final foi um protótipo funcional de um sensor óptico interferométrico para detecção de DP’s, testado em equipamentos da subestação Imperatriz/MA da Eletronorte.

Por meio desse produto, é possível avaliar de forma preditiva a degradação e o envelhecimento da isolamento elétrica interna de um transformador.

II. SENSOR INTERFEROMÉTRICO MULTIMODAL

Na literatura são relatados diversos métodos de detecção de DP's com diferentes configurações experimentais [3] [4][5][6]. O sistema [7] de sensoriamento que foi utilizado e desenvolvido para o Projeto ANEEL 0372-009/2007 funciona da seguinte forma: o laser envia luz através de uma fibra monomodo, em um determinado comprimento de onda, que entra no sensor, fibra multimodo. A luz reflete em sua extremidade espelhada e é reinjetada na fibra monomodo novamente, porém com a presença de vibrações mecânicas proveniente das DP's [8][9].

Os diversos modos se reacoplam de maneira diferente e com diferentes fases elétricas, conforme a vibração. Ao retornar à fibra monomodo, a luz é conduzida pelo circulador óptico para um detector, um fotodiodo, que transforma o sinal de luz em tensão (volts), que é conduzido a um osciloscópio e tem os valores armazenados em um arquivo através de um programa de leitura.

O processo descrito é ilustrado no esquema desenhado pela figura 1.

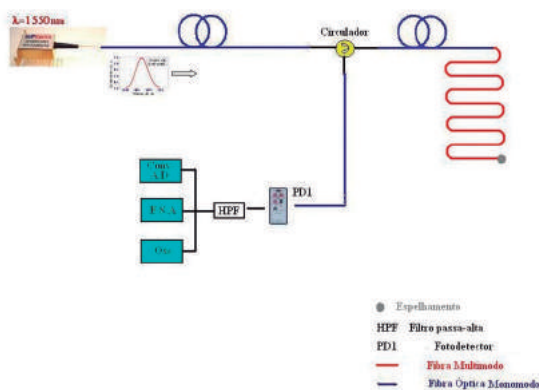


Figura 1. Esquema de funcionamento do sensor interferométrico multimodal.

III. ENSAIO CEPEL – TRANSFORMADOR 500 kVA

Para realização dos testes de descargas parciais, foi utilizado um transformador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, 500 kVA, de relação nominal de 13200/216,5 volts.

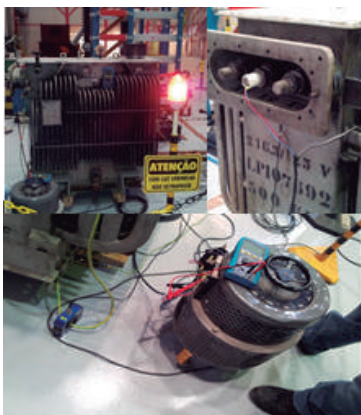


Figura 2. Transformador preparado para ensaio de descargas parciais

Na fase X2, lado de baixa tensão, foi injetada gradualmente uma tensão, controlada por um Variac mostrada na figura 2.

No lado de alta tensão, foi instalado um divisor de tensão ligado a um voltímetro digital. Desta forma pode-se verificar o aumento das descargas, à medida que se aumenta a tensão no lado de baixa tensão através do Variac. Pode-se também determinar o valor de tensão ao qual estas descargas se iniciam como mostrado na figura 4.

O sensor modalométrico de fibra óptica foi instalado na parte externa da saída de alta tensão do transformador, junto a outros dois sensores piezoelétricos do CEPEL, para fins de comparação, conforme mostrado na figura 3.

IV. ENSAIO ELETRONORTE SUBESTAÇÃO IMPERATRIZ

A Eletronorte, através de ensaios de cromatografia gasosa, indicou dois transformadores de corrente (TC) do tipo Pedestal de 500 kV. O primeiro foi o TC 702 _V do DJ701, que por meio de ensaios do CEPEL e análise cromatográfica de gases, verificou-se que apresentava fortes atividades de descarga parcial, DP. O segundo, TC 702 _B do DJ701, foi medido para ser a referência de um equipamento de baixa atividade de DP.

Foi utilizado o sensor óptico modalométrico, desenvolvido pela Universidade Federal Fluminense - UFF nos dois casos. Os resultados dos ensaios foram gravados de tal forma que cada arquivo contém 1 min de gravação, 60 milhões de registros, valor da tensão transduzida pelo ruído na faixa do ultrassom, a cada μ s. No TC 702 _V foram gravados 30 min e no 702 _B, dez minutos. A telemetria instalada e integrada ao sensor na casa de relés mais próxima do TC e a distância do TC à casa de relés são mostrados na figura 3.



Figura 3. Sensor instalado no TC 702_V do DJ701, telemetria integrada e distância do TC à casa de relés.

A figura 4 mostra a primeira descarga gravada e sua transformada de fourier. No eixo y, encontra-se a potência do sinal, no x a frequência. Pode-se observar que as frequências estão entre 29 e 103,5 kHz.

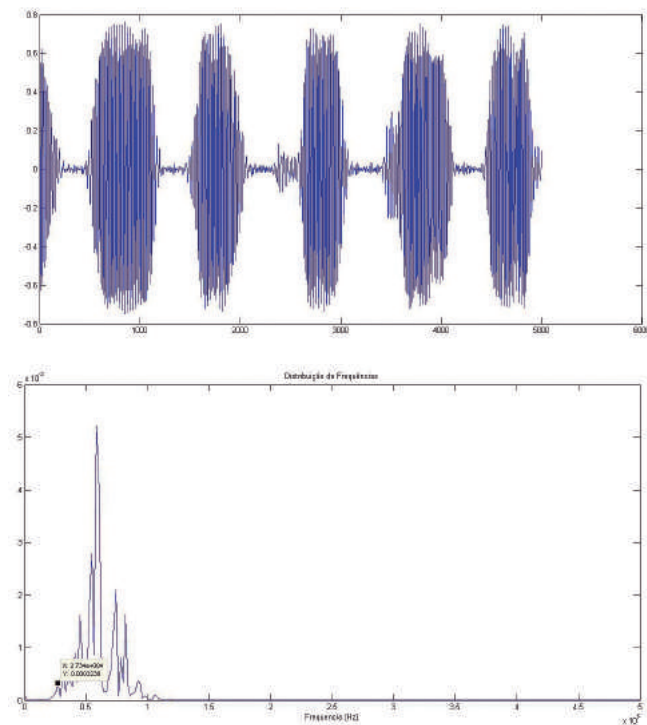


Figura 4. Descarga escolhida aleatoriamente e sua transformada de Fourier.

Baseados nestes resultados, foram escolhidas as frequências de corte para um filtro passa faixa entre 27 e 105 kHz.

V. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A. Resultados de ensaios no CEPEL

As descargas parciais eram inicialmente sensíveis pelos sensores piezelétricos instalados pelo CEPEL na tensão de 2600Volts. Era de se esperar que os valores de tensão da vibração (VV) aumentassem com a tensão do primário do transformador (VPT). A figura 5 mostra a variação da tensão máxima e média de vibração com o valor de VPT.

Nota-se que a amplitude da VVmax cresce muito quando a descarga se inicia. Para valores de VPT até 2000 volts, a vibração mantém-se quase constante, sem maiores variações, o que confirma o resultado do sensor do CEPEL. Foi observado também que o intervalo de tempo entre duas sequências de descarga diminui com o aumento da tensão.

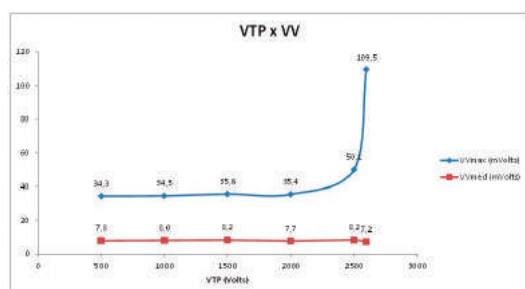


Figura 5. Vibração x Tensão no primário do transformador.

B. Resultados de ensaios em Imperatriz

Com as condições iniciais definidas, após análise visual de várias descargas parciais, o programa levou 673 segundos para varrer os 40 minutos de dados coletados, de 1 em 1 microssegundo, resultando em um total de 2.400.000.000 (dois bilhões e quatrocentos milhões) de dados. Avaliando-se os resultados nota-se:

- No TC defeituoso, o nível médio de ruído base é quase o dobro do TC de referência;
- A média dos picos (V) do TC defeituoso é 19% maior do que o da referência;
- A duração da descarga média do defeituoso é 25% menor que o equipamento de referência;
- O TC defeituoso tem em média uma descarga a cada 150 segundos (1800/12), enquanto o de referência tem uma a cada 200 segundos(600/3).

VI. RAZOABILIDADE DOS CUSTOS

Para que se torne evidenciada a razoabilidade de custos do projeto, cabe fazer uma comparação.

A empresa NDB Technologies Inc. (Canadá) vende um sistema de monitoramento acústico de descargas parciais para transformadores, com 4 pontos de sensoriamento, utilizando tecnologia piezoelétrica, a um custo unitário de US\$ 45.000,00. Caso este equipamento seja adquirido por alguma instituição não-universitária, deve-se acrescentar cerca de 80% de impostos totais, o que resultam US\$81.000,00, excluindo-se as despesas de empacotamento e envio.

Enquanto isso, a estimativa de custo do sensor modalmétrico de 4 pontos de sensoriamento, utilizando as fibras refletoras apresentadas no projeto de P&D, já incluindo 80% de impostos totais de todos os insumos importados necessários, é de < US\$ 11.000,00. Isto evitaria um dispêndio de ~US\$ 70.000,00, ou seja, cerca de R\$ 176.000,00 por equipamento de monitoramento de descargas parciais.

VII. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados, é possível afirmar que existe uma relação entre o estado do transformador e as características de suas descargas.

Os parâmetros das descargas parciais que ajudam a identificar um transformador que apresenta operação defeituosa são os valores médios no intervalo de tempo de:

- Amplitude máxima (valores de pico);
- Quantidade de descargas por minuto que ocorrem;

- Ruído base;
- Duração da descarga;
- Número de descargas por segundo.

É possível então determinar valores limites de segurança para esses parâmetros. Quando a análise das descargas parciais apresentar sinais de que estão fora do limite, seria sinalizada uma possível necessidade de intervenção para uma manutenção preventiva no transformador.

Como muitos fatores podem influenciar nas descargas produzidas por um equipamento, cada tipo de transformador apresentará valores de segurança diferentes para seus parâmetros de descargas parciais. Recomenda-se que a realização da análise de descargas seja feita inicialmente com o transformador em bom estado e utilizada, posteriormente, como referência para monitorar mudanças nos parâmetros das descargas parciais de equipamentos de mesmo tipo.

A Eletronorte e a Tractebel possuem forte interesse nos resultados, uma vez que pretendem avaliar a utilização da técnica de medição e identificação como uma nova métrica para qualificar as DP's em equipamentos de suas responsabilidades. Neste sentido, há interesse na continuidade do projeto, que viabilizará o desenvolvimento de um equipamento portátil responsável pela emissão de um diagnóstico das DP's presentes e sua provável localização.

Salienta-se que já foi realizado o depósito do pedido de patente do dispositivo gerado a partir do projeto concluído.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JOSÉ TEIXEIRA JUNIOR - Apostila Medição de Descargas Parciais. Universidade Federal do Paraná.
- [2] HENRIQUES, H. O.; BARBEIRO, A. P.; GERMANO, S. B. – Projeto Nº ANEEL: 0372 – 009 / 2007.
- [3] ZARGARI AND T. R. BLACKBURN, "Modified optical fibre sensor for PD detection in high-voltage power equipment", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 424-427, Montreal, Canada, June 16-19 (1996)
- [4] B.T. Phung, T.R. Blackburn, G.D. Peng, H.C. Chang and L.K. Guan, "Development of new partial discharge sensors for condition monitoring of power system equipment", Australasian University Power Engineering Conference, September 25-28, Hobart, Tasmania, Australia, paper S18.1 (2005).
- [5] P. Boffi, R. Bratovich, F. Persia, A. Barberis and M. Martinelli, "1550 nm All-Fiber Interferometer For Partial Discharge Detection In Oil-Insulated Power Transformer", International Conference on Optical Fiber Sensors (OSA/OFC), paper TuC5 (2006).
- [6] S. E. U. Lima, O. Frazão, R. G. Farias, F. M. Araújo, L. A. Ferreira, J. L. Santos and V. Miranda, "Mandrel-based fiber-optic sensors for acoustic detection of partial discharges – a proof of concept", IEEE Transactions on Power Delivery, 25, 4, 2526-2534 (2010).
- [7] R. M. Ribeiro, Yanes C. Balod, Andrés P. Barbero e P. A. M. Santos, "Sensor Modalométrico de Perturbações Baseado em Fibra Óptica de Sílica Multimodo", Dissertação de Mestrado, UFF, 2011.
- [8] E. HOWELLS AND E. T. NORTON, "Detection of partial discharges in transformers using acoustic emission techniques", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-97, 5, 1538-1549 (1978).
- [9] J. A. COSGRAVE, A. VOURDAS, G. R. JONES, J. W. SPENCER, M. M. MURPHY AND A. WILSON, "Acoustic monitoring of partial discharges in gas insulated substations using optical sensors", IEE Proceedings A, 140, 5, 369-374 (1993)

Análise de dados de campanhas de medição de emissões e remoções de gases de efeito estufa em aproveitamentos hidrelétricos no Brasil

Jorge M. Damazio (1), Alexandre M. Medeiros (1), Juliano L. S. de Abreu (1), Maria Elvira P. Maceira (1), Albert C. Melo (1), Silviani Froelich (2), André C. P. Cimblaris (3), Ana Claudia B. Oliveira (4), Maria L. Milazzo (5) e Marco Aurélio dos Santos (6)

Resumo – Com o intuito de estudar emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE em reservatórios hidrelétricos, foi iniciado em março de 2011 o Projeto de P&D denominado “Monitoramento de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Usinas Hidrelétricas” e apelidado de BALCAR (Balanço de Carbono). Concebido e executado numa perspectiva integrada para atendimento à Chamada Estratégica 009/2008 da ANEEL, o projeto contou com a participação de oito instituições de pesquisa e três concessionárias de energia. Foram estudados três aproveitamentos em construção (Belo Monte, Santo Antônio e Batalha) e oito aproveitamentos em operação (Balbina, Tucuruí, Xingó, Três Marias, Serra da Mesa, Funil, Itaipu, Segredo), respeitando a sazonalidade climática e a variabilidade espacial, perfazendo um total de quatro campanhas de medição para cada aproveitamento entre março de 2011 e janeiro de 2013. Este artigo apresenta análises estatísticas feitas com o conjunto de dados coletados nestas campanhas.

Palavras-chave – Balanço de Emissões e Remoções, Emissões Líquidas, Gases de Efeito Estufa, Hidrelétricas, Sumidouros de Carbono.

‘PD-0372-0009/2008, Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Centrais Hidrelétricas’; tema: Gestão de Bacias e Reservatórios, subtema: Emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de usinas hidrelétricas; ‘suporte financeiro: Eletronorte, Furnas e Chesf’; ‘executoras: COPPE, INPE, IIEGA, UFPR, UFJF, UFGA, CEPEL e LACEN’; Custo Total: R\$ 21.726.423,16.

1 ‘Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL’ (damazio@cepel.br; mollica@cepel.br; jlsabreu@cepel.br; elvira@cepel.br; albert@cepel.br)

2 ‘Centrais Elétricas do Norte do Brasil - Eletronorte’ (silviani.froehlich@eletronorte.gov.br)

3 ‘Furnas Centrais Elétricas – Furnas (andrec@furnas.com.br)

4 Companhia Hidroelétrica do São Francisco - Chesf (anacsa@chesf.gov.br)

5 Centrais Elétricas Brasileiras - Eletrobras (milazzo@eletrobras.com)

6 Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE (aurelio@ppe.ufrj.br)

I. INTRODUÇÃO

No bojo do atual desafio de conciliar a redução das emissões de gases de efeito estufa com a manutenção do crescimento no fornecimento de energia, destaca-se a hidroeletricidade por utilizar fonte primária renovável e tecnologia comprovada e socialmente desejável.

No que se refere às emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE, a partir da última década do século passado as medições realizadas em reservatórios de hidroelétricas indicaram que o papel destas no total das emissões globais antropogênicas de GEE pode não ser desprezível [1]. Razoável incerteza envolve a quantificação de emissões de GEE de reservatórios artificiais.

O relatório do encontro de 2009 da força de trabalho do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, realizado em São Paulo, identificou fatores que dificultam a estimação de fluxos antropogênicos em reservatórios (assim como em terras alagáveis), ressaltando a variabilidade climática anual e o fato de que esses ambientes afetam e são afetados pelo uso da terra nas suas vizinhanças [7]. Estudos recentes têm mostrado que reservatórios podem atuar como sumidouros de carbono [2], [3] e [8].

Em resumo, o atual estado da arte sobre emissões de gases de efeito estufa em reservatórios hidrelétricos contém uma série de incertezas e de posições divergentes, sendo necessário o seu aperfeiçoamento para que possam ser consideradas nas definições estratégicas de políticas energéticas, legislações e regulamentações [4] e [5].

Nesse sentido, as empresas Eletrobras elaboraram o projeto de P&D intitulado “Monitoramento de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Usinas Hidrelétricas”, apelidado de BALCAR, em resposta à Chamada Estratégica nº 009/2008, de mesmo nome, publicada pela ANEEL. Com orientação do Ministério das Minas e Energia - MME e sob coordenação técnica do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, as empresa encaminharam o projeto de P&D, cujo escopo incluiu estabelecimento de diretrizes para monitoramento, análise de dados e modelagem, definição de boas práticas de gerenciamento relativas às emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de hidrelétricas e execução de campanhas de campo em 11 hidrelétricas (oito em operação e três em construção). O projeto BALCAR teve suas atividades iniciadas em março de 2011 e foi concluído em janeiro de 2014.

Participaram do projeto as equipes técnicas de oito instituições de pesquisa, quais sejam: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Centro de Tecnologia da Eletronorte – LACEN, Universidade Federal do Pará – UFPA, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental – IIEGA e CEPEL. Coube às concessionárias Furnas Centrais Elétricas S.A., Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF e Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – Eletronorte o suporte financeiro para execução da pesquisa.

O projeto constituiu-se, ainda, em importante apoio à contribuição brasileira no âmbito do Grupo de Trabalho em Hidroeletricidade da Agência Internacional de Energia por meio da Força Tarefa em Gerenciamento de Balanço de Carbono de Reservatórios de Água Doce, coordenada pelo CEPEL.

II. CAMPANHAS DE CAMPO DO PROJETO BALCAR

A. Programação

Foram programadas campanhas de campo para coleta de dados em um conjunto de oito reservatórios de aproveitamentos em operação e três áreas de futuros reservatórios de aproveitamentos em fase de construção.

A incorporação das áreas dos futuros reservatórios visou à coleta de dados na fase de préenchimento, possibilitando a quantificação das emissões de gases de efeito estufa na fase anterior à existência dos reservatórios, visando à obtenção das estimativas das taxas de emissões líquidas de gases de efeito estufa.

Os aproveitamentos em operação e em construção selecionados para o programa de campanhas de campo encontram-se distribuídos ao longo de gradientes de latitude e longitude (figura 1), situados em diferentes regiões hidrográficas. Apresentam exposição diferenciada às entradas de frentes frias, já que as modificações térmicas e dinâmicas provocadas por frentes frias afetam o comportamento hidrodinâmico do corpo d'água alterando as trocas de gases entre o sistema aquático e a atmosfera. Para cada aproveitamento foram programadas quatro campanhas espaçadas ao longo de um ano.



Figura 1. Localização dos Reservatórios Hidrelétricos.

B. Desenvolvimento das Campanhas

As campanhas foram realizadas durante dois anos, a partir de março de 2011. A equipe da COPPE/UFRJ fez estimativas dos fluxos de GEE na interface água-atmosfera, amostrando a montante, a jusante e nos lagos, com funis de captação

de bolhas (fluxos ebulitivos) e câmaras de difusão (fluxos difusivos). Para avaliar o aporte de Carbono (C) através das vazões mássicas nos tributários, esta equipe identificou os tributários de maior importância e escolheu nestes pontos de medição de vazão instantânea e concentrações de COD e COP. A carga orgânica foi estimada relacionando a afluência da área de drenagem dos pontos amostrados com a afluência da área de drenagem total ao reservatório.

Foram feitas medidas de concentração de C fresco e permanente em armadilhas de sedimentação, posicionadas em diferentes profundidades da coluna d'água, empregando-se o método da sílica como traçador e no sedimento por meio da determinação da cronologia de sedimentação pelo método radiométrico (Pb210) e medidas de concentração de carbono.

As equipes do INPE e do LACEN também fizeram medições de fluxos de GEE na interface água-atmosfera.

A equipe do IIEGA focou a estimativa de fluxos de GEE e concentrações de C e nutrientes na interface água-sedimento. Na coluna de sedimentos foram determinadas concentrações de matéria orgânica, C, N, P, íons da água intersticial e metais.

A equipe da UFJF coletou dados relacionados aos processos metabólicos (produção e respiração bacteriana e fitoplanctônica) utilizando medições de C14, incorporação de [3H]-leucina, consumo de oxigênio dissolvido (Winkler) e analisador de gases infravermelho.

A equipe da UFPA/USP coletou amostras para em laboratório isolar, cultivar e caracterizar morfológica e geneticamente arqueias metanogênicas e bactérias metanotróficas por expressão dos genes *mcrA* e *pmoA*.

O INPE instalou e operou um Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental - SIMA (composto por toróide, onde são instalados sensores, eletrônica de armazenamento, bateria, painel solar e antena de transmissão) em cada um dos reservatórios para monitorar e transmitir via satélite as variáveis meteorológicas e limnológicas, incluindo temperaturas do ar e da água em diversas profundidades, em uma escala de tempo de 10 minutos.

O sistema monitorou também pH e turbidez, O₂ e CO₂ dissolvidos, condutividade, nitrato, amônia, profundidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar, direção e intensidade do vento, direção e intensidade da corrente.

Um experimento de medição de fluxos de CO₂ pelo método de medição de covariâncias turbulentas foi aplicado em Itaipu onde foi reativada uma estrutura de medição (torre) operada pelo Laboratório de Estudos em Monitoramento e Modelagem Ambiental da UFPR - LEMMA.

III. RESULTADOS

Apresentam-se os cálculos dos balanços de emissões e remoções pós-enchimento de CO₂, CH₄ e N₂O, considerando o modelo conceitual proposto em [1] e [3].

Seguindo este modelo, do conjunto de medições de cada campanha foram estimados valores representativos para os aproveitamentos de: a) fluxos ebulitivos (CH₄ e CO₂) na interface água-ar no reservatório b) fluxos difusivos (CH₄, CO₂ e N₂O) na interface água-ar no reservatório e no trecho de rio de jusante; c) degassing (CH₄ e CO₂) nos turbinamentos; d) taxa de sedimentação permanente de carbono no reservatório e; e) balanço de emissões/remoções.

Os balanços das emissões/remoções de cada gás em cada campanha foram calculados considerando todas as rotas e expressos em ton/dia. A sedimentação permanente de carbono multiplicada por 44/12 foi descontada no balanço do gás CO₂. Médias das estimativas de cada campanha forneceram valores representativos para o conjunto das campanhas.

Foram calculados (tabela I): a) os balanços por gás e por UHE, expressos em termos de toneladas de CO₂ equivalente por dia e; b) os valores de intensidade de emissões, considerando-se a energia produzida pelas usinas (tCO₂eq/kWh).

Tabela I. Balanços e Intensidade de GEE.

UHE	Gás	Balanço por Gás (tCO ₂ e/dia)	Balanço por UHE (tCO ₂ e/dia)	Intensidade de GEE (gCO ₂ e/kWh)
Balbina	CH ₄	2.690,13		
	CO ₂	2.754,11	5.672,35	1719
	N ₂ O	228,11		
Funil	CH ₄	4,51		
	CO ₂	-7,96	6,33	2,2
	N ₂ O	9,79		
Itaipu	CH ₄	130,63		
	CO ₂	300,80	645,12	3,3
	N ₂ O	213,69		
Serra da Mesa	CH ₄	588,30		
	CO ₂	226,25	1.111,91	69,0
	N ₂ O	297,37		
Três Marias	CH ₄	171,57		
	CO ₂	242,26	521,82	91,0
	N ₂ O	107,99		
Tucuruí	CH ₄	1.268,70		
	CO ₂	3.167,56	4.839,43	48,7
	N ₂ O	403,17		
Xingó	CH ₄	21,41		
	CO ₂	-59,05	-27,82	-0,54
	N ₂ O	9,83		

Observa-se que, à exceção de Balbina, os aproveitamentos hidrelétricos apresentam valores de intensidade de GEE muito inferiores à geração termelétrica nos três cenários apresentados. Os altos valores de intensidade de Balbina devem-se às suas características específicas, sobretudo no que se refere à relação área alagada e potência instalada desfavorável, aliada às altas emissões de metano por degassing, que não aparecem em nenhum outro aproveitamento estudado. Por outro lado, para o aproveitamento de Xingó, o balanço de emissões e remoções de GEE foi negativo.

A figura 2. apresenta uma comparação dos valores de intensidade (tabela I.) com valores médios de intensidade de usinas termelétricas à gás natural e a carvão mineral.

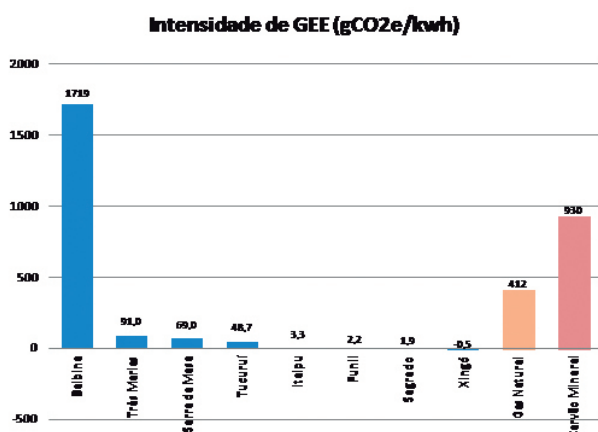


Figura 2. Intensidade de emissões de GEE das usinas.

IV. CONCLUSÕES

Os resultados do projeto BALCAR representaram um avanço no estado da arte sobre o tema, pois demonstraram que a hidroeletricidade é uma fonte de geração limpa, com baixo nível de emissões de GEE por KWh gerado.

As conclusões respondem a questões científicas e podem ser utilizadas na tomada de decisões por gestores do setor elétrico, contribuindo para o contexto das atividades de planejamento, como função de governo, pelo MME, enquanto responsável pela concepção e implementação de políticas para o Setor Energético, em consonância às diretrizes do CNPE - Conselho Nacional de Políticas Energéticas.

Os dados, apresentados e disponibilizados à ANEEL, foram publicados e concentrados em um livro final [6], disponível nas empresas cooperadas, cujo acesso também pode ser feito pelas suas páginas eletrônicas.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Periódicos:

[1] Rosa L. P. & Schaeffer, R., 1994. "Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs". *Ambio* 23 : 164-165.

[2] Ometto, J. P., Pacheco, F., S., Cimblaris, A. C. P., et al., 2012. Carbon Dynamic and Emissions in Brazilian Hydropower Reservoirs, chapter 5 in *Energy Resources: Development, Distribution and Exploitation*, Nova Science Publishers, Inc.

[3] Sikar, E., Matvienko, B., Santos, M. A., et al., 2009. "Tropical reservoirs are bigger carbon sinks than soils". *Verh. Internat. Ve-rein.* 2009, vol. 30, Part 6, p. 838–840, Stuttgart.

Livros:

[4] BRASIL, Ministério de Minas e Energia, 2012. "Revisão Bibliográfica. Estado da arte em Ciclo do Carbono em reservatórios", ISBN:978-85-85996-20-8, Rio de Janeiro, Dezembro 2012.

[5] BRASIL, Ministério de Minas e Energia, 2012. "Diretrizes para Análises Quantitativas de Emissões Líquidas de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios". Volume 1 – Programas de medição e Análise de Dados". ISBN:978-85-85996-21-5, Rio de Janeiro, Dezembro 2012.

[6] Disponível em: <http://www.cepel.br/data/pages/balcar/index.html>.

Relatórios Técnicos:

[7] IPCC, 2010. Revisiting the Use of Managed Land as a Proxy for Estimating National Anthropogenic Emissions and Removals, eds: Eggleston H.S., Srivastava N., Tanabe K., Baasansuren J. Meeting Report, 5 -7 May, 2009, INPE, São José dos Campos, Brazil, Pub. IGES, Japan

[8] UNFCCC/CNNUCC, 2006. EB 23 Report, Annex 5 Thresholds and Criteria For The Eligibility of Hydroelectric Power Plants With Reservoirs As CDM Project Activities. Executive Board of the Clean Development Mechanism, Twenty-Third Meeting.

Avaliação do impacto de veículos elétricos no sistema de distribuição

João P. N. Silva(3), Marcelo A. Pelegrini(1), Franz H. P. Zamora(1), Gabriel A. Quiroga(1),
Henrique Kagan(1), Daniel E. Carvalho(2), Paulo R. Feldmann(2), Lucca Zamboni(3),
Carlos Alberto M. Gonçalves(4), Marco A. P. Fredes(4) e José A. B. Grimoni(5)

Resumo – O crescente uso de veículos elétricos deve causar grandes mudanças no mercado automobilístico e nas empresas de energia, o que pode causar impactos significativos no consumo de energia elétrica para o reabastecimento dos mesmos. Assim, este artigo apresenta a metodologia desenvolvida para análise do impacto causado às redes de distribuição devido ao carregamento de veículos elétricos. O impacto nas redes de distribuição é proveniente das cargas da rede, representadas por curvas de carga próprias e típicas e modelos teóricos de curvas de carregamento de baterias. Os impactos na rede consideram cenários de penetração para o período de 2012 a 2020 e são determinados pelo diagnóstico dos elementos da rede, pelo monitoramento do carregamento dos alimentadores, das redes secundárias e dos transformadores de distribuição, bem como pela análise dos perfis de tensão e das perdas. A metodologia possibilitou a implementação computacional de plataforma de simulação para prova de conceito.

Palavras-chave – Geração Distribuída, Sistema de Distribuição, Veículos Elétricos

Avaliação dos possíveis cenários, experimentação e mensuração dos impactos dos veículos elétricos nos Sistemas de distribuição da Bandeirante e da Escelsa PD-0391-0010/2011; Eficiência energética; EDP Bandeirante, Espírito Santo Centrais Elétricas S.A ; Sinapsis Inovação em Energia, Fundação Instituto de Administração – FIA, Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia; Investimento: R\$ 2.094.228,50.

1 Sinapsis Inovação em Energia (e-mails: marcelo.pelegrini@sinapsisenergia.com; franz.zamora@sinapsisenergia.com; gabriel.quiroga@sinapsisenergia.com; henrique.kagan@sinapsisenergia.com).

2 Fundação Instituto de Administração – FIA (e-mail: danielc@fia.com.br; feldmann@usp.br).

3 EDP Bandeirante (e-mail: joao.niggli@edpbr.com.br; lucca.zamboni@edpbr.com.br).

4 Espírito Santo Centrais Elétricas S.A (e-mail: carlos.goncalves@edpbr.com.br; marco.fredes@edpbr.com.br).

5 Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia (e-mail: aquiles@iee.usp.br).

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia dos veículos elétricos (VEs) é de extrema importância na redução das emissões de gases do efeito estufa e da dependência do petróleo para a mobilidade urbana. Contudo, a difusão massiva de VEs na frota de veículos particulares acarretará a elevação do consumo de energia elétrica para fins de carregamento das baterias destes au-tomóveis [1]. Isto introduzirá novos padrões de demanda nos níveis de distribuição, os quais podem causar efeitos adversos para as condições de funcionamento da rede, como variações de tensão, elevação da carga térmica dos circuitos e aumento das perdas. Em um futuro próximo, esta mudança no paradigma da mobilidade elétrica influenciará nas decisões de planejamento e operação do sistema elétrico. Por conta disso, faz-se necessária uma metodologia para avaliação dos impactos proporcionados pela penetração generalizada desta tecnologia, bem como ferramentas computacionais para auxílio ao gerenciamento de rede.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A metodologia desenvolvida teve como objetivo a avaliação do impacto nas redes de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP Escelsa. Para que esta análise fosse realizada de forma coerente com a realidade das concessionárias, foram utilizados dados das redes de distribuição, taxas de crescimento de mercado, cenários de penetração e dados de

veículos elétricos e baterias. Ademais, foram desenvolvidos algoritmos determinísticos e probabilísticos para a alocação dos veículos elétricos. A análise contou também com diferentes formas de carregamento dos VEs, concernentes ao comportamento dos consumidores, e alocação espacial de eletropostos.

A. Dados das Redes de Distribuição

Para a avaliação do impacto de veículos elétricos no sistema de distribuição foram modelados: suprimentos em subestações AT, linhas de subtransmissão AT (138 kV, 88 kV), transformadores das subestações AT/MT (138/13,8 kV; 88/13,8 kV), alimentadores de distribuição MT (13,8 kV), transformadores de distribuição MT/BT (13,8/0,220 kV), rede secundária BT (240 V, 120 V, 220 V, 127, V), consumidores MT e consumidores BT (através de curvas típicas [4] ou próprias).

B. Curvas de demanda típicas e próprias

Faz parte da metodologia o uso de curvas típicas de demanda para representação das cargas da rede. Estas caracterizam hábitos de consumo das classes de consumidores, agrupados por níveis de consumo e setor de atividade. As mesmas estão disponíveis a consumidores conectados a redes SDBT, enquanto as curvas de demanda próprias estão disponíveis para consumidores conectados a rede SDMT.

C. Taxas de crescimento de mercado

Representam a modelagem do crescimento do mercado de energia no horizonte de planejamento e são obtidas através de técnicas de projeção, as quais consideram séries temporais relacionadas ao número de consumidores.

D. Dados de Veículos e Baterias

Para a modelagem das curvas de carga das baterias foram utilizadas primeiramente curvas teóricas [6], [2], validadas ou modificadas conforme medições obtidas em campo, em eletropostos instalados no Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP – IEE. Os eletropostos instalados são apresentados na figura 1.



Figura 1. Eletropostos instalados no IEE

E. Cenários de Penetração (2010 – 2020)

Foram elaborados quatro cenários prospectivos para a análise do papel do veículo elétrico no Brasil. Os cenários incluem as ações e principais atores, além da probabilidade estimada de eventos incertos, de tal forma a representar as mudanças de percurso de forma coerente à realidade. As taxas de penetração dos veículos elétricos na frota foram calculadas a partir do modelo de difusão de Bass, utilizando-se modelo de sucateamento, e técnica de pesquisa Delphi, e variam de acordo com cada cenário.

F. Algoritmos de Alocação de VEs

São utilizados algoritmos determinísticos e probabilísticos para a alocação da carga relacionada aos VEs penetrantes. A abordagem determinística aloca os VEs conforme as taxas de penetração consideradas e de forma a forçar perdas e quedas de tensão maiores. A abordagem probabilística também aloca os VEs segundo as taxas de penetração consideradas, contudo, os mesmos são alocados aleatoriamente na rede, segundo uma probabilidade associada a cada consumidor.

G. Tipos de Carregamento na Rede

A metodologia desenvolvida conta com três formas de carregamento de veículos elétricos distintas, as quais podem ser descritas como carregamento descontrolado [3], carregamento considerando-se uma tarifa dual [5] e o carregamento inteligente [3]. O carregamento descontrolado possui predominância de conexão nos horários de ponta, os quais inspiram cuidados com a capacidade disponível nos alimentadores e transformadores SDMT/SDBT. O carregamento considerando uma tarifa dual é ditado pela oferta de uma tarifa diferenciada ao consumidor, definindo uma mudança nos hábitos de uso do sistema de distribuição. Finalmente, o carregamento inteligente [3] foi desenvolvido visando o melhor uso e controle possível da rede de distribuição, para que as cargas adicionais de VEs impactassem o mínimo possível o carregamento da rede.

H. Eletropostos

Para representar a realidade das possibilidades de carregamento de VEs, a metodologia contempla a alocação espacial de eletropostos. Para tanto, são utilizadas técnicas de agrupamento para distribuição de eletropostos públicos de carga lenta, rápida e mistos. Sua alocação é realizada de forma determinística, considerando a demanda de cada agrupamento.

I. Avaliação do Impacto na Rede

A metodologia para avaliação do impacto na rede prevê a execução de fluxos de potência para os 24 patamares da curva de carga diária. Assim, são determinados: carregamento, perfil de tensão, desequilíbrio de tensão e perdas. O impacto nas redes de distribuição é determinado através do diagnóstico dos elementos de rede e o acompanhamento sistemático do carregamento nos alimentadores, transformadores de distribuição e redes secundárias, além de verificar os valores do perfil de tensão e perdas. Ademais, é possível obter as curvas de carga agregadas em pontos chave da rede elétrica e a realização de uma análise do impacto para um horizonte de previsão desejado.

J. Plataforma de Simulação e Análise

A plataforma de simulação utilizada para a aplicação da metodologia foi a SINAPgrid, a qual se caracteriza por disponibilizar uma série de funções para análise de rede, permitindo também o desenvolvimento e inclusão de módulos novos. Dentre as principais características da plataforma de simulação para apoio à avaliação do impacto na rede ante a presença de VEs, têm-se:

1. representação integrada de todos os níveis de tensão da rede de distribuição (alta, média e baixa);
2. editor de rede amigável que permite a representação de todos os componentes da rede, por meio de diagramas esquemáticos ou por meio de diagramas georreferenciados;
3. módulos de cálculo de fluxo de potência, para redes balanceadas ou desbalanceadas, capazes de resolver redes em malha por diversos métodos (Gauss, Newton-Raphson);
4. algoritmos Determinísticos e Probabilísticos de alocação de VEs;
5. algoritmos para avaliar a conexão descontrolada, uso da tarifa dual e controle inteligente;
6. algoritmos para avaliação do carregamento, perfil de tensão, desequilíbrio de tensão e perdas, seguindo as recomendações do PRODIST [7];
7. apresentação gráfica de relatórios que comparam os níveis de penetração de VEs e seu impacto na rede, com ênfase nos parâmetros de carregamento, perfil de tensão e perdas.

III. RESULTADOS

A. Estudo de Caso

O estudo de caso realizado como prova de conceito envolveu a inclusão de veículos elétricos em redes reais da EDP Escelsa e EDP Bandeirantes. Os dados de rede utilizados para compor as redes MT e BT correspondem aos dados georreferenciados do sistema GIS das respectivas concessionárias. O ambiente de simulação é constituído pela rede de distribuição VVE (Circuitos da SE Vila Velha).

A Figura 2 ilustra a penetração de veículos elétricos prevista pelos cenários FIA 2020 em comparação com o limite suportado pela rede, obtido através das simulações de estresse para a mesma rede VVE.

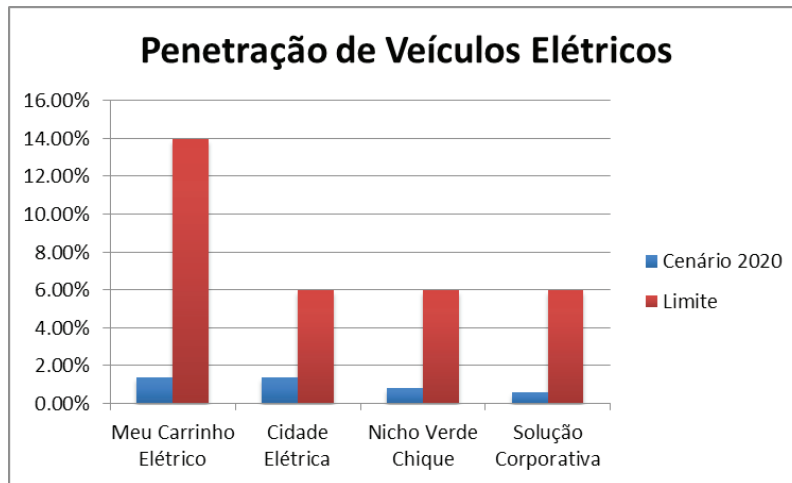


Figura 2. Penetração de veículos elétricos: Prevista pelos cenários FIA 2020 e limite suportado pela rede.

Para ilustrar os limites de penetração para a alocação de VEs considerando as três formas de controle de carregamento (desordenado, tarifa dual e inteligente), são apresentados na Figura 3 os limites suportados pela rede VVE, para o cenário de penetração Cidade Elétrica.

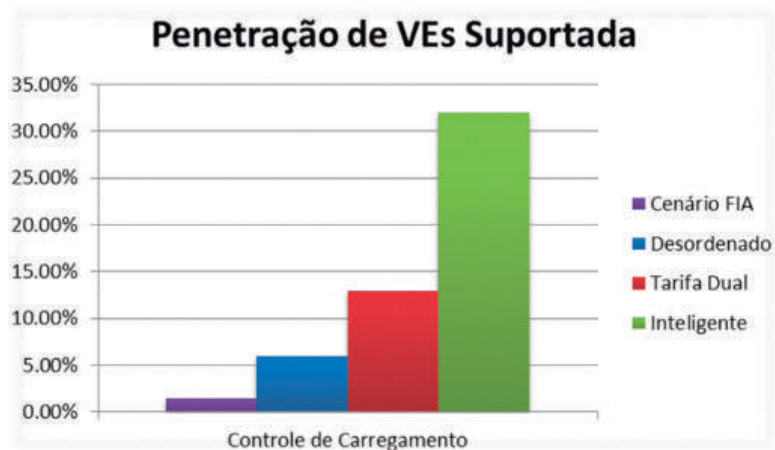


Figura 3. Limites suportados pela rede dado os três diferentes tipos de controle de carregamento

Para que se possa observar melhor o impacto da alocação dos veículos elétricos na rede de distribuição, são destacados os trechos e barras do sistema que violam os limites de carregamento e variação de tensão, precários (amarelo) e críticos (vermelho) [8]. Assim, exemplos da alocação e impacto na rede são mostrados graficamente na Figura 4.



Figura 4. Rede MT - Carregamento em 2020 com VE

B. Aplicabilidade

A metodologia desenvolvida tem aplicação ampla em toda área de concessão da Bandeirante e Escelsa, dando subsídios para as empresas se prepararem para a inserção gradativa do Veículo Elétrico, inclusive com a identificação dos pontos críticos da rede. Com adaptações às realidades e características de outras distribuidoras, esta metodologia poderá ser utilizada para avaliar o impacto do Veículo Elétrico em suas respectivas redes.

IV. BENEFÍCIOS

Os benefícios provenientes deste projeto são tanto de ordem econômica, quanto de qualidade do produto. Dentre eles, pode-se destacar a postergação investimento em recondutoramento de redes de distribuição, na hipótese de carregamento inteligente versus carregamento desordenado e a redução nas compensações pagas por violações de tensão de longa duração, na hipótese de carregamento inteligente versus carregamento desordenado.

V. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou a metodologia para avaliação do impacto, em redes de distribuição, causados pela penetração de veículos elétricos. Através de simulações em redes reais foi possível avaliar o impacto nos diferentes elementos constituintes da rede elétrica: transformadores de subestações SDAT/SDMT, redes SDMT, transformadores de distribuição SDMT/SDBT e redes SDBT. Além disto, pode-se analisar o quanto e onde estes impactos ocorreram e até quais são os limites de penetração de cada rede, gerando-se relatórios importantes para o planejamento do sistema de distribuição.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Periódicos:

[1] P. Richardson, J. Taylor, D. Flynn, A. Keanne. Stochastic Analysis of The Impact of Electric Vehicles on Distribution Networks. CIRED 21st. International Conference on Electricity Distribution. Frankfurt, 6-9 June, 2011. Paper 1158.

[2] K. Qian, C. Zhou, M. Allan, Y. Yuan. Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 26, No. 2, 2011.

[3] J. A. P. Lopes, F. J. Soares, P. R. M. Almeida. Integration of Electric Vehicles in the Electric Power Systems. Proceedings of the IEEE, Vol. 99, No. 1, January 2011.

Livros:

[4] N. Kagan, C. C. B. Oliveira, E. J. Robba. Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. Editora Edgar Blucher. São Paulo. 2005.

Relatórios Técnicos:

[5] ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica. Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica. Sinal Econômico para a Baixa Tensão. Nota Técnica N° 362/2010-SER-SRD/ANEEL. Brasília 6 de Dezembro de 2010.

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

[6] J. Taylor, A. Maitra, M. Alexander, D. Brooks, M. Duvall. Evaluation of The Impact of Plug-in Electric Vehicle Loading on Distribution System Operations. Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE

Normativas:

[7] ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição. Resolução Normativa N° 465/2011.

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.

Evolução da rede convencional para uma condição pré-smart grid: implantação de medição inteligente na CELG-D

Carolina Cavalcante Milhomem (1), Sérgio Granato de Araújo (2), Getúlio Antero de Deus Júnior (2), Flávio Henrique Teles Vieira (2), Marcelo Stehling de Castro (2)

Resumo – Este trabalho aborda a concepção e a implantação de um sistema de Medição Inteligente na CELG Distribuição (CELG-D). Além da medição de consumo de energia e do corte-religa automáticos, outras funções, aderentes do conceito Smart Grid, foram desenvolvidas e aplicadas fazendo uso da Infraestrutura de Medição Avançada (IMA) implantada. Dentre outros benefícios, essas iniciativas suportaram a implantação do Centro Integrado de Medição atualmente em uso na concessionária.

Palavras-chave – Interoperabilidade; Medição de Balanço; Medição Inteligente; Smart Grid.

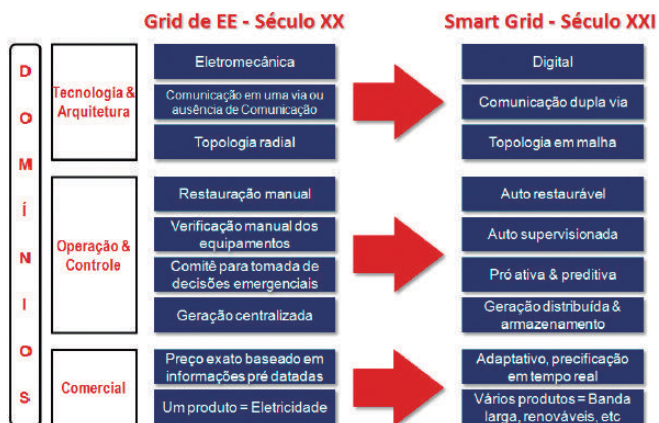
Projeto de P&D “Aplicação da Rede Inteligente (Smart Grid) na Supervisão do Fornecimento de Energia Elétrica em Média e Baixa Tensão Utilizando Diferentes Tecnologias de Comunicação”; Código ANEEL PD-6072-0253/2010; Pesquisa Aplicada: Sistema; CELG-D; UFG; Investimento: R\$ 1.448.354,91.

1 CELG-D (e-mail: carolina.cm@celg.com.br).

2 UFG (e-mail: granato@emc.ufg.br).

I. INTRODUÇÃO

Uma Smart Grid (Rede Elétrica Inteligente) compreende a automação da rede de energia elétrica através da inserção de TIC (Tecnologia de Informação e Comunicação) em toda a cadeia de um Sistema Elétrico de Potência, em especial em seu Sistema de Distribuição, provendo maior confiabilidade ao sistema, bem como a oferta de serviços de valor agregado aos consumidores. A Figura 1 apresenta aspectos de evolução da rede de energia, em diferentes domínios, proporcionados pela aplicação do conceito Smart Grid.



O projeto abordou especialmente os sistemas de Medição Inteligente (MI), um dos pilares da Smart Grid ao lado da Automação da Distribuição e da Geração Distribuída e Armazenamento. Procedeu-se a concepção e a implantação de pilotos de MI em sites da área de concessão da CELG-D.

Ao lado de funções inerentes à MI, diversas outras funcionalidades oriundas do conceito Smart Grid foram desenvolvidas e aplicadas, proporcionando inúmeros benefícios à concessionária.

II. INFRAESTRUTURA DE MEDIÇÃO AVANÇADA (IMA)

Foram implantados dois projetos piloto de MI, em localidades com características distintas, permitindo avaliar diferentes aspectos previstos em projetos de MI. Os locais de implantação foram: a cidade de Nova Veneza-GO e o condomínio Aldeia do Vale, em Goiânia-GO.

A escolha destas localidades baseou-se em discussões com os departamentos da concessionária envolvidos no projeto, bem como nos objetivos previstos no projeto de P&D. Foi implantada a solução de medição, via telemetria, para conjuntos de clientes dos Grupos B e A, de forma a verificar o comportamento desses perfis de consumidores dentro de uma solução de automação de leitura de consumo de energia e de serviços de corterelega.

A. MI em Nova Veneza.

Esse piloto consistiu na instalação de um sistema de MI envolvendo 131 unidades consumidoras (UC's) fisicamente próximas, caracterizando um ambiente de alta densidade, na cidade Nova Veneza-GO, localizada a 20 km de Goiânia. Foram alocados ao piloto dois transformadores. A medição abrangeu todas as UC's destes transformadores,

possibilitando, adicionalmente à leitura remota, realizar a medição de balanço, gerar alarme de sobrecarga e de falta de fase em transformadores. Dentre os objetivos específicos deste piloto destacam-se:

- Permitir a medição individualizada em todas as UC's do Grupo B, conectadas a dois transformadores pertencentes a circuitos alimentadores distintos;
- Realizar a medição de balanço;
- Realizar a medição nas UC's utilizando rede de comunicação em malha com tecnologia ZigBee interligando medidores a um concentrador equipado com GPRS.
- Integrar o projeto com o Sistema de Gestão Técnica (SGT) da CELG-D;
- Testar as funcionalidades de leitura de consumo em medidores monofásicos, bifásicos e trifásicos com granularidade de 5 min;
- Testar a medição centralizada (Grupo B);
- Testar tecnologias e topologias de rede de telecomunicações em suporte a sistemas de medição inteligente.

A Figura 2 mostra a arquitetura de rede do piloto de Nova Veneza.

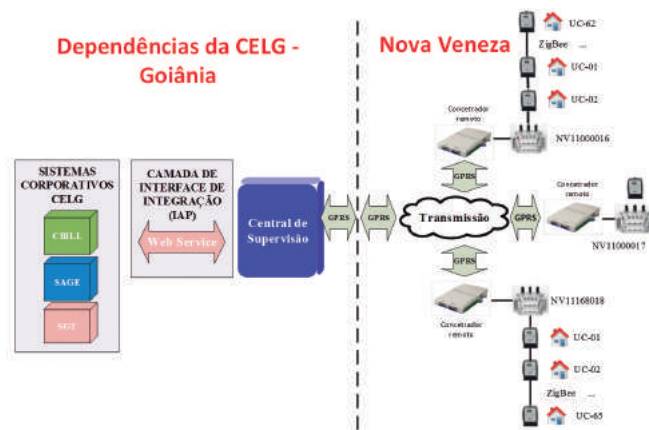


Figura 2. Arquitetura de rede de MI na cidade de Nova Veneza-GO.

As soluções de medição para clientes do Grupo B utilizadas neste piloto foram:

- Solução individualizada: rede mesh, utilizando Zigbee como meio de comunicação;
- Solução centralizada: solução Garnet, da empresa fornecedora Elster;

A Figura 3 mostra o medidor trifásico utilizado no projeto, assim como o conjunto de medição utilizado na medição de balanço.



Figura 3. Medidor Trifásico (a) e Conjunto de Medição (b).

B. MI no Condomínio Aldeia do Vale

Este piloto consistiu na instalação de dez unidades de medidores inteligentes distantes, em média, 1 km, caracterizando um ambiente de baixa densidade em UC's, no condomínio horizontal Aldeia do Vale, na cidade de Goiânia-GO, conforme mostra as Figuras 4 e 5. Dentre os principais objetivos deste piloto destacam-se:

- Permitir a medição individualizada de até dez UC's do Grupo B, situadas em transformadores de final de linha, ou com histórico de ocorrência de faltas;
- Monitorar cinco transformadores e duas chaves faca, instalada na parte interna e externa do condomínio;
- Analisar um estudo da confiabilidade de circuitos de comunicação usando a tecnologia de comunicação GPRS;
- Gerenciar o sistema de distribuição com gestão de ativos (transformadores e medidores digitais), assim como aspectos de segurança da informação;
- Integrar dados de medição com o Sistema de Gestão Técnica (SGT) da CELG-D;
- Fornecer subsídios concretos à elaboração do "Modelo de Migração" da rede da CELG-D para um cenário pré-Smart Grid.



Figura 4: Pontos de medição no condomínio Aldeia do Vale.

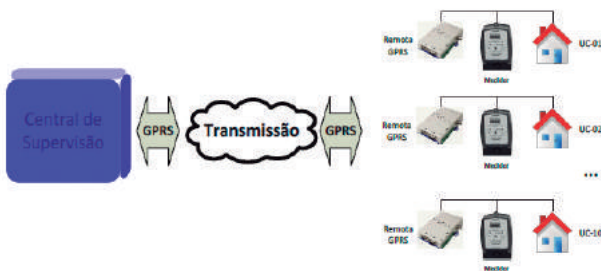


Figura 5: Arquitetura da rede de MI no condomínio Aldeia do Vale.



Figura 6: Instalação no condomínio Aldeia do Vale.

C. Medição de Balanço

Adicionalmente à medição de consumo de energia e do corte-religa, foi implementado o balanço energético dos transformadores que tiveram clientes contemplados com medidores inteligentes, através da coleta de dados dos medidores residenciais e do medidor de balanço na mesma base de tempo, e com a criação de uma interface capaz de disponibilizar um relatório individualizado por agrupamento. O cálculo do balanço energético foi realizado através de ferramentas de software via equipamentos de medição tradicionalmente utilizados para este objetivo.

D. Algoritmos Desenvolvidos

Foi proposta uma metodologia de posicionamento de concentradores GPRS em uma rede mesh ZigBee de medidores de energia elétrica com o objetivo de limitar o retardo médio da rede e assim otimizar o desempenho do serviço de comunicação. Este algoritmo determina a quantidade e a localização de concentradores utilizando Programação Linear Inteira e um Modelo de Filas para Redes Mesh. As soluções obtidas pelo algoritmo proposto foram validadas verificando o desempenho da rede através de simulações computacionais baseadas em cenários reais e dados reais de redes.

E. MI acoplada à Automação da Distribuição

Para registrar os eventos de queda de energia (tensão) foi implementada uma interface Webservice entre o MDM (Hemera da CAS) e o CBILL, de acordo com a arquitetura SOAP e o padrão XML. Os requisitos do Webservice

foram implementados e os testes foram realizados, proporcionando a automatização de Ordens de Despacho e a integração entre o Hemera (Central de Medição) e os sistemas legados CBILL e SGT-OPER da CELG-D.

III. PRINCIPAIS RESULTADOS

Os principais resultados do projeto são listados a seguir:

- Concepção e implantação do primeiro sistema de MI para o Grupo B - Nova Veneza-GO e Aldeia do Vale da CELG-D, servindo de base para a elaboração de edital e implantação de cerca de 3.000 pontos em sua área de concessão.
- Implantação de Telemedição/Telecomando em SE de Distribuição (34kV): primeira implantação de um sistema desse tipo na CELG-D;
- Primeira instalação híbrida GPRS/Satélite para telecomando de religadores instalados em Subestações (em Nova Veneza-GO);
- Integração do MDM com o CBILL da CELG-D seguindo a política de segurança da área de TI com a utilização de WebService proposto pelo padrão aberto CIM - Common Information Model;
- Desenvolvimento de firmware embarcado para coleta de dados de medidor do Grupo A utilizando tecnologia bluetooth, voltados a smartphones de baixo custo que substituíram leitoras específicas. Atualmente este sistema encontra-se implantado na CELG-D possibilitando a leitura de cerca de 10.000 UC's do Grupo A de modo automático com o envio imediato ao Centro Integrado de Medição;
- Testes no MDM para Medição de Fronteira;
- Monitoramento remoto de falta de fase em UC's do Grupo B via integração Medição Inteligente/Automação da Distribuição;
- Especificação de uma Central Compacta para o Centro de Operação (com monitores), com a disponibilização do projeto completo para a concessionária;
- Concepção e implementação completa do Portal do Consumidor via técnicas modernas de engenharia de softwa-re;
- Teste e validação de medição remota de grandes consumidores (Grupo A).

IV. CONCLUSÕES

O projeto produziu resultados de variadas matizes, considerando um sistema de Medição Inteligente (MI) aderente aos conceitos de integração sistêmica e interoperabilidade de redes, suportado pela Smart Grid, possibilitando a integração de múltiplas tecnologias e sistemas.

Os resultados e impactos advindos deste projeto foram fundamentais para as decisões estratégicas e operacionais da concessionária, algumas delas se tornando hoje uma realidade (como o Centro Integrado de Medição), e para o planejamento futuro de redes de energia elétrica suportada por sistemas inteligentes.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

[1] SILVA, T. H. V. E, DEUS JUNIOR, G. A. DE. Proposta de uma Arquitetura de Rede de Telecomunicações para Supervisão de Parte de um Sistema de Distribuição de Energia Elétrica. In: XI Congresso De Pesquisa, Ensino E Extensao, 9., 2012, Anais, Goiânia: XXI Seminário de Iniciação Científica da UFG (PIBIC), 2013. p. 4895-4909.

[2] SOUZA, G. B., et al. Optimal Positioning of GPRS Concentrators for Minimizing Node Hops in Smart Grids Considering Routing in Mesh Networks. In: IEEE Innovative Smart Grid Technologies Latin America, ISGT 2013, 2013, Sao Paulo. Anais, São Paulo: IEEE PES Power Energy Society, 2013, p. 1-7.

[3] SOUZA, G. B., VIEIRA, F. H. T. ; ARAUJO, S. G.; DEUS JUNIOR, G. A. DE, CASTRO, M. S. DE, LIMA, C. R. Optimal Positioning of GPRS Concentrators in Smart Grids Considering Routing in Mesh Networks. In: International Workshop On TelecommunicatiONS, 5., 2013, Santa Rita do Sapucaí. Anais, Santa Rita do Sapucaí: Instituto Nacional de Telecomunicações, 2013, p. 1-8.

Sistema híbrido de geração de energia elétrica modular para atendimento de regiões remotas a partir de Fontes renováveis

Luiz A. de S. Ribeiro (1), José G. de Matos (1), Osvaldo R. Saavedra (1), Shigeaki L. Lima (1), João V. M. Caracas (1), Ghilherme de C. Farias (1), Lucas de Paula A. Pinheiro (2), Júlio César Mendes (2), Roger Toledo Gissoni (2).

Resumo - Este artigo apresenta os resultados do projeto de pesquisa Sistema Elétrico Modular para Atendimento Elétrico de Regiões Remotas Através de Fontes de Energia Renováveis, realizado em parceria entre UFMA e CEMAR, tendo como objetivo pesquisar e desenvolver um modelo de fornecimento de energia elétrica em sistemas isolados, voltado para uma padronização em prol de uma economia de escala na instalação, operação e manutenção desses sistemas, aliado ao desenvolvimento de equipamentos inovadores para aplicação em sistemas isolados de forma a melhorar sua eficiência. O artigo apresentará resultados experimentais medidos em dois projetos instalados nas ilhas de Lençóis e Grande, no litoral do Maranhão.

Palavras-chave - sistemas híbridos de geração de energia, energia solar, energia eólica.

Informações sobre o Projeto de P&D: PD-0037-0020/2014 Sistema Elétrico Modular para Atendimento Elétrico de Regiões Remotas Através de Fontes de Energia Renováveis; tema FA subtema FA01; 'CEMAR; 'UFMA; 'R\$ 2.636.439,01.

1 Instituto de Energia Elétrica/ Universidade Federal do Maranhão' (e-mails: la.desouzaribeiro@ieee.org, o.saavedra@ieee.org, jose.gomes@ufma.br, shigeaki@dee.ufma.br).

2 COMPANHIA ENERGÉTICA DO MARANHÃO - CEMAR' (e-mail: lucas.pinheiro@cecar-ma.com.br, julio.mendes@cemarma.com.br, roger.gissoni@cecar-ma.com.br).

I. INTRODUÇÃO

Este projeto desenvolve um modelo de fornecimento de energia elétrica híbrido baseado em fontes renováveis de energia, voltado para atendimento a comunidades isoladas, buscando uma padronização em prol de uma economia de escala na instalação, operação e manutenção desses sistemas.

O projeto é implementado em duas comunidades localizadas em ilhas, onde a rede de distribuição não está disponível. Estas ilhas são: Ilha de Lençóis e Ilha Grande, nos municípios de Cururupe e Humberto de Campos, respectivamente. O projeto é desenvolvido com recursos do Programa de P&D ANEEL, Programa Luz para Todos (Ministério de Minas e Energia) e recursos do CNPq, tendo como executores a CEMAR e Universidade Federal do Maranhão, através do Instituto de Energia Elétrica.

II. MÉTODO

Para o fornecimento de energia elétrica na Ilha de Lençóis, foi implantado um sistema híbrido composto de geradores eólicos, painéis fotovoltaicos e um gerador a diesel. O sistema é composto por 3 turbinas eólicas de 7.5 kW (ver Figura 4), montadas em torres de 30 metros cada e por 162 módulos fotovoltaicos de 130 Wp, formando um gerador fotovoltaico de 21 kWp. Além disso, há um banco de baterias estacionárias ventiladas tipo chumbo-ácido, com 240 elementos de 2 Vcc e 600 Ah cada e um gerador a diesel de backup de 53 kVA. A tensão nominal do banco de baterias é 240 Vcc. O sistema de inversão de tensão é formado por dois inversores de 30 kVA cada, desenvolvidos especialmente para o projeto, com tecnologia nacional. A energia fornecida à comunidade é em tensão de 380 Vca entre fases e 220 Vca de fase para neutro, na frequência de 60 Hz. A Figura 1 mostra o diagrama unifilar do sistema de geração da Ilha de Lençóis.

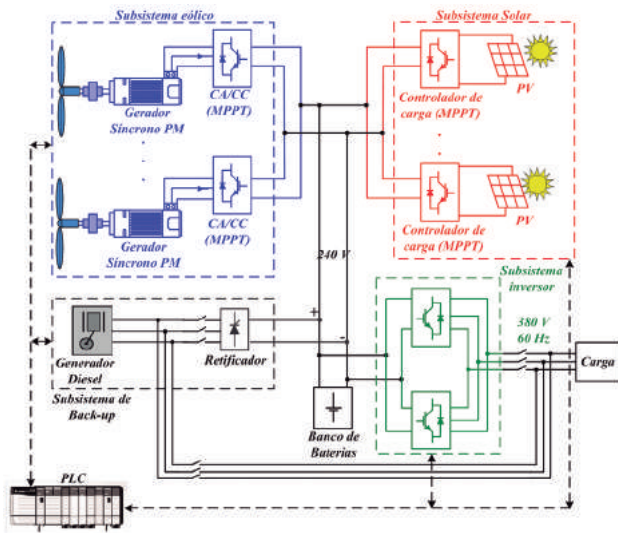


Figura 1. Diagrama de blocos do sistema da Ilha de Lençóis

Na Ilha Grande as fontes de potência são apenas o gerador fotovoltaico e o gerador a diesel. O gerador fotovoltaico é composto por 126 módulos de 245 Wp cada, totalizando 31 kWp. O banco de baterias estacionárias ventiladas do tipo chumbo-ácido é formado por 120 elementos de 2 Vcc e 1200 Ah cada e o gerador a diesel de backup tem potência nominal de 53 kVA. A tensão terminal do banco de baterias é de 120 Vcc. O sistema de inversão também é formado por dois inversores de 30 kVA cada, desenvolvidos especialmente para o projeto e também com tecnologia nacional. A energia fornecida à comunidade, como na Ilha de Lençóis, também é em 380 Vca entre fases e 220 Vca de fase para neutro, na frequência de 60 Hz, mantendo o padrão das redes de distribuição secundárias de energia da concessionária local (CEMAR).

O projeto teve como objetivos identificar os processos e/ou dispositivos críticos na etapa de geração, processamento e distribuição da energia em sistemas isolados; otimizar os processos de conversão de energia observando redução de custos e eficiência (elaboração de protótipos). Através do projeto, são conduzidos diversos outros estudos em paralelo, como o desenvolvimento de baterias e inversores específicos para aplicação nestas ilhas, em parceria com fabricantes nacionais.

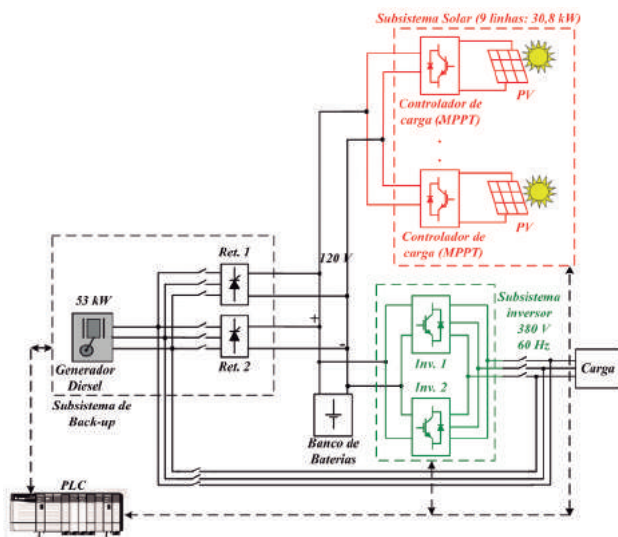


Figura 2. Diagrama de blocos do sistema da Ilha Grande

Os produtos que garantem a originalidade técnica do projeto são os conversores para os geradores fotovoltaicos e para as turbinas eólicas, com algoritmos de busca do máximo ponto de geração de potência desses geradores, os quais estão melhorando bastante o desempenho energético desses sistemas. Um protótipo de Conversor Bidirecional também foi desenvolvido e testado em laboratório.

Dentre as melhorias nas estratégias de operação dos sistemas, tem-se a adoção de estratégias de controle do grupo gerador a diesel, visando a redução do consumo de diesel, com consequente maximização do aproveitamento da energia disponível nas fontes renováveis, ou seja, a minimização da energia vertida ou "jogada fora". Esse gerador, no caso de estiagem de sol e/ou vento, funciona como fonte de backup para manter o suprimento de energia aos consumidores e também como fonte para carregamento do banco de baterias, garantindo, assim, a manutenção do tempo de vida útil das mesmas.

Anteriormente, utilizava-se uma estratégia de carregamento, onde toda vez que o grupo gerador diesel era ligado o mesmo trabalhava com potência suficiente para fornecer energia aos consumidores e também carregar o banco de baterias, até que este atingisse o estado de carga completo, ou seja, 100%. Quando isso era feito no horário noturno, o banco de baterias já poderia amanhecer carregado, de modo que durante o dia o excesso de energia que poderia ser produzida, por exemplo, pelo gerador fotovoltaico, não teria onde ser armazenada, sendo, portanto, desperdiçada (vertida/jogada fora). De acordo com a estratégia desenvolvida, o gerador ao ser acionado no horário noturno somente funciona até o instante em que a quantidade de energia suprida ao banco de baterias se iguala a energia estimada para suprir os consumidores até a manhã do dia seguinte, quando se espera que haja energia gerada a partir das fontes renováveis em quantidade suficiente para suprir à carga/consumidores e ainda carregar o banco de baterias. Tem sido observado que essa estratégia vem reduzindo o consumo de óleo diesel e também reduzindo a energia vertida, principalmente, pelo gerador fotovoltaico. Para garantir a integridade do banco de baterias, evitando a sulfatação das placas dos elementos devido à carga incompleta, periodicamente o gerador é ligado, independentemente da disponibilidade ou não das fontes renováveis, para dar uma carga completa no banco de baterias. Segundo orientação do fabricante das baterias, esse procedimento tem sido feito com periodicidade de 8 dias.



Figura 3. Localização das Ilhas (à esquerda) e painéis em Ilha Grande (à direita).



Figura 4. Turbinas eólicas em Ilha de Lençóis.

III. RESULTADOS

Ambos os sistemas híbridos da Ilha de Lençóis e Ilha Grande mudaram as vidas de suas comunidades, com fornecimento de energia elétrica 24 horas por dia. A população passou a ter acesso a novas tecnologias que melhoraram sua qualidade de vida. Isto implicou inevitavelmente no desenvolvimento da comunidade, com aumento constante da demanda por energia e consequente necessidade de melhorias na eficiência do sistema de geração. Somando ambas as ilhas, perto de 540 pessoas foram atendidas com as usinas, que vivem da pesca e comércio.

A energia possibilitou aos pescadores armazenarem maiores quantidades de peixe com a refrigeração e uma nova gama de serviços se inseriu no mercado local de ambas as comunidades. Mais informação chegou junto com as televisões, que estão agora presentes em quase todas as casas.

Este projeto, através de novas técnicas de operação e desenvolvimento de novas tecnologias com parceiros industriais, desenvolve um modelo de atendimento a regiões isoladas, diminuindo ao máximo a necessidade de combustível fóssil, baseando-se em energia renovável. Os resultados são animadores e servem de base para novos planejamentos de atendimento a novas comunidades isoladas.

Desde a finalização dos sistemas em agosto de 2016 e entrega às comunidades, o uso dos geradores diesel foi reduzido de 200 horas por mês em ambas as ilhas, com fornecimento parcial de energia, para 12 horas por mês em Ilha Grande e 18 horas de uso do gerador por mês na Ilha de Lençóis, com fornecimento de energia 24 horas por dia em ambas as ilhas.

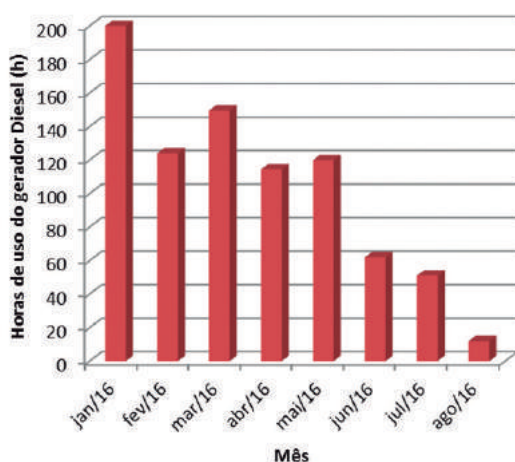


Figura 5. Quantidade de horas de uso do gerador Diesel por mês em Ilha de Lençóis.

O investimento vindo dos recursos do programa de P&D ANEEL somam 2,3 milhões de reais compreendendo as bolsas dos pesquisadores, desenvolvimento dos equipamentos inovadores e serviços de instalação e montagem para ambas as ilhas. O projeto recebeu ainda perto de 2,5 milhões de reais do CNPq, MME e Programa Luz para Todos para construção das usinas de Ilha de Lençóis e Ilha Grande, custeando gastos como obras civis, placas fotovoltaicas e turbinas eólicas.

O modelo desenvolvido que apresenta melhor relação custo benefício foi o modelo de Ilha Grande, com painéis fotovoltaicos e gerador diesel. A diferença de custo entre instalar um sistema apenas com gerador, e o sistema híbrido solar é de aproximadamente 700 mil reais. Considerando um consumo de 12 litros por hora e o preço do óleo diesel a R\$ 3,00, tinha-se um gasto de R\$ 7.200 mensais com consumo de óleo no sistema que possuía apenas o gerador. No sistema híbrido solar, o custo com óleo chega ao máximo no patamar de R\$ 684,00 mensais, gerando uma economia de R\$ 6.516,00 por mês, comparando ambos os modelos. Esta economia mensal retorna o investimento com a tecnologia fotovoltaica (placas, baterias, inversores e controladores) em 9 anos.

Este retorno mostra que já é viável a implementação destes sistemas com fontes renováveis em regiões isoladas, que em outras situações dependeriam de geradores a diesel. Esta tendência aumentará a cada dia, conforme os equipamentos se desenvolvam e atinjam patamares de robustez e durabilidade maiores, através de pesquisas e projetos como este.

IV. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio da ANEEL, Ministério de Minas e Energia, CP Eletrônica S.A., Baterias Moura, Eletrobrás e CNPq.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Gupta, R. P. Saini, and M. P. Sharma, "Modelling of hybrid energy system-Part II: Combined dispatch strategies and solution algorithm," *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 466-473, 2011.
- [2] S. M. Shaahid and I. El-Amin, "Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for rural electrification in Saudi Arabia—A way forward for sustainable development," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, pp. 625-633, 2009.
- [3] G. Boyle, *Renewable energy: power for a sustainable future*: Oxford, 2004.
- [4] L. A. de Souza Ribeiro, O. R. Saavedra, S. L. de Lima, and J. Gomes de Matos, "Isolated Micro-Grids With Renewable Hybrid Generation: The Case of Lençóis Island," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 2, pp. 1-11, 2011.

Gestão ambiental apoiada por sistemas de informação

Claudio de S. Baptista (1), Roberta F. de C. Paes (2), Brigida Duarte (2)

Resumo – Este projeto foi planejado e executado de modo a desenvolver tecnologias computacionais inovadoras para suporte a processos de gestão ambiental em empresas do setor elétrico, em particular a CHESF, permitindo uma melhor efetividade na execução e acompanhamento desses processos. Os macroprocessos principais modelados e implementados neste projeto são: Plano de Ações Socioambientais; Gerenciamento de Bordas de Reservatórios e de Faixas de Servidão de Linhas de Transmissão e Gerenciamento de Licenciamento Ambiental.

Palavras-chave – geoprocessamento, gestão ambiental, licenciamento ambiental.

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Nº ANEEL 0048-1119/2012; Sistema de Gestão Ambiental com Suporte a Dados Geoespaciais, Multimídia e Dispositivos Móveis'; Tema da Pesquisa: Meio Ambiente; Subtema: Metodologias para mensuração econômico-financeira de externalidades em sistemas de energia elétrica; Entidades: CHESF; PAQTCPB, UFCG, UFMA; Valor: R\$ 1.235.616,69'.

1 'UFCG' (e-mails: cdsbaptista@gmail.com).

2 'CHESF' (e-mail: rfcpaes@chesf.gov.br; bduarte@chesf.gov.br).

I. INTRODUÇÃO

A questão socioambiental vem ganhando um espaço cada vez maior nas empresas do setor elétrico, seja pela responsabilidade socioambiental na busca da sustentabilidade, seja pelas novas e crescentes exigências dos órgãos ambientais licenciadores.

Nesse sentido, o principal objetivo desta pesquisa foi desenvolver sistemas de gestão ambiental que fizessem uso de tecnologias modernas como uso de plataformas móveis, dados multimídia, redes sociais, geoprocessamento e sensoriamento remoto, visando auxiliar a empresa a atingir a almejada responsabilidade socioambiental, através de uma gestão integrada do meio ambiente na empresa com foco nas ações socioambientais, gestão do licenciamento ambiental, fiscalização do uso e ocupação de bordas de reservatórios e faixas de servidão de linhas de transmissão.

Os sistemas desenvolvidos foram: Sistema de Gestão de Licenciamento Ambiental (SISLIC), Sistema de Monitoramento de Bordas de Reservatórios (SISBORDAS), Sistema de Informação para Gestão de Faixas de Servidão

de Linhas de Transmissão (SISFAIXAS), Sistema de Gestão de Documentos Multimídia (SISDOC) e Sistema de Informação do Plano de Ação Socioambiental (SIPAS).

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O produto principal deste projeto é um conjunto de novos métodos e processos para: gestão de licenças ambientais; monitoramento e fiscalização de bordas de reservatórios; monitoramento e fiscalização de faixas de servidão de linhas de transmissão; organização e acompanhamento de ações socioambientais da empresa; e gestão de documentos multimídia na área de meio ambiente.

Estes novos processos foram modelados e implantados com suporte de sistemas de informação. Sistemas esses desenvolvidos como aplicações inovadoras em tecnologia computacional para a manipulação de dados distribuídos multimídia georreferenciados com uso de dispositivos móveis, anotação contextual de fotografias e uso efetivo de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. A seguir, uma breve descrição de cada um desses sistemas desenvolvidos.

A. Software SISLIC – Sistema de Gestão de Licenciamento Ambiental

Implementa os processos de gestão de licenciamento ambiental desenvolvidos no projeto e agrega funcionalidades de gestão ambiental, incluindo licenças ambientais de empreendimentos novos e vigentes, bem como gestão de processos administrativos, trazendo uma visão sistêmica inovadora das variáveis de controle de licenças ambientais, melhorando a gestão ambiental no âmbito da empresa e seus relacionamentos com os órgãos ambientais estaduais e nacionais. A Figura 1 mostra a tela inicial do SISLIC.

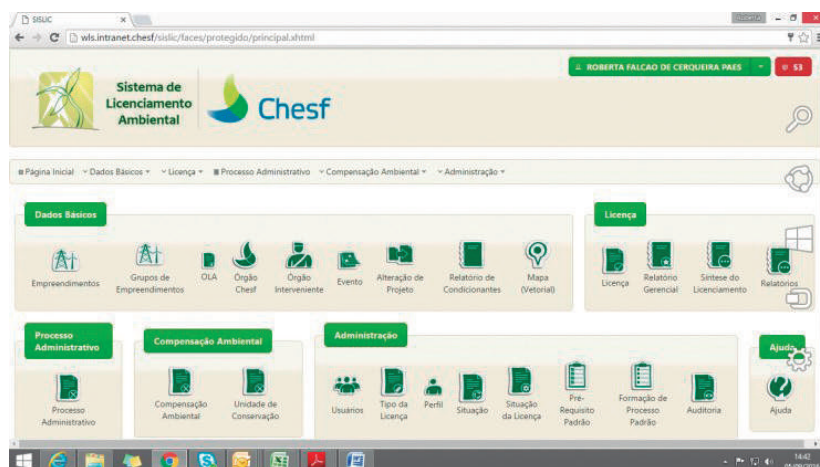


Figura 1. SISLIC – Tela inicial.

B. Software SISBordas – Sistema de Monitoramento de Bordas de Reservatórios

Implementa os processos de monitoramento e gestão de bordas de reservatórios, agregando funcionalidades inovadoras, com uso de computação móvel, geoprocessamento e sensoriamento remoto.

O novo método empregado permite uma maior eficácia na coleta e fiscalização de dados em campo, através do uso de tablet, com suporte a geoprocessamento e dados multimídia. Foram desenvolvidos algoritmos inovadores para detecção de uso do solo em bordas de reservatórios através de imagens satélite de alta resolução e dados LIDAR.

Um das funções do SISBORDAS é a detecção automática de uso irregular do solo. Esta detecção é realizada a partir de Processamento Digital de Imagens de Satélite, imagens essas de tempos distintos e que serão enviadas para o sistema. Com isso, é possível observar uma invasão, conforme mostra a Figura 2.

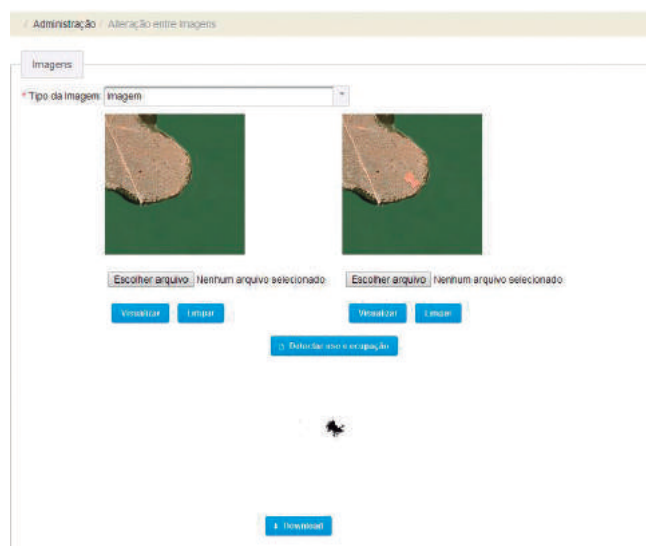


Figura 2. SISBORDAS – Módulo de detecção automática de uso irregular do solo.

C. Software SISFaixas – Sistema de Monitoramento de Faixas de Servidão de Linhas de Transmissão

Implementa os processos de monitoramento de gestão de Faixa de Servidão de Linhas de Transmissão, agregando funcionalidades inovadoras, com uso de computação móvel, geoprocessamento e sensoriamento remoto. O novo método empregado permite uma maior eficácia na coleta e fiscalização de dados em campo, através do uso de tablet, com suporte a geoprocessamento e dados multimídia. Foram desenvolvidos algoritmos inovadores para detecção de uso do solo

em faixas de servidão através de imagens satélite de alta resolução e dados LIDAR. A Figura 3 mostra uma janela informativa sobre uma vistoria realizada em linha de transmissão.



Figura 3. SISFAIXAS - Janela informativa sobre uma vistoria realizada em linha de transmissão.

D. Software SIPAS – Sistema de Informação do Plano de Ação Socioambiental

O SIPAS foi desenvolvido para dar suporte ao Plano de Ação Socioambiental, tipo de programa de educação ambiental desenvolvido nas comunidades das margens dos reservatórios destinados, entre outros usos, à geração de energia elétrica. O SIPAS foi planejado de forma a armazenar registros que possibilitem a realização do diagnóstico socioambiental da região atendida pelo PAS. A emissão de relatórios no SIPAS, realizada inclusive através de mapas, é de muita importância para CHESF, uma vez que oferece de forma facilitada informações para suporte ao processo de tomada de decisões. Além do mais, os relatórios gerados são utilizados para encaminhar dados estatísticos aos diversos órgãos de licenciamento ambiental, a exemplo do relatório de participantes capacitados por projetos apoiados pela CHESF e de comunidades cadastradas que são contempladas pelo PAS. A Figura 4 mostra o menu principal do SIPAS.



Figura 4. Menu principal do SIPAS.

E. Software SISDoc – Sistema de Gestão de Documentos Multimídia

Implementa os processos de gestão de documentos multimídia gerados pelos outros sistemas. O novo método permite o reconhecimento óptico de caracteres, a indexação pelo conteúdo, extração de metadados, anotação com valores de atributos criados por um esquema dinâmico, tratamento de imagem, destaque de termos encontrados em documentos, filtro de tempo e conversão para formatos padrões. Este método permite melhorar a eficiência

na gestão de documentos, economizando recursos do sistema computacional (hardware, software e peopleware) adotados para gerenciamento de documentos multimídia.

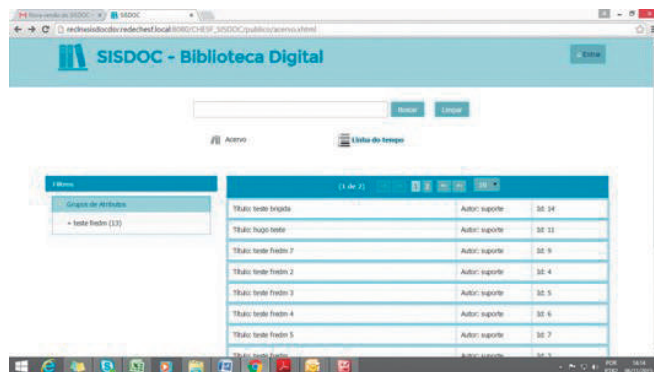


Figura 5. Menu principal do SISDOC.

III. CONCLUSÕES

O resultado final do projeto foi bastante positivo, uma vez que o objetivo de implantar processos inovadores na gestão de meio ambiente, utilizando-se de plataformas móveis, geoprocessamento e dados multimídia foi alcançado. Os produtos finais deste projeto, derivados das metodologias desenvolvidas, são: sistemas de informação no âmbito da gestão de licenciamento ambiental, gestão de bordas de reservatórios e faixas de servidão de linhas de transmissão; gestão de planos de ações socioambientais; e gestão de documentos multimídia relacionados ao meio ambiente.

Os processos modelados e respectivos sistemas desenvolvidos neste projeto de P&D+I, devido a elevado êxito, tiveram elevado potencial de implantação imediata na CHESF, inovando de forma imediata alguns dos processos, como o de licenciamento ambiental e gestão de documentos multimídia. Softwares já estão efetivamente sendo utilizados.

O uso destes processos implantados nos diversos sistemas de informação desenvolvidos permitirá uma gestão mais eficiente e eficaz de ações do meio ambiente da companhia.

Os produtos desenvolvidos podem ser aplicados em outras empresas do setor elétrico. Deste modo, ressalva-se que tais sistemas de informação constituem ativos intangíveis da Companhia. Como tal, serão passíveis de proteção intelectual, com possibilidade de comercialização por via de licenciamento futuro.

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BRONDIZIO E., MORAN, E. F., MAUSEL P., WU Y.: Land Use Change in the Amazon Estuary: Patterns of Caboclo Settlement and Landscape Management, Human Ecology, vol. 22, no. 3, pp. 249-278, 1994.

- [2] COPPIN, P., JONCKHEERE I., NACKAERTS K., MUYS B., LAMBIN E.: Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 09, no 05, pp. 1565-1596, 2004.
- [3] LIMA, D. F. B.; ECKHARDT, R. R.; DIEDRICH, L.; REMPEL, C.; AREND, U.; O uso do Geoprocessamento no diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Taguari/RS. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Natal, RN, Brasil, 2013.
- [4] MASCARENHAS, L.M.A. et al. Sensoriamento Remoto como Instrumento de Controle e Proteção Ambiental: Análise da Cobertura Vegetal Remanescente na Bacia do Rio Araguaia. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 5-18, abril de 2009. Último acesso: 08/04/2015.
- [5] MOUAT, D. A., MAHIN, G. G., LANCASTER, J.: Remote sensing techniques in the analysis of change detection, *Geocarto International*, vol. 8, no. 2, pp. 39-50 (1993).
- [6] PAIVA, A. C. ; FIGUEIREDO, L. C. ; CAMPELO, C. E. C. ; ROCHA, J. H.; Figueirêdo, Hugo Feitosa ; BAPTISTA, C. S. . Management of Large Hydroelectric Reservoirs Surrounding Ar-eas Using GIS and Remote Sensing. *Proceedings of the 4th International Conference, EGOVIS 2015, Valencia, Spain, September 1-3, 2015, Electronic Government and the Information Systems Perspective, Lecture Notes in Computer Science*, v. 9265, p. 257-268, 2015. ISBN 978-3-319-22389-6
- [7] SANTANA, J. V. ; FIGUEIREDO, H. F. ; BAPTISTA, C. S. ; PAES, R. F. C. ; Pinto, M. ; DUARTE, B. . SISLIC: Um método para gerenciamento do processo de licenciamento ambiental. In: VI WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS - WCAMA, 2015, Recife. *Anais do XXXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, 2015.



AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

SGAN - Quadra 603 - Módulos "I" e "J"
Brasília - DF - 70830-110
TEL. 55 (61) 2192 8600 Ouvidoria Setorial: 167



aneelgovbr



aneel_noticias



www.aneel.gov.br



aneel