

Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL

**R&D**

Nº 5. agosto de 2013 - ISSN 1981-9803

## RECURSOS DIGITAIS IMPULSIONAM PROJETOS

### Nesta Edição

- Veja 30 produtos inovadores em teste no setor elétrico brasileiro
- A avaliação das associações de agentes sobre a importância da pesquisa
- Chamadas de P&D Estratégico e amadurecimento do programa provocam guinada nos investimentos



# Editorial

Em mais uma edição da **Revista Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)**, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) manifesta seu compromisso com o desenvolvimento tecnológico e a inovação no setor de energia elétrica. Responsável pela regulamentação dos investimentos compulsórios em P&D pelos agentes do setor, nos termos da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, a ANEEL procura incentivar a realização de projetos que melhorem a eficiência e a qualidade dos serviços prestados e reduzam a dependência tecnológica do setor.

Nesta quinta edição, divulgada no VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (Citenele), no Rio de Janeiro (RJ), foram selecionados 30 projetos dentre os 128 encaminhados. Na escolha dos artigos selecionados, o Comitê Técnico de Avaliação levou em conta a aplicabilidade dos resultados alcançados pelos projetos e sua contribuição para o desenvolvimento tecnológico do setor.

Tendo em vista a origem dos recursos empregados, os quais são proporcionais ao faturamento das empresas do setor, 23 dos projetos selecionados foram desenvolvidos por empresas de distribuição. Em segundo lugar, vem o segmento de geração, com quatro projetos selecionados. No segmento de transmissão, foram selecionados três projetos. A soma dos investimentos realizados no desenvolvimento desses 30 projetos superou R\$ 35 milhões, o que representa aproximadamente 10% do investimento anual total.

Entre os 30 artigos selecionados, cinco estão relacionados a projetos na área de Segurança, quatro na área de Meio Ambiente, quatro na área de Operação de Sistemas de Energia Elétrica, quatro na área de Supervisão, Controle e Proteção dos Sistemas Elétricos, quatro na área de Rede Inteligente de Energia Elétrica (Smart Grid) e três em Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica. Os demais envolveram projetos em Fontes Renováveis e Alternativas de Geração de Energia Elétrica (dois artigos), Medição, Faturamento e Combate a Perdas Comerciais (dois artigos) Gestão de Bacias e Reservatórios (um artigo) e Eficiência Energética (um artigo).

A publicação integral dos artigos encaminhados por pesquisadores e técnicos das empresas e instituições de pesquisa envolvidas, formato utilizado na edição anterior, foi mantida aqui, de modo a garantir a exatidão do conteúdo. Ao mesmo tempo, a Agência elaborou textos de apresentação que precedem cada um dos artigos, a fim de contribuir para estender a compreensão acerca de cada projeto para além da comunidade científica e dos técnicos do setor elétrico.

A publicação de mais esta edição da Revista P&D reforça o compromisso da ANEEL com a transparência de suas ações e a busca da inovação, para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade, como estabelecido na missão da Agência.



Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL

Nº 5 – Agosto de 2013

## Diretoria

Romeu Donizete Rufino  
**Diretor-geral**

André Pepitone da Nóbrega  
Edvaldo Alves de Santana  
Júlio Silveira Coelho  
**Diretores**

## Supervisão técnica

Máximo Luiz Pompermayer  
Superintendente  
Superintendência de Pesquisa e  
Desenvolvimento e Eficiência Energética (SPE)

Aurélio Calheiros de Melo Junior  
Assessor  
Superintendência de Pesquisa e  
Desenvolvimento e Eficiência Energética (SPE)

## Comitê técnico de avaliação

André Meister (SRT)  
Antônio Carlos Marques de Araújo (SRC)  
Aurélio Calheiros de Melo Junior (SPE)  
Carlos Eduardo Barreira Firmeza de Brito (SPE)  
Carmen Sílvia Sanches (SPE)  
Celso Eduardo Hermisdorff (SFG)  
Elton Mario de Lima (SPE)  
Fábio Stacke Silva (SPE)  
Gabriel de Jesus Azevedo (SRG)  
Hermann Friedenberg de Lemos (SFG)  
Jayme Milanezi Junior (SPE)  
Jhonathan Morais de Carvalho (SMA)  
João Marcelo Cavalcante de Albuquerque (SRD)  
Leonardo Mendonça Oliveira de Queiroz (SRD)  
Lucas Dantas Xavier (SPE)  
Luciana Reginaldo Soares (SRT)  
Luiz Gustavo Barduco Cugler Carmargo (SEM)  
Márcio Venício Pilar Alcântara (SPE)  
Maxwell Marques de Oliveira (SRC)  
Rafael Costa Ribeiro (SRG)  
Renata Rosada da Silva (SEM)  
Roterdan Siqueira de Abreu (SCT)  
Sheyla Maria das Neves Damasceno (SPE)  
Tito Ângelo Lobão Cruz (SCG)  
Vitor Correia Lima França (SCG)

## Jornalista responsável (edição e texto)

Bianca Tinoco  
MTB nº. 25995 RJ  
Superintendência de Comunicação e Relações  
Institucionais (SCR)

## Produção

André Melo Bacellar (SPE)  
Carmen Sílvia Sanches (SPE)

## Revisão

Aurélio Calheiros de Melo Junior (SPE)  
Everton Luiz Antoni (SCR)

Gráfica e Editora Aliança LTDA.

## Tiragem

1.500 exemplares

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:  
revistapd@aneel.gov.br

Esta e outras publicações estão disponíveis  
em formato digital no portal da ANEEL  
www.aneel.gov.br

ISSN 1981-9803



A Missão da ANEEL é Proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade.



**ANEEL**

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**

# Mensagem da Diretoria

O Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) vem sendo implementado desde os primeiros contratos de concessão firmados entre os agentes do setor elétrico e a Agência. Prevê a aplicação mínima compulsória de recursos em projetos de pesquisa e desenvolvimento, conforme definições legais e regulatórias específicas.

Desde esse início, em 1998, a ANEEL buscou a construção de um modelo regulatório para o programa que favorecesse o desenvolvimento de projetos com maior impacto e relevância. A importância do trabalho motivou a criação de uma área específica para sua gestão, a Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (SPE), em março de 2007.

Os aprimoramentos regulatórios desse tema têm procurado promover a inovação no setor de energia elétrica, bem como alavancar e fortalecer parcerias estratégicas para o efetivo alcance dos resultados pretendidos. Com tais avanços, a ANEEL pretende ampliar o conhecimento técnico científico especializado e construir novos instrumentos, métodos e modelos para fazer frente aos desafios tecnológicos e às exigências de toda a indústria de energia elétrica no País.

De fato, inovar significa recriar, de modo a agregar valor e a melhorar a qualidade, a eficiência, a segurança e a competitividade nos processos produtivos e gerenciais das organizações, possibilitando benefícios para toda a sociedade.

A inovação representa uma complexa e necessária integração entre teoria e prática, ciência e arte, pesquisa e desenvolvimento. É o espaço, por excelência, da criação intelectual, mas também de sua consequente aplicação nos problemas práticos em prol da evolução dos processos industriais e, por decorrência, da melhoria da qualidade de vida da população e dos serviços prestados à sociedade.

Desde 2008, a regulamentação de P&D tem privilegiado, também, propostas de pesquisa mais robustas e mais desafiadoras para o setor e para o País, por meio de Projetos de P&D Estratégicos, a partir de chamadas públicas promovidas pela ANEEL para temas selecionados. Trata-se de suprir lacunas importantes para a consolidação de um modelo institucional mais propício à realização de projetos com maior conteúdo tecnológico e efetivo potencial de inserção no mercado, integrando esforços de empresas de energia elétrica, instituições de pesquisa e fabricantes de equipamentos para o setor.

Este arranjo técnico e institucional é fundamental para o uso eficiente e intensificado dos recursos da cadeia de inovação disponíveis, por obrigação legal, para projetos de P&D. Tal integração pretende alcançar, de modo abrangente, as diferentes fases dos estudos e projetos, desde a pesquisa básica e aplicada, passando pelos protótipos, cabeça de série, lotes pioneiros e implementação em escala comercial.

Temas ou áreas que atualmente se destacam nos investimentos em P&D, como as redes elétricas inteligentes, permitirão aperfeiçoar o atendimento à demanda, favorecendo também a criação de novos produtos e serviços e a evolução de todo o modelo de pesquisa e desenvolvimento tecnológico e industrial do País.

Nesta edição nº 05 da Revista P&D da ANEEL, são apresentados alguns resultados relevantes de todo esse trabalho, destacando produtos com elevado potencial de aplicabilidade prática e de comercialização, a partir de projetos finalizados nos últimos dois anos, sinalizando os novos caminhos que vêm sendo buscados e os desafios a serem ainda enfrentados.

Trata-se de reafirmar, assim, a enorme responsabilidade e o compromisso que a ANEEL assume, não só com sua missão presente de zelar pela qualidade, continuidade e modicidade tarifária dos serviços de energia elétrica, mas também com o futuro do setor e, mais ainda, com toda a sociedade brasileira.

Boa leitura!

# Sumário

## Capa

Programa de P&D alcança a maturidade e a sintonia com o mercado 08

## Artigos

Projetos Estratégicos de P&D sob coordenação do Instituto ABRADÉE da Energia: Luz para o Futuro 10

Desafios e perspectivas para inovação no setor de transmissão de energia elétrica 11

O Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico – a visão dos produtores independentes de energia elétrica 12

## Projetos das Geradoras

### AES TIETÊ

Robô auxilia o monitoramento remoto de turbinas 14

### ELETRONORTE

Método busca avaliar risco de instalação do mexilhão dourado na região Norte 18

### FURNAS

Bateria de lítio-íon é opção inovadora para telecomunicações no setor elétrico 23

### UTE NORTE FLUMINENSE

Adição de glicerina potencializa biogás a partir de estercos de suínos 27

### EDP

Sistema integrado auxilia no atendimento de populações próximas a reservatórios 31

## Projetos das Transmissoras

### CTEEP

Protótipo de Sistema de Medição Fasorial Sincronizada é eficaz no monitoramento de rede 35

### CEMIG

Chave permite instalar para raios e transformadores sem desligamento de linhas 39

### CEMIG

Sistema de medição fasorial é projetado para melhorar qualidade da energia 42

## Projetos das Distribuidoras

### **AES ELETROPAULO**

Dispositivo pré-inspeção reduz custos na investigação de fraudes e furtos de energia 47

### **AES SUL**

Sistema automatizado de irrigação apresenta alto índice de eficiência energética 52

### **AES SUL**

Padrão normatizado de transformador de média tensão não é o mais eficiente na área rural 56

### **AMPLA**

Dispositivo em luvas evita choques em redes de média e baixa tensão 60

### **AMPLA**

Sensor identifica correntes de fuga em linhas de distribuição 64

### **AMPLA**

Protótipo de roteador permite rede inteligente para monitoramento da distribuição 68

### **CELESC**

Sistema demonstra robustez na administração de conexões de medidores eletrônicos 73

### **EDP BANDEIRANTE**

Aparelho acoplado a refrigerador permite reduzir o consumo durante o horário de ponta 77

### **CELPE**

Ferramenta de planejamento auxilia na elaboração do plano de obras 82

### **CEMIG**

Veículos aéreos não tripulados geram imagens de alta definição 85

### **CEMIG**

Fibra óptica auxilia no monitoramento térmico de cabos condutores em tempo real 89

### **CEMIG**

Sistema óptico auxilia avaliação da força de tração em condutores de linhas aéreas 92

### **COELBA**

Etiquetagem eletrônica aprimora inspeção de equipamentos em operação 96

### **COELBA**

Sensor inteligente alerta à concessionária ponto exato de falta de energia 100

### **COELCE**

Uso de smartphone aumenta eficiência dos procedimentos de corte e religação 104

### **COELCE**

Máquina automatizada troca recicláveis por créditos na conta de energia 108

### **COELCE**

Religador automático evita desarme de chave fusível após problema temporário 111

### **COELCE**

Dispositivo em radiofrequência verifica o uso de equipamentos de proteção 114

### **DMED**

Sensores em fibra óptica ajudam a prevenir o rompimento de barragens 118

### **EDP BANDEIRANTE**

Metodologia ODIN é alternativa para o planejamento da operação energética 122

### **ELFSM**

Estudo avalia desempenho de medidores eletrônicos frente a descargas atmosféricas 127

### **LIGHT**

Estudo propõe cálculo do índice de atividade econômica mensal para os municípios 131



# Programa de P&D alcança a maturidade e a sintonia com o mercado

Depois de 13 anos de existência e mais de três mil projetos realizados, o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) demonstra ter atingido maturidade suficiente para impulsionar o desenvolvimento tecnológico e a inovação no setor de energia elétrica. Por meio de chamadas de projeto estratégico, iniciadas há cinco anos com a aprovação da Resolução Normativa nº 316/2008, a Agência define critérios e procedimentos para que empresas interessadas apresentem proposta de projeto em temas considerados de grande relevância para o setor elétrico nacional. E, nos últimos tempos, as respostas das empresas de energia elétrica têm sido consideradas surpreendentes até pela Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (SPE) da Agência, responsável pela regulamentação dos investimentos compulsórios em P&D pelas empresas do setor. Em 2012, duas chamadas – as de nºs 13 e 14, que estimulam a pesquisa em geração solar fotovoltaica e em geração de energia elétrica a partir do biogás de resíduos e efluentes líquidos, somaram R\$ 859,85 milhões de investimentos previstos. O valor supera todo o montante investido em 2011 nos 484 projetos de P&D cadastrados na Agência.

Em paralelo a essas chamadas, em 2012 foram cadastrados 521 projetos, os quais somam R\$ 1,99 bilhão de investimentos previstos – montante superior ao valor investido ao longo dos nove primeiros anos do programa (1999 a 2007), quando foram realizados mais de três mil projetos e investido R\$ 1,57 bilhão. “Trata-se de um momento oportuno, em que a ANEEL decidiu dar foco a assuntos que, coincidentemente, são de interesse dos agentes e do mercado. Os resultados contribuirão para um melhor aproveitamento de fontes renováveis que ainda têm pouca representatividade na matriz energética do país, além de promover capacitação de recursos humanos e estruturação de laboratórios”, avalia Aurélio Calheiros, assessor da SPE e integrante do Comitê Técnico de Avaliação do programa.

O aumento de recursos dirigidos aos projetos se reflete no valor médio deles, que passou de R\$ 2,64 milhões em 2011 para R\$ 3,82 milhões em 2012. O assessor da SPE atribui esse fato a uma maior qualidade dos produtos propostos. “Nos últimos tempos, as empresas do setor elétrico passaram a enviar menos projetos, porém ambiciosos, com maior aplicabilidade e mais condições de serem comercializados”, afirma.

## Fomento à inovação

Para a SPE, o Programa de P&D vem alcançando seu objetivo de estimular a pesquisa e reduzir a dependência tecnológica do setor. O desafio atual é viabilizar a fabricação em larga escala dos produtos desenvolvidos no âmbito do Programa, possibilitando que os avanços tecnológicos sejam incorporados ao dia-a-dia das empresas e beneficiem a sociedade.

“Divulgar esses resultados entre os agentes e para a indústria é o propósito do Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (Citenele) e também o da Revista de P&D”, conta Calheiros. “Em muitos artigos da publicação, estão produtos nos quais as empresas identificam um potencial de mercado. Os projetos agora são efetivamente inovadores e enfrentam questões como o direito de propriedade e a forma de reprodução”.

Outra conquista do programa foi o fomento à produção acadêmica. A busca dos agentes por apoio tecnológico para o desenvolvimento dos projetos ampliou o número de grupos e centros de P&D em energia elétrica nas universidades. “É a academia que nos proporcionará a oportunidade de financiar projetos com pouco campo no País, como os de geração heliotérmica, geotérmica e a partir das marés e das ondas. Apesar de ser muito discutido, smart grid é outro tema que demanda muito desenvolvimento tecnológico”, Calheiros adianta.



Artigos

# Projetos Estratégicos de P&D sob coordenação do Instituto ABRADÉE da Energia: Luz para o Futuro

Nelson Fonseca Leite  
Presidente do Instituto Abradee da Energia

Foi motivo de orgulho para o Instituto Abradee da Energia participar, na qualidade de entidade executora, do Projeto Estratégico de P&D de Metodologia para Estabelecimento de Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica, bem como do Projeto de P&D Estratégico de Redes Elétricas Inteligentes, esse último em parceria com a Associação de Empresas Proprietárias de Infraestrutura e de Sistemas Privados de Telecomunicações (Aptel).

Gerenciar e coordenar projetos de P&D de grande envergadura e importância foi, ao mesmo tempo, uma grande honra e um peculiar desafio. Honra, pois foi acompanhado e discutido com técnicos da ANEEL e teve efetiva participação dos principais profissionais das empresas ligados aos temas, bem como contou com pesquisadores de elevada capacidade técnica e, principalmente, enxertados com espíritos de investigação, contestação e construção. O desafio foi, em última análise, grande motivador para garantir a pluralidade de ideias e a busca de resultados concretos nos projetos de P&D. Não foi tarefa trivial gerenciar projetos que não se tem precedente na história recente do setor elétrico. Este representativo rol de empresas foi constituído por empresas privadas de capital nacional e internacional e por companhias estatais federais e estaduais detentoras de cultura e práticas gerencias distintas, o que potencializou, ainda mais, o desafio da gestão. No decorrer dos projetos, foi intensificada a iteração com outras entidades e associações setoriais interessadas no conteúdo dos projetos e nas suas eventuais implicações. Coordenar processos, controlar prazo, planejar experimentações e integrações dos conteúdos produzidos em diversos subprojetos visando, além da produção científica, e o aprimoramento da regulamentação vigente foi tarefa árdua, mas gratificante.

O tema estrutura tarifária veio ao encontro dos interesses dos agentes e usuários, pois a desatualização da estrutura tarifária, cujo referencial pouco avançou nos últimos 30 anos no Brasil, repercutiu em ineficiência econômica à sociedade.

De todos os desafios técnicos, talvez o maior tenha sido investigar e analisar pontos de aprimoramento à metodologia então vigente. Os limites e repercussões dos ajustes propostos e suas consequências revelaram, na verdade, inadequações estruturais dessa

metodologia, como pode ser visto nas publicações deste projeto de P&D. E esse limite metodológico reverbera sua própria essência vinculada ao regime regulatório de custo do serviço atual regime de regulação por incentivo busca internalizar os benefícios da concorrência no estabelecimento dos níveis eficientes das tarifas. Desta forma, o nível tarifário deixa de refletir somente os custos das distribuidoras, como no passado, para ser contestado por sinais de concorrência. Por isso, indica-se a modernização das modalidades tarifárias para responder, da melhor maneira possível no ambiente regulado, aos sinais de contestação de mercado e, conseqüentemente, às necessidades contemporâneas dos usuários do sistema de distribuição de energia elétrica.

O projeto de Redes Elétricas Inteligentes, por sua vez, colocou o tema no radar das empresas do Brasil e possibilitou a pesquisa da experiência internacional, bem como a discussão de aspectos importantes como a interoperabilidade da tecnologias adotadas. Outro aspecto que merece destaque é o bloco envolvendo a percepção dos consumidores, como prevenção a um problema enfrentado por empresas e reguladores em outras partes do mundo.

Além disso, o projeto conseguiu quantificar custos e benefícios para uma análise econômica através do valor presente líquido agregado a cada uma das partes interessadas. Ficou muito claro, pelos estudos, que um programa em larga escala de redes inteligentes só será viável com a implantação de um conjunto de políticas públicas e mudanças regulatórias que permitam a elaboração de um novo modelo de negócios capaz de agregar valor para as distribuidoras e os consumidores. Independentemente das mudanças acima, as distribuidoras devem se preparar adaptando seus processos, capacitando seus colaboradores e viabilizando o capital necessário.

Mediante nosso balanço final de atividades, registro a certeza de que foi cumprida a missão ao oferecer contribuições concretas para o aprimoramento de temas de suma importância para o país, conciliando objetivos muitas vezes considerados antagônicos, quais sejam: modernizar e simplificar métodos e procedimentos, bem como aprimorar a qualidade do serviço prestado e a sustentabilidade da atividade econômica.

<sup>1</sup> O Instituto Abradee da Energia, entidade distinta da Abradee, é uma organização da sociedade civil de interesse público que tem por finalidade a defesa, a preservação e a conservação do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento sustentável por meio de estudos e pesquisas e pela divulgação de informações e conhecimentos técnicos e científicos.

<sup>2</sup> DELGADO, M.A.P. Desafios da Inovação em Serviços Públicos Regulados: Alterando paradigmas metodológicos na concepção das tarifas de energia elétrica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2011.

EL HAGE, F.S. FERRAZ, L. DELGADO, M.A.P. A Estrutura Tarifária de Energia Elétrica: Teoria e Aplicação. Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

DELGADO, M.A.P. (Organizador). A Estrutura Tarifária em Monopólios Naturais: Novas Reflexões no Setor Elétrico. Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

# Desafios e perspectivas para inovação no setor de transmissão de energia elétrica

Doralice Fernandes Ferro

Associação Brasileira das Grandes Empresas de Transmissão de Energia Elétrica (Abrate)

O segmento brasileiro de transmissão de energia elétrica está exposto a um ambiente de constantes desafios e de grande exigência de investimentos em novas tecnologias, equipamentos e instalações, como forma de garantir a controlabilidade e confiabilidade do Sistema Interligado Nacional. Diante desse cenário, a inovação tecnológica tornou-se imprescindível para que o setor acompanhe e corresponda a este ambiente extremamente exigente e ágil em termos de demanda e desenvolvimento.

Com a criação da Lei Nº 9991/2000, que instituiu o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico, foi dado um passo muito importante no sentido de dinamizar toda a cadeia de inovação, de forma a viabilizar o atendimento às demandas de mercados em um ambiente em constante mutação.

Cientes da sua importância no contexto nacional, as concessionárias de transmissão vêm provocando a aproximação entre o ambiente acadêmico dos centros tecnológicos de pesquisa e universidades e a indústria, contribuindo assim para a Inovação no país, alavancando a mobilização da indústria nacional de bens e serviços do setor elétrico, resultando no compartilhamento de informações e identificação das necessidades de desenvolvimento de novas tecnologias e produção de novos equipamentos e produtos, nos vários níveis de tensão e atendendo às especificidades das diversas regiões geográficas do país.

Associados à crescente demanda de energia elétrica, à complexidade da previsão da curva de carga e aos gargalos na transmissão, alguns dos maiores desafios a serem enfrentados atualmente pelo segmento da transmissão estão relacionados principalmente a:

- aumento do uso de fontes renováveis com geração intermitente e sazonal;
- imprevisibilidade do montante de geração convencional;
- necessidade de rápida resposta para as oscilações das fontes renováveis (regulação primária e suplementar);
- grandes blocos de geração distantes dos centros consumidores;
- aumento da geração distribuída, onde o consumidor pode ser um potencial gerador;
- fluxos de potência com baixa previsibilidade;
- aumento da robustez e a controlabilidade da rede;
- novas exigências para comando, controle e proteção;
- promover a construção de parcerias estratégicas com grandes fabricantes, objetivando a nacionalização de tecnologias essenciais para o segmento da transmissão e a consequente redução dos custos da energia;

- integrar o desenvolvimento tecnológico à minimização de impactos ambientais.

Somadas a tantos desafios, enfrenta-se também a necessidade de capacitação de profissionais e mão de obra especializada, frente às novas tendências tecnológicas, assim como para suprir a constante demanda por pesquisadores no meio acadêmico da área de energia.

As transmissoras têm desenvolvido projetos dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL que trazem soluções para esses desafios, buscando evolução nos processos de manutenção e operação da rede elétrica, permitindo a integração de diferentes soluções de automação, otimização dos ativos, melhoria dos processos, melhores índices de controle e monitoração, integração de múltiplas fontes de energia renováveis e criação de novos produtos aptos ao desenvolvimento de futuros serviços, mantendo assim confiabilidade do sistema elétrico e, portanto, a excelência na prestação do serviço público, sem perder o foco na modicidade tarifária.

Conforme dados apontados na 4ª Revista de P&D da ANEEL, publicada em agosto de 2011, de um montante de aproximadamente R\$ 1,3 bilhão em investimentos previstos nos projetos cadastrados no Sistema de Gestão da ANEEL, dentro da nova regulamentação (maio/2008), estimava-se investir 45% deste montante em projetos que estão diretamente relacionados ao segmento de transmissão, sendo eles de planejamento e operação de sistemas de energia elétrica, supervisão, controle e proteção, qualidade e confiabilidade.

Destaque à parte, merecem os investimentos em projetos estratégicos, ressaltando-se projetos como o estudo de novas alternativas de transmissão de energia em longas distâncias, desenvolvimento de tecnologia de cabos supercondutores de alta temperatura, geração distribuída com sistemas fotovoltaicos, com relevante participação das concessionárias de transmissão e que têm como um dos principais objetivos a contribuição para o aprimoramento dos mecanismos regulatórios em temas emergentes, em total aderência aos desafios tecnológicos a serem enfrentados.

Soma-se a esses resultados o fortalecimento de uma atuação das transmissoras na sustentabilidade do negócio, decorrente de investimentos em projetos que resultem, por exemplo, em mitigação de impactos ambientais, geração de empregos, capacitação e disseminação de conhecimentos no setor.

É fato que, com a evolução do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, muito se avançou no desenvolvimento e na absorção de novas tecnologias no setor elétrico brasileiro, tendo atualmente como grande perspectiva a potencialização das parcerias estratégicas com fabricantes, universidades e centros de pesquisas estrangeiros, e a construção de acordos de cooperação com os demais agentes fomentadores de pesquisa, de forma a ampliar a sinergia de conhecimentos e competências e a conjugação de esforços para enfrentar os constantes desafios tecnológicos.

# O Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico – a visão dos produtores independentes de energia elétrica

Antonio Celso de Abreu Junior e Luiz Fernando Leone Vianna\*

Em tempos de economia globalizada, a capacidade das empresas em inovar não somente representa uma vantagem competitiva, como também é fator estratégico para a sustentabilidade do negócio. Uma empresa jamais deve se ater a suas conquistas passadas. Olhar para o passado é bom, para compreender e impedir que se cometam os mesmos erros, mas é preciso questionar as crenças existentes e desafiar a lógica convencional.

Também é preciso lembrar que vivemos a era da comunicação. O amplo acesso do consumidor aos diversos canais de comunicação tornou-o muito bem informado, fazendo com que a “Qualidade” deixasse de ser o principal fator de diferenciação de um produto. A incorporação de novas tecnologias passou a ser, também, uma exigência dos atuais consumidores.

Os consumidores de energia também perceberam que os serviços prestados pelos concessionários de energia elétrica deveriam incorporar esse conceito.

Assim, foi muito bem-vindo o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que determina a aplicação compulsória de percentual de recurso da receita operacional líquida das empresas concessionárias de energia elétrica em programas de P&D.

Instituído em 1998 aos agentes concessionários de distribuição, transmissão e geração de energia elétrica, nasceu com o propósito de incentivar as concessionárias brasileiras a enfrentar os desafios tecnológicos e ultrapassá-los, por meio do conhecimento adquirido pela busca da inovação. O programa foi ampliado aos permissionários e produtores independentes de energia elétrica a partir da Lei 9.991, de 24/07/2000.

A Associação dos Produtores Independentes de Energia Elétrica (Apine) atua desde 1995 na promoção do desenvolvimento sustentável do setor elétrico brasileiro, particularmente no âmbito da geração. É uma entidade de classe sem fins lucrativos, constituída por produtores independentes de energia e empresas interessadas na atividade, que atua de forma inovadora propondo-se a promover a união dessas empresas, defender seus direitos e interesses perante os poderes públicos e instituições nacionais e internacionais, além de cooperar com estes, atuando como órgão técnico e consultivo no estudo e na solução das questões relacionadas às atividades de seus associados.

Desde 2006, ao criar um grupo de trabalho interno, o GT-P&D, a Apine tem participado ativamente do processo evolutivo do Pro-

grama de P&D da ANEEL, destacando-se: (i) a extinção dos ciclos anuais de programas, possibilitando um fluxo contínuo de envio de projetos; (ii) o critério de avaliação constituído pela composição das notas do projeto relativas à sua originalidade, aplicabilidade; e (iii) a defesa da criação de projetos estratégicos e cooperados para desenvolver temas de interesse do setor elétrico brasileiro. Neste quesito, auxiliou seus associados na formação de projetos estratégicos para participação nas seguintes chamadas públicas ANEEL: Modelo de otimização do despacho hidrotérmico; Metodologia para alocação dos custos do sistema de transmissão; Monitoramento das emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de usinas hidrelétricas; Efeitos de mudanças climáticas no regime hidrológico de bacias hidrográficas e na energia assegurada de aproveitamentos hidrelétricos; Arranjos técnicos e comerciais para um mercado sul-americano de energia elétrica (em análise pela Agência); Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira; e Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração de energia elétrica a partir do biogás oriundo de resíduos e efluentes líquidos na matriz energética brasileira. Questões relevantes e de interesse do setor elétrico brasileiro, debatidas nas reuniões dos grupos técnicos da associação, produziram dois projetos cooperados: Aperfeiçoamento do processo de contratação da expansão do parque gerador; e Desenvolvimento do mercado de gás natural no Brasil para geração de energia elétrica, que fazem parte do Plano de Ação 2013 da Apine.

Presença constante nos Congressos de Inovação Tecnológica em Energia (Citenel), a convite da ANEEL, a Apine encontra nesses eventos bianuais a oportunidade de apresentar suas ideias e propostas, além de discutir os resultados e impactos do Programa de P&D.

Dessa sinergia, as associações Abrage, Abragef, Abiape, Abradee, Abrate, Abraget e Apine, o Instituto Lactec e o Grupo CanalEnergia, estimulados por seus associados e pela própria ANEEL, sentiram a necessidade de se elaborar um encontro para discutir temas relativos a P&D e Energia Elétrica que normalmente não teriam oportunidade de serem debatidos no Citenel e Seenel. Criaram, assim, o Encontro de P&D dos Agentes do Setor Elétrico (Epase), também realizado bianualmente. O primeiro encontro foi em 12 e 13 de março de 2012, em Curitiba. O resultado dos eventos foi a Carta de Curitiba, encaminhada ao Diretor-Geral da ANEEL. Na carta, além de sugestões e contribuições à revisão do Manual de P&D vigente à época, foi reforçado o compromisso de “manter um espaço permanente de interlocução e de construção de políticas para que os programas de P&D, além de sua natureza criativa, sistemática e inovadora, cumpram o objetivo de expandir os limites do conhecimento humano ou, simplesmente, descobrir novas aplicações para os conhecimentos já existentes”.

\* Antonio Celso de Abreu Junior é Gerente da Divisão de Assuntos Regulatórios da Companhia Energética de São Paulo (Cesp); Luiz Fernando Leone Vianna é Presidente do Conselho de Administração da Associação dos Produtores Independentes de Energia Elétrica (Apine).

Projetos das

Geradoras



## Robô auxilia o monitoramento remoto de turbinas

A inspeção das turbinas de usinas hidrelétricas é uma tarefa complexa e sujeita a acidentes, uma vez que envolve mergulhadores especializados. Buscando reduzir os riscos e os custos da operação, a AES Tietê encomendou à Fundação para o Desenvolvimento de Bauru (FunDeB - Unesp) um sistema de processamento e análise de imagens, captadas por um robô controlado remotamente.

O protótipo do robô possui um sistema com duas câmeras. Uma delas, equivalente ao olho do operador, exhibe os obstáculos no caminho do robô. A segunda, com sinal de vídeo colorido, capta as imagens a serem analisadas. O robô é controlado a partir de um joystick, de um controle de câmera e de um monitor de vídeo, que registra também a profundidade do veículo, sua direção e posição geográfica (latitude e longitude).

Para a análise dos vídeos, foi desenvolvida uma interface gráfica que permite, entre outras, a filtragem de imagens para melhoria da qualidade e da nitidez, a extração de características distintivas e o reconhecimento de padrões. O sistema opera com algoritmos inteligentes e com um módulo para correção das distorções de cores e de tonalidade em imagens subaquáticas.

Os testes de campo evidenciaram o grande potencial para que a inspeção remota substitua os atuais procedimentos. O próximo desafio é o aprimoramento da navegação do robô, por meio de sensores de posicionamento e de localização, considerando a grande turbulência provocada pelo retorno das águas do vertedouro de uma usina hidrelétrica.

### Ficha técnica

Empresa: AES Tietê

Título: Desenvolvimento de Metodologia Científica para Investição, Acompanhamento de Falhas em Estruturas Metálicas e Turbinas Hidráulicas Utilizando Diagnóstico por Imagens

Ciclo: 2006/2007

Investimento: R\$1.009.900,51

Execução: Fundação para o Desenvolvimento de Bauru (FunDeB - Unesp)

# Acompanhamento de falhas em turbinas hidráulicas utilizando diagnóstico por imagens usando robô

José E. C. Castanho<sup>1</sup>, Rogério Thomazella<sup>1</sup>, Cezar J. S. Anna<sup>2</sup>, Joaquim B. Neto<sup>2</sup>, Juliano N. Torres<sup>3</sup>

**Resumo** – As paradas devido à indisponibilidade de equipamentos por falha em sistemas geradores são altamente onerosas e prejudiciais ao sistema elétrico. Uma situação típica que perturba a operação do sistema é a necessidade de manutenção de turbinas devido a problemas de cavitação, vibração, instabilidade, etc. A inspeção das turbinas requer a mobilização de mergulhadores especializados, tornando o processo ainda mais difícil e sujeito a acidentes. Este projeto de P&D elaborou um sistema de inspeção por imagens utilizando robô, operado remotamente pela superfície montante e/ou jusante de usinas hidroelétricas. O sistema proposto ainda utiliza um conjunto de algoritmos de processamento de imagens visando apoiar a interpretação das imagens capturadas e, assim, aumentar a confiabilidade do diagnóstico. Neste artigo, são apresentados uma visão geral do sistema desenvolvido e os resultados obtidos até o momento.

**Palavras-chave** – Inspeção visual, manutenção preventiva, indisponibilidade do sistema elétrico, robô, processamento de imagens.

**Abstract** – The downtimes due to unavailability of equipment caused by faults in the generator systems are highly costly and detrimental to the electrical system. A typical situation that disturbs the operation of the system is the need to maintain turbines due to problems with cavitation, vibration, instability, etc. The inspection of the turbines requires the mobilization of specialized divers, making the process even more difficult and prone to accidents. This R&D project presents an inspection system through images using a robot, remotely operated by surface upstream and/or downstream from the hydroelectric plants. The proposed system also uses a set of image processing algorithms to support the interpretation of the captured images and, thereby, increase the reliability of the diagnosis. This article presents an overview of the system developed and the results obtained thus far.

**Keyword** – Visual inspection, preventive maintenance, unavailability of the electrical system, robot, Image processing.

## I. INTRODUÇÃO

As paradas devido à indisponibilidade de equipamentos por falha em sistemas geradores são altamente onerosas e prejudiciais ao sistema elétrico. Uma situação típica que perturba a operação do sistema é a necessidade de manutenção de turbinas devido a problemas de cavitação, vibração, instabilidade, etc. A inspeção das turbinas ainda requer a mobilização de mergulhadores especializados, tornando o processo ainda mais difícil e sujeito a riscos.

Assim, como objetivo deste projeto de P&D, foi desenvolvido um sistema composto de um módulo de aquisição e análise de imagens junto com a utilização de um robô, para acesso ao local da inspeção, que possibilita a investigação e o acompanhamento de anomalias em estruturas metálicas de turbinas hidráulicas da AES Tietê, como alternativa à inspeção realizada por equipes de mergulhadores. O protótipo do sistema contempla a utilização de um veículo subaquático não tripulado, o desenvolvimento de um sistema especializado em processamento e análise de imagens e metodologia adequada para aquisição de imagens nas estruturas metálicas de turbinas.

## II. DESENVOLVIMENTO E REALIZAÇÃO DO SISTEMA

O sistema desenvolvido é composto de um robô e um módulo de processamento e análise de imagens. A arquitetura geral do sistema é apresentada na Figura 1.

### A. Robô

A utilização de um robô é central para o desenvolvimento deste projeto, pois propicia o acesso aos locais de inspeção sem a utilização de equipes de mergulhadores. Foi escolhido o modelo Outland 1000 (Figura 2), fabricado pela Outland Technology, capaz de operar a profundidades de 300m [6].

O Outland 1000 possui um sistema com duas câmeras de vídeo. As características dessas câmeras são cruciais para a obtenção de imagens com qualidade aos objetivos do projeto. A primeira é uma câmera com imagens de nível de cinza, baseada em um dispositivo de carga acoplada (CCD - charge-coupled device) de 1/3", com 570 linhas horizontais, sensibilidade de 0.0003 lux e uma lente de 3.6mm. Esta câmera é destinada principalmente para a navegação do robô até o alvo, permitindo então uma posterior análise das imagens com a segunda câmera, que tem sinal de vídeo colorido. A segunda câmera é baseada em um chip CCD Ex-view de alta sensibilidade. Possui um sensor CCD de 1/3" com 550 linhas de resolução e sensibilidade de .001 lux. O sinal de vídeo proveniente das câmeras também é disponibilizado para gravação ou para visualização e monitoração do equipamento durante a operação.

O operador controla o robô a partir de um sistema a bordo do navio ou da superfície. Usando um joystick, um controle de câmera e um monitor de vídeo, o operador move o veículo e

<sup>1</sup>Desenvolvimento de Metodologia Científica para Investigação, Acompanhamento de Falhas em Estruturas Metálicas e Turbinas Hidráulicas Utilizando Diagnóstico por Imagens". Contrato 4619000068 - Ciclo 2006/2007. Proponente: AES-Tietê. Executora: Fundeb – UNESP. Investimento: R\$1.009.900,51.

<sup>1</sup> Unesp - FEB, campus Bauru: castanho@feb.unesp.br, thomazella@feb.unesp.br.

<sup>2</sup> Fundeb – cezarjose@hotmail.com, jbr@terra.com.br

<sup>3</sup> AES – Tietê: Juliano.Nicolielo@AES.com

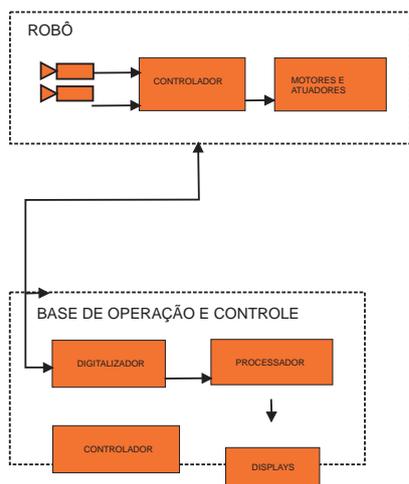


Figura 1. Diagrama simplificado dos elementos do sistema de inspeção de falhas.



Figura 3. Imagem do módulo de controle de operação do robô em situação de teste.



Figura 2. Imagem do Outland Robô 1000, no qual é possível se observar o sistema frontal de iluminação e de câmeras de vídeo.

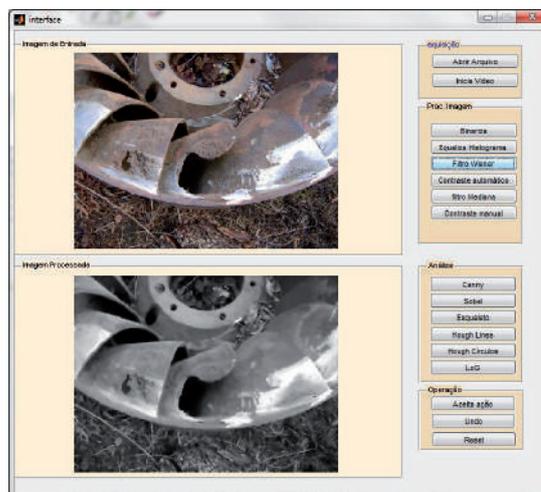


Figura 4. Tela da interface para processamento das imagens no sistema de inspeção visual mostrando parcialmente as funções disponíveis.

a câmara para locais desejados; os olhos do operador, essencialmente, “tornam-se” a lente da câmara. A profundidade do veículo, sua direção e posição geográfica (latitude e longitude) também são registradas. O controle do robô exige habilidade por parte do operador, já que ele deve controlar a movimentação do equipamento seguindo apenas as imagens das câmeras e dos instrumentos disponíveis. A Figura 3 mostra a utilização do módulo de controle em uma situação de uso em testes.

### B. Módulo de processamento de imagens

Considerando as condições de desenvolvimento e a possibilidade de geração de protótipos de forma rápida e confiável, foi utilizado o pacote Matlab [4], com os toolboxes de Processamento de Imagens e de Aquisição de Imagens. Essa abordagem visou a obter rapidamente um protótipo funcional em que os conceitos e algoritmos estudados possam ser desenvolvidos, testados e validados. Essa escolha ainda tem a vantagem de possibilitar a agregação de funcionalidades, disponibilizadas pelos vários pacotes de ferramentas da Mathworks ou de terceiros.

Assim, foi desenvolvida uma interface gráfica, que agrega inúmeras funcionalidades de processamento que permite ao usuário operar sobre as imagens capturadas pelas câmeras

do robô ou sobre arquivos armazenados em disco. Entre essas funcionalidades, deve-se destacar a filtragem de imagens para melhoria da qualidade e nitidez, a extração de características distintivas e o reconhecimento de padrões [2], [5]. Na Figura 4, é apresentada uma imagem da tela da interface. Além dos algoritmos desenvolvidos e incorporados à interface gráfica, o sistema também recebeu um módulo Lynn adicional que realiza o processamento das imagens em tempo real para correção das distorções de cores e de tonalidade em imagens subaquáticas resultantes de fatores como turbidez, partículas em suspensão e da própria propagação no meio aquático [3], [7]. Em geral, o tratamento de imagem oferecido pelo módulo Lynn é adequado para minimizar os efeitos de dispersão da luminosidade, assim como a perda de contraste dos objetos.

### III. TESTES E RESULTADOS

Vários testes foram realizados utilizando o robô em situações de operação em campo. Eles permitiram verificar os vários aspectos de operacionalidade do equipamento, bem como permitiram aferir a capacidade de alguns algoritmos quando aplicados em imagens subaquáticas. O efeito da aplicação do módulo Lynn é demonstrado na Figura 5, que mostra uma hélice de barco, obtida sob condições bastante adversas de visibilidade.

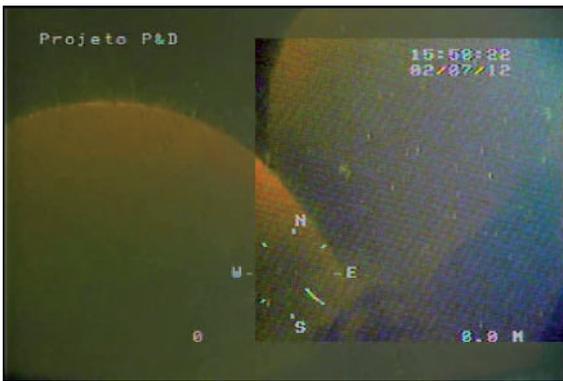


Figura 5. Imagem de um hélice, com a janela de processamento do módulo Lynn posicionada à direita, mostrando a sensível melhora de nitidez da imagem.

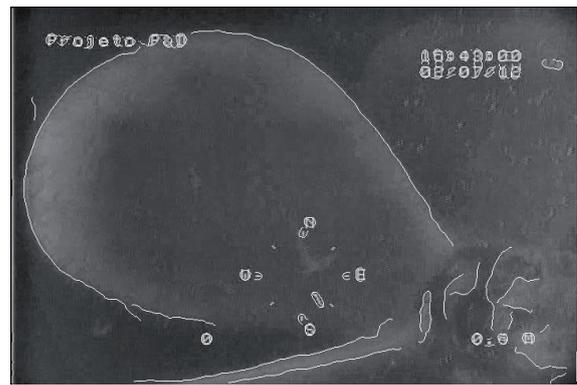


Figura 6. Imagens de uma hélice de barco obtidas com a câmera do Outland Robô sob condições de luminosidade e visibilidade bastante adversas, após a aplicação dos algoritmos de processamento de imagens.

A Figura 6 mostra a hélice de um barco em condições bastante prejudicadas. Essas imagens, obtidas em testes de campo com o robô, foram processadas com os algoritmos desenvolvidos para obtenção da segmentação das bordas. É possível verificar que o resultado é bastante satisfatório, apesar das condições adversas.

Os testes permitem concluir que as funções de melhoria de imagem desenvolvidas são adequadas, viabilizando as aplicações de inspeção de falhas em turbinas utilizando processamento de imagens

#### A. Discussão

De modo geral, os resultados obtidos com a aplicação dos algoritmos desenvolvidos para o sistema mostraram-se encorajadores. Na maioria dos casos, a utilização do processamento de imagens apresentou ganhos consideráveis de visibilidade, permitindo que o sistema apresente bom desempenho quando aplicado à inspeção visual de turbinas submersas. O desempenho dos algoritmos de reconhecimento de padrões foi satisfatório, permitindo a sua aplicação para auxiliar a inspeção de falhas estruturais dos elementos da turbina.

Os ensaios em campo também permitiram avaliar de maneira mais precisa as características de manobra do robô. Este fator tem importância na aplicação efetiva do sistema, por questões de segurança operacional, e ainda deve ser aperfeiçoado. Atualmente, a operação manual remota do veículo mostrou-se difícil, principalmente considerando as situações reais de funcionamento de uma usina hidrelétrica, nas quais existe uma grande turbulência provocada pelo retorno das águas do vertedouro. A

utilização corrente do robô exige pequenas adaptações da estrutura de acesso nas usinas, para que se possa manobrá-lo em condições adequadas.

#### IV. CONCLUSÕES

A operação de inspeção em turbinas hidráulicas, como feito atualmente, requer inúmeros cuidados e apresenta custos altos. A contratação de uma equipe de mergulho para inspeção em uma turbina pode custar algo entre R\$10.000,00 e R\$20.000,00. O custo de aquisição de um robô, embora bem maior, poderá ser amortizado rapidamente ao se considerar seu uso frequente. Neste trabalho, foi apresentado o desenvolvimento de um protótipo de equipamento baseado na utilização de um robô, de algoritmos inteligentes e de processamento de imagens, com um grande potencial para substituir os atuais procedimentos. Entre as grandes vantagens, estão menores custos, maior agilidade para a operação, já que não necessita a mobilização de equipes de mergulho, e principalmente menores riscos.

Os algoritmos mostraram bons resultados, permitindo significativa melhoria na visibilidade das imagens e facilitando sua análise. Algoritmos adaptativos mais sofisticados poderão ser desenvolvidos no futuro, considerando diferentes situações de operação [7].

Um problema de operação, que pode ser considerado aberto, é o desenvolvimento de sistemas de auxílio à navegação submersa que apoie o operador do robô, através da utilização de sensores de posicionamento e de localização. Este recurso seria de grande utilidade para permitir uma operação mais segura e precisa do equipamento.

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BOTELHO-RIBEIRO, L. "Underwater vision method for low-visibility turbulent conditions". In MTS/IEEE Conference and Exhibition OCEANS, 2001, 2001, vol. 2, p. 1080-1084 vol.2.
- [2] GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. Prentice Hall, Inc. 2008. 3rd. ed.
- [3] "LYYN Hawk Portable real-time video enhancer". [Online]. Disponível em: <http://www.lyyn.com/products/lyyn-hawk-portable/>. Último acesso em: 26-abr-2012.
- [4] MATLAB, User Guide, Mathworks Inc., 2011.
- [5] NIXON, M.; AGUADO, A. Feature Extraction and Image Processing. Academic Press. 2008. 2nd ed.
- [6] "Outland Technology: Products - ROV Model 1000". [Online]. Available: <http://www.outlandtech.com/rov100.php>. Último acesso em: 26-abr-2012.
- [7] SCHECHNER, Y. Y.; KARPEL, N. "Clear underwater vision". In Pro-ceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vi-sion and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004, 2004, vol. 1, p. I-536- I-543.



# ELETRONORTE

## Método busca avaliar risco de instalação do mexilhão dourado na região Norte

Originário do sudeste asiático, o molusco bivalve de água doce *Limnoperna fortunei* (mexilhão dourado) tornou-se um organismo invasor em bacias hidrográficas da América do Sul nos últimos 20 anos, em uma ocupação que gerou impactos ambientais e prejuízos econômicos. As Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (Eletronorte) desenvolveram um projeto para avaliar o risco e criar obstáculos à introdução do molusco na região Norte, ainda livre da espécie.

A iniciativa envolveu, inicialmente, uma análise microscópica de amostras de água coletadas em 78 pontos do país, para identificar possíveis rotas de ocorrência do mexilhão dourado. Como a água de lastro dos navios é um dos principais vetores de dispersão de espécies invasoras, ao lado da pesca esportiva e do transporte de areia para praias artificiais, a pesquisa também avaliou os portos da região Norte mais suscetíveis a receber navios estrangeiros.

Foi elaborado então um método para a avaliação do risco de infestação do mexilhão dourado no sistema de uma usina hidrelétrica. Para a Usina de Tucuruí, os pesquisadores atribuíram pontuações para fatores como velocidade e temperatura da água, facilidade de limpeza, acessibilidade para vistoria e dimensão do equipamento. Constatado o alto risco de infestação, o projeto incluiu uma campanha de prevenção, a realização de encontros técnicos e a distribuição de materiais de educação ambiental. O modelo de análise de risco deve ser aprimorado para aplicação em outras usinas da Eletronorte.

### Ficha técnica

Empresa: Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (Eletronorte)

Título: Modelo de análise de risco para bioinvasões aquáticas: estudo de caso do mexilhão dourado

Ciclo: 2006

Investimento: R\$ 681.258,00

Execução: Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento (Lactec), Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (Eletronorte) e Universidade Federal do Paraná (UFPR)

# Modelo de Análise de Risco para Bioinvasões Aquáticas: estudo de caso do mexilhão dourado

Patricia Dammski Borges<sup>1</sup>, Otto Samuel Mäder Netto<sup>1</sup>, Anastácio Afonso Juras<sup>2</sup> e Carlos Eduardo Belz<sup>3</sup>

**Resumo** – *Limnoperna fortunei* (mexilhão dourado) é um molusco bivalve originário da Ásia, que invadiu a América do Sul e atualmente encontra-se distribuído em diversas bacias hidrográficas brasileiras, causando impactos ambientais e econômicos, principalmente para o setor elétrico. A região Norte do Brasil ainda encontra-se livre deste problema. Através do estudo de vetores, monitoramento da espécie e análise dos sistemas de resfriamento da UHE Tucuruí, foi possível desenvolver um modelo de análise de risco da invasão do mexilhão dourado nesta usina. O modelo desenvolvido apresentou um valor alto para o reservatório, reflexo das condições do ambiente, dos usos a que o reservatório se destina e de sua importância ecológica. Este projeto foi uma iniciativa importante e pioneira para a região Norte, onde o problema das bioinvasões tem sido pouco discutido, apesar da relevância da região em termos de conservação da biodiversidade.

**Palavras-chave** – Bioincrustação, *Limnoperna fortunei*, biofouling, espécies invasoras, sistemas de resfriamento.

**Abstract** – *Limnoperna fortunei* (golden mussel) is a bivalve mollusk originating in Asia that invaded South America and is currently distributed in several Brazilian basins, causing environmental and economic impacts, particularly for the electricity sector. The northern Brazil is still free of this problem. Through the study of vectors, species monitoring and analysis of the cooling systems of Tucuruí HPP, it was possible to develop a model for risk analysis of mussel invasion of this plant. The model developed showed a high value for the reservoir, reflecting environmental conditions, the uses to which the tank is intended and its ecological importance. This project was an important and pioneer initiative in the North, where the problem of bioinvasions has been little discussed, despite the importance of the region in terms of biodiversity conservation.

**Keyword** – Bioincrustation, *Limnoperna fortunei*, biofouling, invasive species, cooling systems.

## I. INTRODUÇÃO

A introdução de espécies invasoras é considerada hoje, a segunda maior causa de declínio da biodiversidade [1], [2]. Os organismos aquáticos invasores são problemáticos não somente para os ecossistemas, mas também para as atividades humanas e sistemas industriais e produtivos. Um exemplo é o molusco bivalve de água doce *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (Mytilidae) (Figura 1), originário do sudeste asiático, e conhecido por mexilhão dourado [3].

Sua ocorrência na América do Sul foi relatada pela primeira vez em 1991, no estuário do rio da Prata, Argentina [4]. Em pouco tempo, dispersou-se para várias outras bacias hidrográficas da Argentina [5], Paraguai, Uruguai, Bolívia e Brasil [6]. Apesar de ainda pobremente documentadas na América do Sul, existem evidências de que esta espécie invasora esteja causando graves impactos ambientais [7]-[9] e já sabidamente grandes prejuízos econômicos [10]-[11]. A região norte do Brasil ainda encontra-se livre deste problema, e esforços devem ser direcionados para a prevenção da introdução do mexilhão dourado nesta região.

## II. ETAPAS

A. Prospecção de *Limnoperna fortunei* na Região Norte do Brasil.

Buscou-se identificar os locais de ocorrência da espécie no Brasil, por meio de dados secundários e coletas em campo. A figura 2 mostra os 78 pontos vistoriados através de coletas de água e buscas ativas.

As análises de plâncton foram realizadas sob microscópio estereoscópico e também utilizando métodos moleculares, em parceria com o Laboratório de Parasitologia Evolutiva e Ecologia Molecular da Universidade Federal do Paraná. Em todas as



Figura 1. *Limnoperna fortunei*.

Informações sobre o Projeto de P&D: '874\_2006\_LACTEC - Modelo de Análise de Risco para Bioinvasões Aquáticas: estudo de caso do mexilhão dourado nº 0372/020/2006'; 'ELETRONORTE'; 'LACTEC'; '2006'; 'R\$ 681.258,00'.

<sup>1</sup> 'Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento - LACTEC' (e-mails: patricia.borges@lactec.org.br; otto@lactec.org.br)

<sup>2</sup> 'Centrais Elétricas do Norte do Brasil' (e-mail: anastacio.juras@eletronorte.gov.br).

<sup>3</sup> 'Universidade Federal do Paraná - UFPR' (e-mail: belzoceros@gmail.com).



Figura 2. Pontos amostrados e de vistorias



Figura 3. Mapa com as principais rotas entre o porto de Manaus e as origens dos navios.

Características técnicas											TOTAL
Equipamento / sistema	Indicador de Risco	Indicador de Risco	Indicador de Risco	Indicador de Risco	Indicador de Risco	Indicador de Risco	Indicador de Risco	Indicador de Risco	Indicador de Risco	Indicador de Risco	
<b>Sistema de Explotación e Encendido</b>											
1	Tubo de descarga e Colector	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
39	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
41	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
42	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
43	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
46	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
47	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
49	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
51	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
52	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
53	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
54	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
55	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
56	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
57	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
58	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
59	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
60	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
61	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
62	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
63	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
64	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
65	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
66	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
67	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
68	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
69	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
70	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
71	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
72	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
73	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
74	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
75	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
76	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
77	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
78	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
79	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
81	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
82	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
83	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
84	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
86	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
87	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
88	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
89	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
90	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
91	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
92	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
93	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
94	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
95	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
96	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
97	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
98	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
99	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
100	Manif. de descarga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 4. Modelo da planilha de análise de risco dos sistemas.



Figura 5. Navio despejando água de lastro pelo porto de Vila do Conde (PA).

amostras analisadas, não foi detectada a presença de larvas de *L. fortunei*. Também não foram encontrados indivíduos adultos na região. Porém, deve-se ressaltar que indivíduos de *Corbicula sp.*, espécie de bivalve também invasora, foram encontrados. Apesar de estes animais causarem impactos menos evidentes, o caminho percorrido por esta espécie pode indicar uma possível rota de dispersão para o mexilhão dourado.

## B. Estudo dos Portos da Região Norte do Brasil

A grande movimentação de navios na região Norte pode ser um sinal de alerta para a introdução e dispersão de espécies invasoras aquáticas, como *L. fortunei*. Para avaliação do potencial dos portos como vetores de dispersão, foram considerados os dados do histórico de navegação dos portos de Manaus e de Macapá, e também de cinco portos do estado do Pará (Belém, Santarém, Vila do Conde, Miramar e Outeiro). Entre os dados considerados, estão a procedência e o destino dos navios, data de atracação e desatracação. Foi montado um banco de dados para cada estado e foram indicadas, em um mapa, as principais rotas dos navios.

No estado do Amapá, o porto de Santana é suscetível a bioin-

vasão devido à significativa movimentação de navios europeus, além de navios americanos e nigerianos.

No porto de Manaus, de acordo com a figura 3, além da conexão com a Espanha, Estados Unidos, Nigéria e Panamá, a presença de navios provenientes do sul e do sudeste brasileiros, onde já está presente o mexilhão dourado, indica que este porto pode servir como porta de entrada para *L. fortunei*.

Os cinco portos do Pará movimentam grande parte dos navios entre eles, ou entre os portos de estados vizinhos, como Maranhão e Amazonas.

Desta maneira, os portos da região devem ficar em alerta e serem monitorados constantemente. Além disso, a presença de navios provenientes dos Estados Unidos alerta para uma possível invasão de outra espécie: *Dreissena polymorpha*, conhecido como mexilhão zebra, e presente em praticamente todo o litoral americano.

## C. Estudos dos Sistemas de Resfriamento

Esta etapa visou o desenvolvimento de uma ferramenta sim-



Figura 6. Usina de extração de areia próxima a Marabá, onde foram identificados indivíduos vivos de *Corbicula sp.*

ples e objetiva para a avaliação do risco de infestação por mexilhão dourado no sistema hidráulico de uma UHE.

Para a UHE Tucuruí, os fatores considerados foram velocidade e temperatura da água; facilidade de limpeza; acessibilidade para vistoria; sensibilidade para corrosão ácida e alcalina; efeito do mexilhão na operação e manutenção; sensibilidade à sobre-velocidade e à sobrepressão; e dimensão do equipamento. Além disso, foram arbitrados pesos para cada característica técnica. No cruzamento, obtém-se uma pontuação que avalia o quão crítica é aquela característica no equipamento em análise (Figura 4).

A planilha calcula o valor total das notas como sendo o somatório dos produtos entre o valor da nota atribuído a cada característica técnica (CT) e os seus respectivos pesos, ou seja:

$$Total = \sum_{i=CT_1}^{CT_n} nota_i \times peso_i$$

D. Análise de Vetores de Dispersão de *Limnoperna fortunei* na Região Norte do Brasil.

• Água de Lastro

Milhares de espécies exóticas são transportadas nos tanques de lastro das embarcações, e algumas acabam introduzidas em um local podendo impactar o meio ambiente, a economia e a saúde das pessoas [12]. O estudo realizado nos portos identificou um grande volume de embarcações e rotas de navios na região. Isto transforma a água de lastro em um dos vetores mais fortes. A Figura 5 mostra um navio despejando água de lastro no Porto de Vila do Conde (PA).

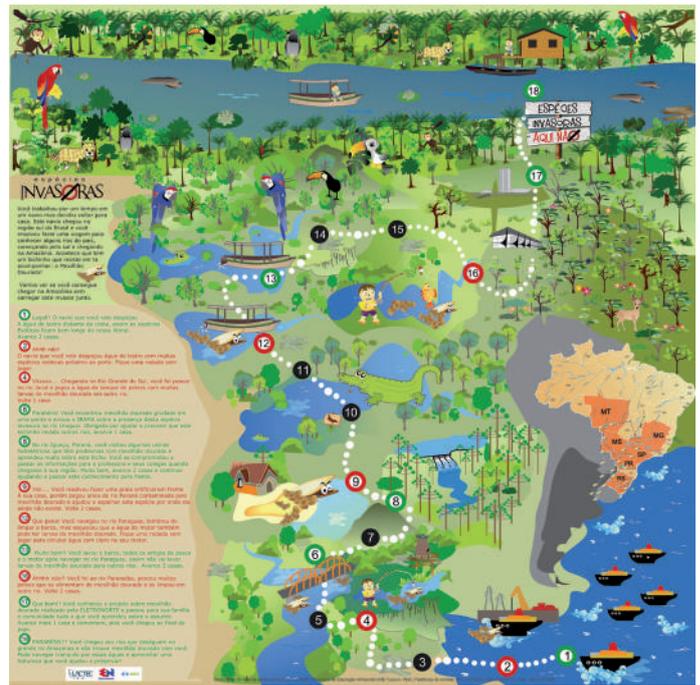


Figura 7. Jogo de tabuleiro

• Pesca esportiva

Barcos de lazer e pesca esportiva têm sido freqüentemente associados à dispersão de espécies invasoras para corpos d'água não conectados [13]-[14]. Este pode ser um vetor importante na passagem da espécie para a Bacia Amazônica, cujas nascentes são bem próximas a áreas afetadas e a atividade de pesca é intensa.

• Transporte de areia

Estudos na região sul do Brasil identificaram que quase 10% do volume de areia são destinados à construção de praias artificiais em reservatórios [14]. Este é um vetor potencial de indivíduos juvenis e adultos e foi identificado com relativa intensidade no rio Tocantins (Figura 6).

E. Modelo de Análise de Risco

O Índice de vulnerabilidade ao mexilhão dourado (IVMD) foi criado para avaliar a vulnerabilidade de um reservatório a receber e desenvolver uma população de mexilhão dourado. A interpretação do IVMD refere-se ao valor global obtido, que resume a vulnerabilidade de cada reservatório, incluindo ao mesmo tempo suas aptidões para receber o mexilhão dourado e também a gravidade de sua presença. A escala geral de interpretação do IVMD, sob este ponto de vista é a seguinte:

Intervalo do IVMD	Vulnerabilidade ao mexilhão dourado	Cor de referência
< 32	Nula ou muito baixa	Azul
32 a 36	Baixa	Verde
37 a 45	Moderada	Amarelo
46 a 54	Alta	Laranja
> 54	Muito Alta	Vermelho



Figura 8. Cartaz

Valor do IVMD para o reservatório de Tucuruí:

IVMD = [(CER + VD + CGBH + ESEE) + RD] x VE	Mínimo	Máximo
	85,7	100,00

## F. Transferência de Resultados

Entre as atividades desenvolvidas no projeto pode-se destacar: palestras para funcionários da usina de Tucuruí, para os principais portos da região e para representantes do poder público local; elaboração, em parceria com o CPA de Tucuruí, de material de divulgação do problema; treinamento da equipe de

limnologia de Tucuruí para identificação de larvas de bivalves em amostras de água; II Simpósio Brasileiro sobre Bioinvasões, dentro do Congresso Brasileiro de Zoologia, em 2012 – Belém (PA); I Reunião Técnica sobre Bioinvasões na região Amazônica; Workshop – apresentação dos dados finais do projeto na usina de Tucuruí.

## G. Educação ambiental

Foram desenvolvidos materiais de educação ambiental que foram entregues à equipe de educação ambiental da Eletronorte, em Tucuruí. Foram produzidos um jogo de tabuleiro (Figura 7), um folder e um cartaz (Figura 8).

## III. CONCLUSÃO

A linha da prevenção, baseada na predição e na análise de risco, representa um dos caminhos mais sensatos a ser seguido. Somado a isso, existe uma grande necessidade de formação de pesquisadores especializados no tema. Um investimento maior na área também depende de ações políticas. O caminho deve ser o da união de esforços e da multidisciplinaridade, para juntos criarem mecanismos para controlar este problema. Este projeto foi uma iniciativa importante para a região Norte, onde o problema das bioinvasões tem sido pouco discutido, apesar da relevância da região em termos de conservação da biodiversidade.

A continuidade do projeto é importante para a realização constante e contínua das espécies invasoras e potencialmente invasoras na região. O modelo de análise de risco deve ser aprimorado e pode ser implementado em outras usinas da Eletronorte. Além disso, a genética é uma ferramenta inovadora que pode ser aplicada tanto no monitoramento quanto na análise de risco, e é fundamental na prevenção de novas introduções.

## IV. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelos subsídios para a importação, constantes da Lei 8010/90, L.I. 06/1884224-9, à ANEEL, pelo financiamento e infraestrutura para a condução deste projeto de pesquisa e a todos que colaboraram de alguma forma com a execução e conclusão do projeto.

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BASKIN, Y. "A plague of rats and rubber-vines. The growing threat of species invasions. The Scientific Committee of Problems on the Environment (SCOPE)". Washington: Island Press, 2002, p. 377.
- [2] VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M., "Human domination of Earth's ecosystems". Science, vol. 277, 1997, pp. 494-499.
- [3] MASTORIN, B. "Some aspects of the biology and functional morphology of the feeding and digestion of *Limnoperna fortunei* (DUNKER) (Bivalvia: Mytilacea)". Malacologia, vol. 12, 1973, pp. 265-281.
- [4] PASTORINO, G.; DARRIGRAN, G.; MARTIN, S. M.; LUNASCHI, L. "Limnoperna fortunei (DUNKER, 1857) (Mytilidae), a new bivalve invading the waters of Rio de La Plata". Neotropica La Plata, vol. 39, 1993, pp. 101-102.
- [5] DARRIGRAN, G.; DRAGO, I. Ezcurra de. "Distribución de *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (Mytilidae), en la cuenca del Plata. Region Neotropical." Medio Ambiente, vol. 13(2), 2000, pp. 75-79.
- [6] MMA – Ministério do Meio Ambiente, Espécies Exóticas Invasoras: Situação Brasileira. Secretaria de Biodiversidade e Floresta. Brasília: 2006, p. 24.
- [7] DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C., "A South American bioinvasion case history: *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857), the golden mussel." Amer. Malac. Bull., vol. 20, 2005, pp. 105-112.
- [8] MANSUR, M. C. D.; RICHINITTI, L. M. Z.; SANTOS, C. P. "Limnoperna fortunei (DUNKER, 1857), invasive bivalve, Guaíba Bay, Rio Grande do Sul, Brazil." Biociencias, vol. 7 (2), 1999, pp. 147-150.
- [9] OLIVEIRA, M. "Ocorrência e Impactos do Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*, DUNKER 1857) no Pantanal Mato-Grossense." EMBRAPA, Circular Técnica 38, 2003.
- [10] MATSUI, Y.; NAGAYA, K.; FUNAHASHI, G.; GOTO, Y.; YUASA, A.; YAMAMOTO, H.; OHKAWA, K.; MAGARA, Y. "Effectiveness of antifouling coatings and water flow in controlling attachment of the nuisance mussel *Limnoperna fortunei*." Biofouling, vol. 18(2), 2002, pp. 137-148.
- [11] CATALDO, D.; BOLTOVSKOY, D.; POSE, M. M., "Control del molusco incrustante *Limnoperna fortunei* mediante el agregado de moluscicidas al agua" In Tercera jornada sobre conservación de la fauna íctica en el río Uruguay. Paysandu, Uruguay, 2002.
- [12] J. S. V. Silva & R. L. Souza, Água de Lastro e Bioinvasão. Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- [13] JOHNSON, L. E.; CARLTON, J. T. "Post-Establishment spread in large-scale invasions: dispersal mechanisms of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*" Ecology, vol. 77 (6), 1996, pp. 1686-1690.
- [14] BELZ, C. E. "Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857): um modelo para a bacia do rio Iguaçu, Paraná" Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Zoologia, Universidade Federal do Paraná. 2006.



FURNAS

## Bateria de lítio-íon é opção inovadora para telecomunicações no setor elétrico

Os sistemas de energia associados constituem parte fundamental na manutenção das operações das empresas do setor elétrico, pois são acionados quando há falhas na distribuição convencional de eletricidade. Entre as operações críticas dessas empresas, estão as de telecomunicação, que devem funcionar continuamente para garantir a rapidez na resposta a distúrbios. No Brasil, a retaguarda de suprimento utiliza predominantemente baterias de chumbo Valve Regulated Lead-Acid (VRLA), relativamente baratas, mas que apresentam um número crescente de problemas. Como alternativa, a Eletrobras Furnas e a Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD) investigaram o custo-benefício da tecnologia lítio-íon.

Comparadas às baterias chumbo-ácidas, as de lítio-íon têm um terço do volume e um quinto do peso. Elas não emitem gases, apresentam espantosa vida útil e causam impacto ambiental significativamente menor. A instabilidade observada frente a sobrecargas, sobredescargas, curtos-circuitos e altas temperaturas foi resolvida com a eletrônica de controle Battery Management System (BMS), que se mostrou eficaz em testes. Satisfeita com o resultado, a Eletrobras Furnas adquiriu o equipamento em 2011 para seu Centro de Operações, no Rio de Janeiro, e planeja a adoção em outros locais críticos. A empresa coordena grupos sobre o assunto na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e no Cigré Brasil (International Council on Large Electric Systems). O trabalho embasa uma recomendação em elaboração pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) para esse tipo de bateria.

### Ficha técnica

Empresa: Eletrobras Furnas

Projeto: Pesquisa do desempenho de bateria de lítio-íon para aplicação estacionária.

Ciclo: 2006/2007

Investimento: R\$ 400.000,00.

Executores: Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD)

# Pesquisa do desempenho de bateria de lítio-íon para aplicação estacionária

Alexandre Pinhel Soares<sup>1</sup>, Maria de Fátima N. C. Rosolem<sup>2</sup>, Glauco R. Santos<sup>2</sup>, Vitor Torquato Arioli<sup>2</sup>, Rodrigo Samuel Nazari<sup>2</sup>, Raul F. Beck<sup>2</sup>, Kaue T. Miranda<sup>2</sup>

**Resumo** – Muitos sistemas de telecomunicações utilizados pelas empresas do setor elétrico são críticos e impactam diretamente no negócio principal, sendo imprescindível, portanto, que operem sem interrupção. Como parte das indisponibilidades registradas nas telecomunicações são causadas pelos sistemas de energia associados (ditos auxiliares), toda melhoria realizada nestes repercute por toda a cadeia produtiva. Esse cenário pode ser observado atualmente em um tipo específico de bateria que tem presença dominante nessa área. Procurando atacar esse problema, a Eletrobras Furnas elaborou um projeto de P&D (inédito na América Latina) em conjunto com a Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD) para investigar a tecnologia lítio-íon. Esse trabalho apresenta detalhes dessa investigação e a estratégia adotada pela empresa desde 2005 para inserir essa tecnologia no Brasil.

**Palavras-chave** – Baterias de lítio-íon, baterias VRLA, confiabilidade, durabilidade, telecomunicações.

**Abstract** – Many telecommunication systems used by companies in the power sector are critical and directly impact the core business. Therefore, it is imperative that they operate without interruption. As part of outages recorded in telecommunication systems are caused by associated energy (so-called auxiliary), every improvement made in these reverberates throughout the production chain. This scenario can be observed today in a specific type of battery that has a dominant presence in this area. Seeking to attack this problem Eletrobras Furnas drafted a P&D project (unprecedented in Latin America) in conjunction with the Foundation Centre of Research and Development in Telecommunications (CPqD) to investigate the lithium-ion technology. This paper presents details of this re-search and the strategy adopted by the company since 2005 to put this technology in Brazil.

**Keyword** – Lithium-ion batteries, VRLA batteries, reliability, durability, telecommunications.

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de backup utilizados em telecomunicações empregam predominantemente baterias do tipo Valve Regulated Lead-Acid (VRLA). A popularidade dessa tecnologia deve-se ao fato de ela ser considerada de baixa manutenção, uma vez que não exige reposição de água. Porém, nos últimos anos, tem-se observado um número crescente de problemas no Brasil.

Essa situação tem obrigado as empresas a adotarem sofisticadas técnicas preditivas, já que não há como serem feitas inspeções visuais, pois os vasos não são transparentes e o eletrólito é imobilizado por meio de gel ou materiais a base de fibra de vidro. A técnica mais usual baseia-se no acompanhamento dos valores de condutância dos elementos [1]. Ela é adotada também pelas empresas do Sistema Eletrobras e proporcionou condições para identificação da degradação de qualidade mencionada.

Furnas possui grande domínio da técnica de manutenção preditiva citada, mas isso não garante a confiabilidade requerida. Tem-se tentado também melhorar as especificações de compra. Esse tipo de ação pode resultar em produtos melhores, mas tem suas limitações, especialmente em empresas públicas sujeitas às regras de licitação. Já a adoção de nova tecnologia pode resolver a questão, mas traz consigo o risco da novidade e normalmente tem custo elevado. Essa linha de ação deve ser

feita com grande respaldo de pesquisa, como o aqui apresentado para o caso da bateria de lítio-íon.

O ganho de confiabilidade é um grande motivador, mas os custos envolvidos justificam uma análise econômica. O investimento inicial em baterias VRLA é cerca de três vezes menor, porém, quando analisados os gastos totais ao longo da vida útil, as baterias de lítio-íon tornam-se mais atrativas, especialmente em regimes de temperaturas elevadas [2].

Diante dos resultados satisfatórios da pesquisa, Furnas licitou e adquiriu sistemas lítio-íon para funcionarem no Centro de Operações da empresa, no Rio de Janeiro, e já possui planejamento para adoção dessa tecnologia em outros locais críticos.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Pela literatura, as baterias estacionárias de lítio-íon apresentam as seguintes vantagens [3]:

- Têm um terço do volume e um quinto do peso quando comparadas com baterias chumbo-ácidas equivalentes, o que reduz bastante o espaço necessário para instalação;
- Não há reposição de eletrólito nem emissão de gases, o que reduz os gastos com manutenção e permite a instalação em praticamente qualquer local;

- Não necessita de cuidados especiais para ser armazenada, pois não apresenta perda de capacidade, mesmo sem climatização. Essa característica, aliada às pequenas dimensões dos elementos, simplifica as questões relacionadas com a administração de sobressalentes;

Pesquisa do desempenho de bateria de lítio-íon para aplicação estacionária.

Código ANEEL: 0394-031/2006

Ciclo 2006/2007

Empresa: Eletrobras Furnas

Entidade executora: CPqD

Investimento: R\$400.000,00.

<sup>1</sup> 'Eletrobras Furnas' (e-mail: pinhel.furnas@gmail.com).

<sup>2</sup> 'CPqD' (e-mail: mfatima@cpqd.com.br).

- Os processos fabris e a reciclagem das baterias de lítio-íon causam bem menos impacto ambiental do que seus equivalentes relativos às baterias chumbo-ácida e níquel/cádmio.

As baterias de lítio-íon apresentam também características superiores em relação à densidade de energia, velocidade de recarga, operação em estado parcial de carga e vida útil, mas requerem atenção quanto à segurança em operação [4]. Isso ocorre devido à instabilidade dos materiais frente a sobrecargas, sobredescargas, curtos-circuitos e altas temperaturas. Essa questão é abordada pelos fabricantes com a incorporação da eletrônica de controle Battery Management System (BMS).

O BMS agrega funções de controle, segurança e operação. Impede a continuidade de carga quando a bateria já apresenta tensão nominal, evitando o colapso – que seria desastroso, pois a quantidade de energia envolvida é muito alta. Ele atua através de dois sistemas distintos. O primário atua diretamente nos terminais da célula eletroquímica e sua função é limitar as correntes de descarga e recarga. O secundário, além das funções de proteção, monitora a tensão, o estado de carga e o nível mínimo de energia na célula, entre outras grandezas.

Essas características foram investigadas visando orientar a empresa quanto a melhor linha de ação para adoção dessa tecnologia. Para tanto, foi desenvolvido um protocolo de ensaios não destrutivos que engloba as questões de funcionalidade, desempenho elétrico e segurança.

Após levantamento normativo internacional, adotou-se a norma norte-americana Telcordia GR-3150-CORE (Generic Requirements for Secondary Non-Aqueous Lithium Batteries), publicada em junho de 2007, como base para o desenvolvimento desse protocolo de ensaios [5].

Foi feito mapeamento dos fabricantes atuantes em aplicações estacionárias, porém foi avaliado também o uso de baterias desenvolvidas para veículos elétricos. Estas foram descartadas devido a inadequações mecânicas, dificuldades referentes aos sistemas de proteção e desinteresse dos fabricantes nessas aplicações. Buscaram-se amostras que já apresentassem características de produto final. Foram investigados cerca de 20 fabricantes, e dois se mostraram dispostos a participar da pesquisa.

As amostras foram submetidas a ensaios típicos de capacidade nos regimes convencionais de descarga (quatro, oito e 24 horas), bem como nos de recargas que seguiam orientações dos fabricantes quanto à tensão, à duração e à corrente. Nos ensaios de segurança, as amostras foram submetidas a ensaios de sobredescarga, sobrecarga, inversão de polaridade e curto-circuito externo. Como a norma adotada não descreve alguns ensaios relevantes para utilização no cenário de interesse, foram desenvolvidos procedimentos específicos para suprir essas lacunas.

### III. RESULTADOS

Os ensaios elétricos confirmaram o funcionamento e as características nominais das baterias. Durante a descarga, observou-se que a diminuição da tensão é muito lenta, apresentando queda abrupta somente quando é atingido o esgotamento energético da bateria, levando ao seu desligamento pelo BMS. Ou seja, estas baterias apresentam patamar de tensão com pouca variação durante a descarga, fornecendo potência praticamente constante. Esta é outra característica diferencial em relação às baterias chumbo-ácidas.

Por meio da integração e do balanço da quantidade de energia fornecida/removida (Ah) durante as cargas e descargas, observou-se que a eficiência de recarga da bateria de lítio-íon é em torno de 90 a 98%, diferentemente das baterias chumbo-ácidas que é em torno de 70 a 80%. Os ensaios de segurança constataram a eficácia do BMS frente a possíveis abusos elétricos. O ensaio de ciclagem verificou o desgaste da bateria. As amostras foram carregadas e descarregadas 300 vezes e mantiveram capacidade superior a 90%. Considera-se que 30 descargas equivalem a dez anos de operação. Por esse critério, a bateria superaria 90 anos de vida UTI – porém, esse raciocínio aplica-se somente à degradação devido à operação, não levando em consideração o envelhecimento natural das células eletroquímicas e as falhas relativas à eletrônica embarcada, que são aleatórias [6].

Além dos ensaios adotados da norma GR-3150, foram realizados testes específicos para verificação de adequação à realidade da operação em ambiente de telecomunicações do setor elétrico, como:

- Recarga com altas correntes não controladas;
- Operação de baterias em paralelo;
- Avaliação da corrente máxima de descarga.

Os resultados obtidos forneceram conhecimento e confiança suficientes para a elaboração de uma especificação de compra para implantação operacional imediata. A Eletrobras Furnas realizou então a primeira licitação pública brasileira para esse tipo de equipamento, tornando essa tecnologia uma realidade operacional no Brasil (Figura 1). Essa licitação ocorreu em novembro de 2011 e causou interesse em cerca de 20 empresas.

O reconhecimento obtido com esse trabalho possibilitou à empresa assumir a coordenação dos trabalhos normativos junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (Cobei). A primeira norma finalizada (Acumulador lítio-íon para aplicação estacionária em 48V.c.c. – Especificação) trata das características mínimas necessárias para esse tipo de bateria.

Além de embasar e divulgar o assunto, esse trabalho será utilizado na elaboração da recomendação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) para esse tipo de bateria,

Para comparação, as baterias de telefones celulares fornecem energia na ordem de 3 a 4Wh enquanto a menor das amostras estudadas nesse projeto fornece 2,3kWh.

umentando a penetração dessa tecnologia no Brasil. Como continuidade desse trabalho, está em andamento a elaboração da norma “Acumulador lítio-íon para aplicação estacionária em 48V.c.c. – Métodos de ensaio”.

No âmbito do setor elétrico, a Eletrobras Furnas está coordenando o grupo de trabalho do Cigré Brasil (Internacional Council on Large Electric Systems) que está elaborando documentos no tema.

#### IV. MEIO AMBIENTE

A exploração e as utilizações do chumbo são ambientalmente agressivas e podem afetar a saúde humana [7]. Esse quadro negativo explica a remoção do chumbo de diversas aplicações tecnológicas, restando atualmente poucas exceções. A mais significativa delas é a bateria chumbo-ácida, e isso se deve à inexistência de alternativa economicamente viável.

Esse cenário é atenuado pela reintrodução do chumbo nas cadeias produtivas, principalmente o proveniente de baterias. Nesse setor, o reaproveitamento no Brasil é da ordem de 95%.

Como exemplo, em 2011, os cinco maiores produtores brasileiros de baterias estacionárias colocaram em circulação aproximadamente 5.000 toneladas de chumbo, gerando cerca de 250 toneladas de resíduos com destino a aterros industriais. Além dos cuidados relativos ao chumbo, o ácido sulfúrico, que é o eletrólito, também é tratado e gera passivo ambiental.

Já as baterias de lítio-íon são totalmente recicladas, principalmente por derretimento e refino [8], não gerando passivo ambiental. Não é ainda economicamente viável o reuso do lítio na fabricação de baterias, mas consegue-se material agregado com alumínio para uso na indústria do cimento e cerâmica. Já o cobre, o níquel, o cobalto e o ferro são refinados e totalmente reaproveitados.

#### V. CONCLUSÕES

A viabilidade da bateria estacionária de lítio-íon está associada à confiança no BMS. Este, por sua vez, interfere na elaboração e execução dos ensaios, de forma que, para realizá-los, deve-se conhecer profundamente a bateria. O BMS faz com que essas baterias devam ser tratadas como equipamentos eletroe-



Figura 1: Sistema lítio-íon montado pela Eletrobras Furnas e instalado no Centro de Operações

lêtrônicos e não como dispositivos eletroquímicos. Essa mudança impõe reflexão sobre os planos de manutenção e capacitação do pessoal da manutenção [6].

As baterias analisadas apresentam especificidades quanto a sua construção, operação e desempenho, mas as questões que envolvem proteção apresentam lógicas semelhantes, mostrando convergência dos fabricantes quanto à segurança.

Com os trabalhos normativos na ABNT, espera-se promover debates na sociedade, criando demanda, estimulando melhorias nos produtos, redução dos preços e consolidando essa tecnologia no Brasil.

A comparação com os materiais utilizados pelas baterias VRLA indica futuro ganho ambiental quando a tecnologia lítio-íon alcançar expressão no mercado.

Pelo exposto, além de contribuir com o meio ambiente, a Eletrobras Furnas obterá aumento de confiabilidade nos sistemas críticos que passarão a operar com essas baterias, com reflexos positivos no negócio da empresa.

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SOARES, A.P.; ROSOLEM, M. F. N. C.; ARIOLI, V. T.; BECK, R. F.; SANTOS, G. R.; FRARE, P. T.; SOARES, L. A. “Impacto da estocagem na vida útil de baterias chumbo-ácidas reguladas por válvula – (VRLA)”, 23o Congresso Brasileiro de Manutenção, 2008.
- [2] “A comparison of lead acid to lithium-ion in stationary storage applications”, white paper. AllCell Technologies LLC, março 2012.
- [3] HORIBA, T.; MAESHIMA, T.; MATSUMURA, T.; KOSEKI, M.; ARAI, J.; MURAKANA, Y. “Applications of high power density lithium ion batteries”. Journal of Power Sources, vol.146, 2005, pp. 107-110.
- [4] BROUSSELY, M. “Industrial applications of batteries. From cars to aero-space and Energy Storage – Chapter 4: Traction batteries. EV and HEV.” Broussely, M. e Pistoia, G. Eds. Elsevier B.V, 2007, p. 207.
- [5] MCDOWALL, J.; BELLE, M. “Designing to meet GR-3150 — avoiding the pitfalls of lithium-ion battery development”. San Diego: Telecommunications Energy Conference, 2008. INTELEC 2008.
- [6] SOARES, A.P.; MOTTA, J. A. P. “Engenharia de manutenção em sistemas eletroeletrônicos”, 24o Congresso Brasileiro de Manutenção, 2007.
- [7] SOUSA, E. A.; OLIVEIRA, E. C.; REIS, E. M. “Os benefícios da reciclagem de baterias de chumbo-ácido no leste de Minas”. Dissertação de mestrado, Universidade Vale do Rio Doce – Faculdade de Engenharia, Governador Valadares, 2009.
- [8] PIETRELLI, L. “Metal recycling from exhausted batteries”. Proc. Global Symp. Recycling Waste Treatment and Clean Technology, vol. II, 1999, pp. 675-680.



# UTE NORTE FLUMINENSE

## Adição de glicerina potencializa biogás a partir de esterco de suínos

Um experimento promovido pela UTE Norte Fluminense S/A e empreendido por pesquisadores da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) conseguiu tornar mais eficiente a obtenção de energia a partir do biogás derivado de esterco de porco, ao lançar mão de outro resíduo: a glicerina proveniente da produção de biodiesel.

Chamada de glicerina bruta, ela é farta no país, especialmente depois que o governo brasileiro inaugurou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. A pesquisa, conduzida no Laboratório de Catálise e Energia da UENF, aferiu primeiramente as informações a respeito da biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos à temperatura de 35°C, em um reator hermeticamente fechado, por cerca de dois meses. Depois, a reação na biodigestão foi testada com a adição de teores de glicerina bruta e comercial em peso de 1%, 2% e 4%. Foram utilizados nessa fase os reatores tipo tonel apresentados anteriormente e também um mais sofisticado, em aço.

Embora as amostras com as misturas de 1% e 4% não tenham apresentado resultados animadores, a de 2% surpreendeu ao tornar a reação muito rápida e eficiente, produzindo um teor de metano de até 75% em apenas 20 dias, um terço do tempo verificado sem a glicerina. A produção de gás carbônico ficou em torno de 30%, o que garante um biogás de boa qualidade. Atendido o objetivo do projeto, os próximos passos serão a reprodução do experimento em grande escala e a realização de testes com matérias-primas como o vinhoto e o esterco bovino.

### Ficha técnica

Empresa: UTE Norte Fluminense S/A

Título: Aproveitamento do biogás gerado da biodigestão da glicerina para produção de energia elétrica

Ano: 2009

Investimento: R\$330.000,00

Execução: Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)

# Geração de energia elétrica a partir do biogás obtido da biodigestão de dejetos suínos com resíduos da produção de biodiesel

Paulo R. N. da Silva<sup>1</sup> e Kariza M. S. Minini<sup>2</sup>

**Resumo** – Este trabalho tem por objetivo analisar aspectos técnicos relacionados com a geração de energia elétrica utilizando o biogás gerado pela codigestão de dejetos suínos com glicerina. No aspecto técnico, o trabalho aponta a possibilidade de aumentar a produção de biogás e, consequentemente, a eficiência energética, com a incorporação de glicerina, resíduo da produção de biodiesel, aos processos anaeróbicos de biodigestão. Neste caso, ficou comprovado que a adição de 2%, em peso, de glicerina a uma determinada massa do sistema dejetos suínos-água, aumenta a produção de biogás e diminui o tempo de sua obtenção em cerca de três vezes.

Em relação ao aspecto econômico, estudou-se a viabilidade do projeto de geração de energia de forma a conciliar a geração própria e a fornecida pela concessionária, além da possibilidade de comercialização do biofertilizante e dos créditos de carbonos. Do ponto de vista ambiental, destaca-se o tratamento de resíduos poluentes, contribuindo para a não emissão de carbono na atmosfera. Os resultados levaram a propor a construção de uma usina experimental em um assentamento da região de Campos dos Goytacazes (RJ).

**Palavras-chave** – Biodigestão, biogás, glicerina, energia elétrica.

**Abstract** – This paper aims to analyze the technical aspects associated with the generation of electricity using biogas generated from co-digestion of pig manure with glycerin. On the technical side, this paper shows the possibility of increasing biogas production and hence energy efficiency, with the incorporation of glycerin, a waste product of biodiesel production, anaerobic digestion processes. In this case it was proved that addition of 2% in weight of glycerin to a certain mass from the swine waste-water system, biogas production increases and decreases the time of its acquisition by about three times.

Regarding the economic aspect, we studied the feasibility of the project of power generation in order to reconcile its own generation and the one provided by the concessionaire, and the marketability of biofertilizer and carbon credits. From an environmental standpoint, the highlight is the treatment of pollutants, contributing to non-carbon in the atmosphere. The results led to propose the construction of an experimental plant in a settlement in the Campos Goytacazes (RJ).

**Keyword** – bio-digestion, biogas, glycerin, electricity.

## I. INTRODUÇÃO

Desde os anos 70, a crise no setor elétrico brasileiro vem se agravando, visto que as tarifas da eletricidade se mantiveram mais baixas, tornando inviáveis investimentos necessários para que a oferta de energia fosse garantida. Entre 1992 e 1997, o crescimento no consumo de eletricidade foi de mais de 16%, surgindo, dessa forma, grande preocupação com o déficit de energia e riscos de interrupção no fornecimento [1].

Diminuir a dependência de combustíveis fósseis e não renováveis e buscar soluções ambientalmente corretas, como a utilização da biomassa como fonte de energia, não apenas reduzirá os impactos globais pela queima de combustíveis fósseis como também contribuirá com a matriz energética dos países. É nesse contexto que, nos últimos anos vem crescendo o desenvolvimento do biodiesel como fonte de energia renovável [2].

Cerca de 10% da energia produzida hoje no Brasil é proveniente da biomassa, gerada pela queima de produtos orgânicos

[3]. Ela já é a terceira principal fonte de energia no país, ficando atrás apenas do petróleo e da energia hidrelétrica.

O tratamento de resíduos orgânicos através da biodigestão anaeróbica e da produção de biogás ganhou importância na última década, tanto nos países desenvolvidos quanto nos países em desenvolvimento. A biodigestão gera o biogás, que contribui para a mitigação do efeito estufa [4]. Isso se dá pela substituição de combustíveis fósseis usados na geração de calor e energia elétrica e pela geração de um resíduo sólido que pode ser usado como fertilizante.

Como consequência da produção de biodiesel promovida pelo governo brasileiro no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, espera-se uma oferta elevada da glicerina residual, coproduto da reação de transesterificação, com alta DQO (Demanda Química de Oxigênio) [5]. Uma das alternativas para o uso deste resíduo é a produção de biogás pelo processo anaeróbico, com vistas à produção de energia.

Os objetivos deste trabalho foram o desenvolvimento e a implantação de um processo de produção de biogás usando glicerina residual proveniente da produção do biodiesel com dejetos suínos.

## II. Desenvolvimento da Pesquisa

O presente trabalho trata da influência da concentração da

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL – Aproveitamento do biogás gerado da biodigestão da glicerina para produção de energia elétrica – P&D ANEEL 0678-0001/2009

Este trabalho foi apoiado financeiramente pela UTE Norte Fluminense S.A – UTE-NF e executado integralmente na UENF.

Valor aprovado: R\$330.000,00 (trezentos e trinta mil Reais)

Paulo R. N. Silva trabalha como professor na UENF ( nagipe@uenf.br)



Figura 1: Reator anaeróbico em aço para os processos de biodigestão.



Figura 2: Equipamento para análise dos gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO)

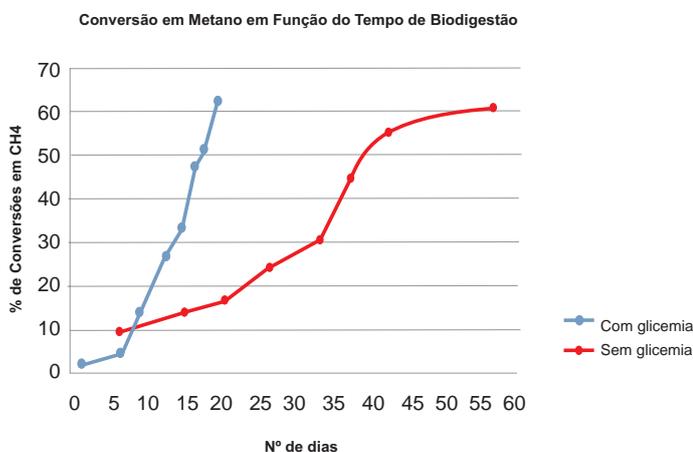


Figura 3 – Gráfico de conversão de metano para a biodigestão sem glicerina e com 2% de glicerina

biomassa no processo de biodigestão anaeróbia de uma mistura de glicerina e dejetos de suíno a temperatura de 35°C, para a produção do biogás composto essencialmente por metano e CO<sub>2</sub> e pequeno percentual de outros gases menos importantes, utilizando um biodigestor de bancada.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Catálise e Energia da UENF. Inicialmente, estudamos o processo de transesterificação do óleo de soja com metanol em presença de catalisadores heterogêneos, tipo CaO e catalisadores homogêneos, tipo KOH. Nesses processos utilizou-se uma relação molar metanol – óleo de soja de 6:1. A Figura 1 apresenta a foto do reator piloto, utilizado na síntese do óleo e da glicerina. Esta última, mais densa, encontra-se no fundo do reator, podendo ser separada por decantação. Além da glicerina sintetizada residual, testamos ainda a glicerina comercial.

#### A. Biodigestão de dejetos de suínos para preparação do inoculo e produção de biogás

Para dar andamento ao trabalho, resolvemos estudar primeiramente o processo de biodigestão de suínos isoladamente, sem glicerina, para definir as informações a respeito do processo de biodigestão, tais como pH do meio reacional, agitação,

temperatura do processo, entre outras. Logo após o processo, além do biogás, se produziu o inoculo que serviria para acelerar os processos futuros de biodigestão. Empregou-se no processo dejetos de porco oriundos da Fazenda São Tomé, no município de Campos dos Goytacazes (RJ).

O processo foi realizado em um reator hermeticamente fechado, apresentado na figura 1. Para tal, o processo de biodigestão foi realizado em um reator em aço tipo batelada, utilizando-se dejetos suínos e água na proporção de 2 : 1, ou seja, de 4,5 kg de esterco em 9,0 litros de água, totalizando um sistema com 13,5 kg de matéria-prima a ser biodigerida durante cerca de dois meses. Durante este tempo, procederam-se análises do biogás produzido, cujos resultados encontram-se na Tabela 1. O equipamento para análise dos gases, constituído de detectores de infravermelho, é mostrado na Figura 2.

Tabela 1 – Conversão em biogás (metano e CO<sub>2</sub>) a partir da biodigestão de dejetos de suínos.

Nº de Dias	% de CO <sub>2</sub>	% de CH <sub>4</sub>
7	17,6	10,2
16	31,2	14,8
21	39	17,8
34	40	32,2
41	31,4	56,6
55	24,4	62,2

Pode-se observar que um biogás com alto teor de metano foi obtido após 55 dias de reação.

#### B. Codigestão da glicerina com dejetos de suínos (fase 2)

Nesta fase da experiência, empregou-se, além dos reatores tipo tonel apresentados anteriormente, outro tipo de reator bem mais sofisticado (Figura 4), construído em aço, especialmente para este tipo de experimento. Foram utilizados teores de glicerina em peso de 1%, 2% e 4%. Após os resultados obtidos com os reatores tipo tonel, passávamos à etapa de consolidação dos resultados encontrados, repetindo todas as experiências em um

reator de aço construído especificamente para biodigestão anaeróbica. Nesse reator, a temperatura, a agitação e o pH eram acompanhados durante a biodigestão. No caso do reator de aço, a pressão também era acompanhada.

Os resultados do processo de biodigestão são mais eficientes com a mistura contendo 2% de glicerina. Com este teor, a reação de biodigestão torna-se muito rápida e eficiente, produzindo um biogás com as mesmas características anteriores em apenas 20 dias de reação. A Figura 3 ilustra este efeito positivo da glicerina, ao comparar os resultados de conversão do metano em função do tempo de residência, para os processos de biodigestão sem glicerina e na presença de 2% de glicerina associada aos dejetos suínos. Cumpre ainda ressaltar que os efeitos são indiferentes em presença de glicerina bruta e comercial.

Os resultados obtidos a partir da codigestão de dejetos de suínos com a glicerina são extremamente promissores, pois consegue-se em tempo muito curto de biodigestão, como é o caso da codigestão dos dejetos com 2% de glicerina, alcançar um teor de metano de 65% em 20 dias de reação. Este mesmo teor só é alcançado pela biodigestão dos dejetos puro em 60 dias. Com a glicerina bruta, chega-se a alcançar 75% de metano em 20 dias. A produção de CO<sub>2</sub> fica em torno de 30%, o que garante um biogás de boa qualidade. De outro lado, deve-se prestar muita atenção aos teores de glicerina, pois o teor de glicerina de 1%, em codigestão com esterco de porco, no início apresenta um aumento da produção de metano, atingindo 30% em um mês de reação, mas com o tempo este teor tende a cair, ficando com teor final de metano em 22%. Para a codigestão do esterco de porco com 4% de glicerina, este é ainda mais afetado, pois consegue-se apenas um teor final de metano de cerca de 10% ao fim de dois meses de reação.

Este trabalho de P&D foi plenamente atendido, pois, com a codigestão de dejetos de porco com 2% de glicerina, reduz-se drasticamente o tempo normal de biodigestão, além da produção de um biogás de boa qualidade.

Além disso, este resultado dá margem a trabalhos futuros, como é o caso:

1- Teste em grande escala para a codigestão de esterco de porco com 2% de glicerina;

2- Testes laboratoriais com outros tipos de matérias-primas, como vinhoto e esterco bovino.

### III. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi avaliar a glicerina como suplemento na biodigestão de dejetos de porco para a geração de biogás.

Os resultados indicaram que a glicerina bruta e a comercial podem ser usadas como suplemento na biodigestão anaeróbica, proporcionando um aumento na produção de biogás e no seu teor em metano quando adicionada em proporções de 2% m/m. Isto provavelmente foi resultado dos efeitos sinérgicos da combinação favorável de nutrientes provocada pela adição da glicerina bruta ao substrato original, estimulando a ação dos microorganismos que atuam no processo de biodigestão.

A adição de 4% m/m de glicerina bruta ao esterco suíno levou a problemas no processo, culminando com o colapso da bioce-nose do biodigestor.

No caso da codigestão com 1% de glicerina, praticamente não ocorre diminuição considerável em relação à biodigestão sem glicerina.

Conclui-se que, na adição de glicerina bruta, deve-se considerar o limite máximo para sua adição, para um efeito positivo na biodigestão. A geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores é viável tecnicamente e economicamente, principalmente para o consumo próprio, desde que sejam aplicadas técnicas para correção dos resíduos e do biogás. A adoção dessa alternativa pode acrescentar um aumento significativo na produção de energia elétrica, melhorando a forma de distribuição de energia e também acrescentando receita aos produtores. Esta aplicação pode ser ampliada com a introdução de uma quantidade de glicerina apropriada, como ficou constatado no processo de codigestão da glicerina com dejetos de porco.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VELAZQUEZ, S. G. "A cogeração de energia no segmento de papel e celulose: contribuição à matriz energética no Brasil". Tese de Mestrado, Programa de Interunidades de Pós Graduação e Engenharia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica (IEE) da Universidade São Paulo, 2000.
- [2] ANEEL. Atlas de Energia Elétrica no Brasil. 2008.
- [3] SERIO, M. Di.; LEDDA, M.; COZZOLINO, M.; MINUTILLO G.; TESSER, R.; SANTA CESARIA, E. "Transesterification of soy bean oil to biodiesel by using heterogeneous basic catalysts". Ind. Eng. Chem. Res. 45, 3009-3014, 2006.
- [4] SILVA, P. R. N. da. "Energias renováveis, novos materiais e sustentabilidade". Campos dos Goytacazes: EDUENF, 2009. 1a Ed.
- [5] CLASSEN, P.A.M.; LIER, J.B.; STAMRS, A.J.M. "Utilization of bio-mass for supply of energy", 1999.



## Sistema integrado auxilia no atendimento de populações próximas a reservatórios

Os reservatórios de usinas hidrelétricas reúnem em seu entorno populações cujas atividades econômicas envolvem os lagos. Para estimular um melhor uso do solo e menores impactos nas margens e no interior desses lagos, a EDP capitaneou o projeto piloto de um sistema para o planejamento de ações socioambientais. Os testes, no entorno da usina Luis Eduardo Magalhães (Usina de Lajeado – TO), trouxeram para a concessionária um manancial de informações sobre os moradores locais, facilitando a gestão sustentável da área e oferecendo subsídio às decisões empresariais.

O sistema se baseou em um banco de dados socioeconômicos e ambientais das comunidades vizinhas do reservatório, utilizando sistemas de informação geográficas (SIG) e de sensoriamento remoto (SR). As informações foram colhidas por satélites, fotografias e mapas temáticos, e também por equipes de campo, que exportavam seus levantamentos para o banco por meio de computadores de bolso. A partir dos dados, foram criados mapas temáticos e indicadores de sustentabilidade e da avaliação socioambiental integrada (ASAI). O projeto resultou na implantação de programas de educação ambiental e de preservação das matas de galeria. Mapas e análises para consulta e edição foram publicados na internet.

De acordo com os pesquisadores, o sistema foi eficiente na identificação das mudanças ocasionadas pela instalação do empreendimento e é uma ferramenta útil para o monitoramento e a tomada de decisão relativa aos reservatórios. A concessionária avalia que o projeto oferece benefícios se aplicado a outras usinas.

### Ficha técnica

Empresa: EDP

Título: Estudos e aplicações de geotecnologias à determinação de impactos e restrições socioambientais da Usina de Lajeado - plataforma SIG para identificação e tomada de decisões administrativas

Ano: 2009

Investimento: R\$ 1.330.627,00

Execução: Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE), Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PTR - EPUSP), Contrel Engenharia e IX Consultoria e Representações

# Estudos e aplicações de geotecnologias à determinação de impactos e restrições socioambientais da usina de Lajeado (TO)

Elaine C. F. G. Oliveira<sup>1</sup>, Fábio J. Micerino<sup>1</sup>, Maurício G. M. Jardim<sup>2</sup>, José A. Jardim<sup>3</sup>, José A. Quintanilha<sup>3</sup>, Luiz C. Magrini<sup>4</sup>, Sidnei Nicolli<sup>4</sup>, Thales Sousa<sup>4</sup>, Máira Dzedzej<sup>5</sup>, Bárbara K. Flauzino<sup>5</sup>, Afonso H. M. Santos<sup>5</sup>, Reinaldo C. C. Jr<sup>5</sup>., Reinis Osis<sup>5</sup>, Thomaz A. Oliveira<sup>5</sup>, Fernando C. Rosa<sup>5</sup>

**Resumo** – Neste trabalho, é apresentado o que foi desenvolvido quanto à análise de tecnologia de sensoriamento remoto por imagens de satélites e demais tecnologias atuais (sistema de informação geográfica – SIG e avaliação socioambiental integrada - ASAI), em que o produto desenvolvido é aplicado num projeto piloto. O estudo inclui o desenvolvimento de um sistema de informação para organização e planejamento de projetos socioeconômicos e ambientais nas margens dos lagos da Usina de Lajeado (TO). Os projetos socioeconômicos e ambientais podem ser organizados a partir do sistema de informação, otimizando sua apresentação e seu monitoramento, esperando-se estabelecer (aprimorando) metodologia inovadora para os projetos de uso e de ocupação do solo no entorno de reservatórios.

**Palavras-chave** – Avaliação socioambiental integrada (ASAI); cadastro georreferenciado; geotecnologias; gestão de projetos; uso e ocupação do solo.

**Abstract** – This paper presents what was developed concerning the analysis of remote sensing technology for satellite images and other current technologies (geographic information system – GIS and integrated environmental assessment – IEA), in which the product developed is applied to a pilot project. The study includes the development of an information system for organizing and planning socioeconomic and environmental projects on the shores of the lakes of the Lajeado Plant. The socioeconomic and environmental projects can be organized from the information system and optimizing your presentation hoping to establish monitoring (improving) designs innovative methodology for use and occupation of land around the reservoirs.

**Keyword** – Integrated environmental assessment (IEA); georeferenced registration; geotechnology; project management; use and occupation of land.

## I. INTRODUÇÃO

As ilhas e as áreas do entorno dos reservatórios são ocupadas por uma população que se relaciona e tem atividades econômicas que envolvem o lago direta e indiretamente. No caso do reservatório da usina Luis Eduardo Magalhães (Usina de Lajeado - TO), esta relação se dá principalmente por agricultura, pesca, turismo e outras atividades correlatas. Dentre essas atividades, algumas podem ser sugeridas e outras podem ser melhor orientadas quando planejadas e estabelecidos projetos desenvolvidos por equipe técnica multidisciplinar. Como resultado, obtém-se melhor organização e desenvolvimento das atividades econômicas, e, como consequência, o melhor uso do solo e menores impactos ambientais nas margens e no próprio lago.

Para o estabelecimento deste projeto, foi feita coleta, de forma sistêmica, das informações socioeconômicas e ambientais (meios físico e biótico) atuais para servir de base ao planejamento futuro sistematizado dentro da ASAI que subsidia o desenvolvimento a partir de indicadores de sustentabilidade.

As técnicas de sistemas de informação geográficas (SIG) e de sensoriamento remoto (SR) podem produzir a base necessária a este empreendimento. Este configurará principalmente

no direcionamento para a sistematização de informações que subsidiará o processo de gestão da informação e à tomada de decisões administrativas. Além disso, o projeto contempla a sugestão de programas ambientais e a análise integrada de alguns em execução considerando inclusive o Pacuera Lajeado de 2003 e a interface com o reservatório atualmente.

## II. DESENVOLVIMENTO

O sistema desenvolvido pode ser representado e explicado em seis blocos. Cada bloco executa uma tarefa do sistema (Figura 1). No banco de dados, estão contidas todas as tabelas, itens e seus relacionamentos que servem para armazenar as informações físico-bióticas coletadas em campo e as imagens de satélites, fotografias e mapas temáticos. No Bloco 2, com PDAs, foi desenvolvido um aplicativo que importa arquivos de interesse – a equipe de campo carrega consigo apenas as informações necessárias, atualizando-as, e as salvam no equipamento; outro aplicativo então realiza a exportação destes ao banco.

Alguns mapas temáticos foram gerados para subsidiar também a análise e a composição da ASAI (Figura 2). Esses mapas têm como objetivo caracterizar a Área de Influência do Meio Físico/Biótico do reservatório da UHE Lajeado.

Em processamento de imagens, estão contidas a metodologia e aplicação computacional para a detecção de mudanças, além da criação de mapas temáticos. Como resultado às campanhas de campo, confecção de mapas temáticos e consequente escolha dos indicadores de sustentabilidade e da consolidação da ASAI, sugeriram-se alguns programas, como os de educação ambiental e de preservação das matas de galeria. Em Publicação de mapas na WEB, há o aplicativo desenvolvido com softwares livres, nos quais se faz uso de todas as informações geradas

Estudos e aplicações de geotecnologias à determinação de impactos e restrições socioambientais da Usina de Lajeado - plataforma SIG para identificação e tomada de decisões administrativas; proponente INVESTCO S/A; cooperadas CEB Lajeado, Energest, Paulista Lajeado e Rede Lajeado; executoras Contrel Engenharia, FDTE e IX Consultoria e representações; 2009; Investimento R\$1.330.627,00.

1 Investco S/A e Energest S/A (elaine.gomes@investco.com.br)

2 FDTE –Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia(mauricio.jardini@gmail.com)

3 Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PTR - EPUSP) (jaquinta@usp.br)

4 Contrel Engenharia S/S (mjardini@contrelengenharia.com.br)

5 IX Consultoria e Representações (maira@ixconsult.com.br)

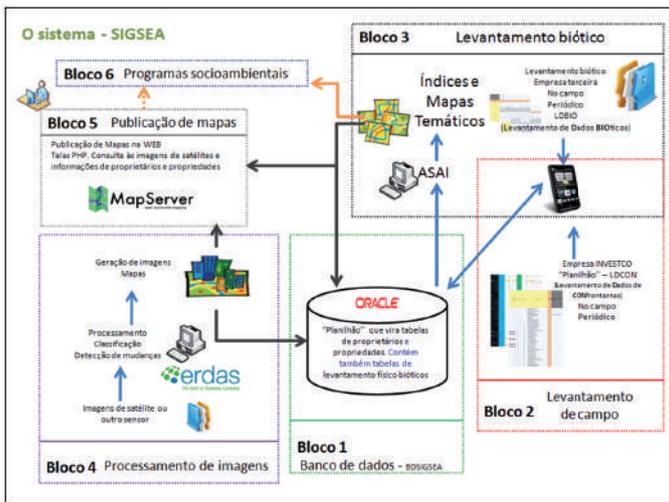


Figura 1. Diagrama de blocos – sistema de informação como um todo.

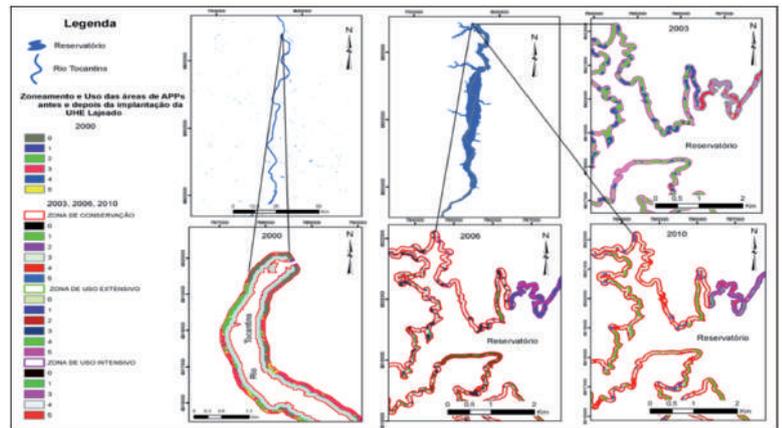


Figura 2. Ilustração do mapa de uso e ocupação na APP do rio Tocantins no ano de 2000 e APP do reservatório da UHE Lajeado em 2003, 2006 e 2010.

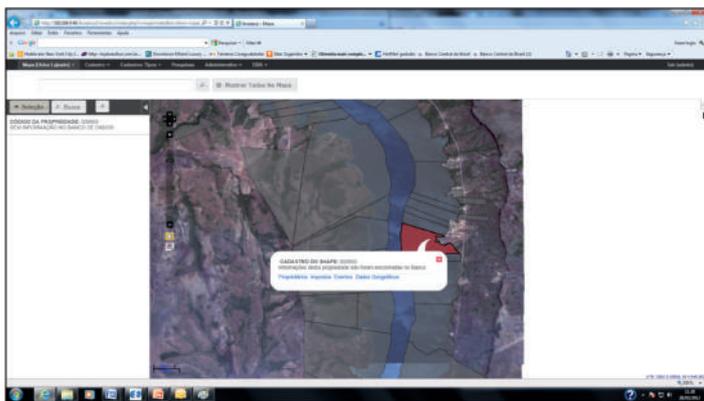


Figura 3. Ilustração de navegação em propriedade específica no entorno do reservatório. As informações mostradas foram alteradas para fins de sigilo.

e contidas no banco de dados, com a publicação de análises na web para consultas, edição e disparo de procedimentos administrativos futuros (Figura 3).

### III. CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES

De forma sucinta, este projeto:

#### A. Resolve

O sistema de informação desenvolvido, juntamente com as metodologias, torna-se uma ferramenta de tomada de decisão não só para projetos em andamento como também para aqueles futuros voltados às melhorias socioambientais no entorno/ bordas do reservatório da Usina de Lajeado. Além de atender as necessidades específicas do empreendimento piloto, ele está apto e já preparado para também funcionar com todos os demais reservatórios e usinas do grupo. Sendo assim, salvo necessidades específicas da concessionária e local da usina, pode-se afirmar

que também se aplicaria com qualquer outro reservatório e usina do Brasil. Com os desenvolvimentos, há a “automatização” de processos e, portanto, há agilidade na administração geral do reservatório como um todo. Os levantamentos de campo nas áreas piloto consolidam uma metodologia que pode ser empregada nestas e em outras áreas com o objetivo de identificar e monitorar a estabilização das mudanças ocasionadas pela instalação do empreendimento.

#### B. Inova

Não se trata de administrar o uso múltiplo da água apenas - envolve o entorno como um todo. Envolve, portanto o meio físico-biótico e a sinergia entre eles. Para tal, os desenvolvimentos, além das metodologias criadas e aprimoradas, envolve a sistematização de métodos (coleta de dados físico bióticos em campo), meios (imagens de satélites) e processos de análises (algoritmo SVM de classificação) para acompanhar e facilitar a tomada de decisão em projetos socioambientais.

#### C. Beneficia

Com os resultados e os desenvolvimentos, a empresa aperfeiçoa processos e decisões gerenciais e administrativas através das informações pertinentes a cada situação. Essas informações são disponibilizadas em ambiente computacional atrelado a um sistema SIG e a uma base de dados georreferenciados.

Com os desenvolvimentos, estima-se que conseguirão visitar cerca de 110 propriedades por semana e, por ano, 5280, conseguindo, portanto, visitar todas as propriedades – aumento de 37% no ano.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia v. 9 – Geração de energia elétrica a partir de outras fontes. Brasília: MME; EPE, 2007.  
 [2] JARDINI, M. G. M. Sistema para o gerenciamento de imóveis e ocupação de faixas de linhas de transmissão utilizando dados georreferenciados e de sensoriamento remoto. Tese de doutorado. São Paulo: Escola Politécnica da USP, área de Sistemas de Potência, 2003. 193 p.

Projetos das

# Transmissoras



CTEEP

## Protótipo de Sistema de Medição Fasorial Sincronizada é eficaz no monitoramento de rede

Com a finalidade de identificar e avaliar, de modo rápido e com considerável precisão, a ocorrência de perturbações e de oscilações eletromecânicas pouco amortecidas na rede de transmissão, a Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista desenvolveu o protótipo de um Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (Synchronized Phasor Measurement System – SPMS). Essa tecnologia verifica a frequência e a potência ativa da energia transmitida, entre outros fatores, o que facilita a previsão de colapsos de tensão, a validação de modelos de simulação e a apreciação de esquemas especiais de proteção. O protótipo contou com cinco Unidades de Medição Fasorial (Phasor Measurement Units – PMUs), capazes de processar fasores de tensão e de corrente, sincronizadas por uma base de tempo comum, via GPS. Os dados continuamente coletados foram compilados em um Sistema Concentrador de Dados Fasoriais (Phasor Data Concentrator System – PDCS) com arquitetura descentralizada, no qual operaram os aplicativos de análise em tempo real e *offline*. No período de acompanhamento operacional do protótipo, foram monitorados quatro circuitos de 440 quilovolts (kV) do sistema da CTEEP, com medições em locais próximos a unidades de geração, instalações de interligação e centros de carga. O protótipo demonstrou em detalhes as repercussões decorrentes de perturbações no Sistema Interligado Nacional (SIN), com destaque para as relacionadas ao desligamento automático dos circuitos de Itaipu, em 02/09/2011. Satisfeita com o desempenho do SPMS, a CTEEP está em processo de ampliação dos pontos de medição.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP)

Título: Desenvolvimento de Sistema para Análise e Monitoração, em tempo real, da Dinâmica da Rede Elétrica, aplicando Medição Fasorial Sincronizada, para aprimoramento dos processos de Supervisão, Controle e Proteção

Ciclo: 2006/2007

Investimento: R\$ 1.312.201,56

Execução: FEESC/UFSC e Reason Tecnologia S/A

# Protótipo de Sistema de Medição Fasorial Sincronizada: Desenvolvimentos e Implementação no Sistema de Transmissão da CTEEP

Ildemar C. Decker<sup>1</sup>, Marcelo N. Agostini<sup>2</sup>, Aguinaldo S. e Silva<sup>1</sup>, Marcelo A. Benetti<sup>1</sup>, Mário R. Bastos<sup>3</sup> e Sérgio L. Zimath<sup>4</sup>

**Resumo** – Apresentam-se resultados do Projeto MedFasee CTEEP, uma parceria entre UFSC, CTEEP e Reason Tecnologia, que visou ao desenvolvimento e à implementação de um protótipo para o monitoramento e a análise de desempenho do sistema de transmissão de 440 kV da CTEEP, a partir da utilização de dados fasoriais sincronizados, processados em três diferentes subestações.

**Palavras-chave** – Medição Fasorial Sincronizada, monitoramento de sistemas elétricos de potência, PMU

**Abstract** – The paper presents the results of the MedFasee CTEEP Project, a partnership between UFSC, CTEEP and Reason Technology, which intended the development and the implementation of a prototype for monitoring and analysis of the performance of CTEEP's 440 kV transmission system, based on the use of synchronized phasor data, processed in three different substations.

**Keyword** – Synchronized Phasor Measurement, Electric Power System Monitoring, PMU

## I. INTRODUÇÃO

O aumento da complexidade operacional dos sistemas de energia elétrica tem levado ao desenvolvimento de novas tecnologias, tais como o Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (Synchronized Phasor Measurement System – SPMS). Neste sistema, Unidades de Medição Fasorial (Phasor Measurement Units – PMUs), instaladas em diferentes subestações, processam fasores de tensão e de corrente, enviando-os continuamente a um Concentrador de Dados Fasoriais (Phasor Data Concentrator – PDC). As PMUs são sincronizadas por uma base de tempo comum, fornecida pelo sistema GPS (Global Positioning System) [1]. O protótipo desenvolvido envolve: toda infraestrutura necessária à medição, a implementação de um Sistema Concentrador de Dados Fasoriais (Phasor Data Concentrator System – PDCS) e aplicativos para monitoramento.

## II. ARQUITETURA DO PROTÓTIPO DE SPMS

Com a tecnologia de SPMS, tornam-se possíveis, de maneira mais rápida e precisa, a análise de perturbações, a identificação de oscilações eletromecânicas pouco amortecidas, a predição de colapsos de tensão, a validação de modelos de simulação e a avaliação de esquemas especiais de proteção. Tudo isto proporciona um monitoramento eficaz e a tomada de ações de controle para o aumento da segurança dos sistemas elétricos.

O protótipo apresenta como diferencial o PDCS com arquitetura descentralizada (redundância no armazenamento dos dados), o desenvolvimento de metodologias e aplicativos para o monitoramento em tempo real e a análise offline da dinâmica do sistema elétrico, além de investigações relativas à exatidão das medidas fasoriais.

As linhas escolhidas no projeto propiciam o monitoramento de um importante corredor do sistema de transmissão de 440 kV, com medições em locais próximos a unidades de geração, instalações de interligação e centros de carga.

Na sequência, são descritas as PMUs e o PDCS, que se constituem nos principais equipamentos, sendo por fim apresentada a estrutura geral do protótipo.

### A. Unidades de Medição Fasorial – PMUs

As PMUs utilizadas no protótipo de SPMS se constituem em uma funcionalidade de registradores digitais de perturbação Reason RPV, sincronizados por relógios GPS, modelo RT 420.

### B. Sistema Concentrador de Dados Fasoriais – PDCS

Foi desenvolvido um PDCS com dois níveis de PDCs. No primeiro nível, estão dispostos os PDCs do tipo Front End (PDC FE), responsáveis pela concentração dos dados enviados pelas PMUs. Posteriormente, cada PDC FE monta e envia pacotes, contendo dados de um mesmo instante de tempo, ao PDC do tipo Mestre (PDC ME), que disponibiliza os fasores de todas as PMUs às diversas aplicações.

### C. Estrutura Geral do Protótipo

O protótipo de SPMS é formado por cinco PMUs, instaladas em três subestações da CTEEP: Ilha Solteira (um PMU), Bauru

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Desenvolvimento de Sistema para Análise e Monitoração, em tempo real, da Dinâmica da Rede Elétrica, aplicando Medição Fasorial Sincronizada, para aprimoramento dos processos de Supervisão, Controle e Proteção – código ANEEL 0068 001/2007'; 'financiado pela CTEEP'; 'executado pela FEESC/UFSC e pela Reason Tecnologia S.A.'; 'ciclo 2006/2007'; 'investimento de R\$ 1.312.201,56'.

<sup>1</sup> 'Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC' (e-mails: decker@labplan.ufsc.br; aguinald@labspot.ufsc.br; mabenetti@labplan.ufsc.br).

<sup>2</sup> 'SEEnergia Serviços Especializados de Engenharia' (e-mail: agostini@seenergia.com.br).

<sup>3</sup> 'Companhia Transmissora de Energia Elétrica Paulista – CTEEP' (e-mail: mbastos@cteeep.com.br).

<sup>4</sup> 'Reason Tecnologia' (e-mail: sergio.zimath@reason.com.br).

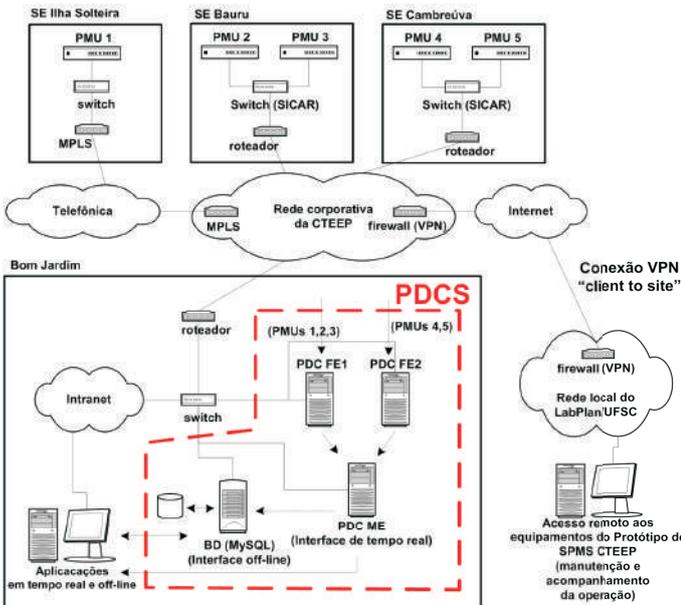


Figura 1. Visão geral da arquitetura do protótipo de SPMS.

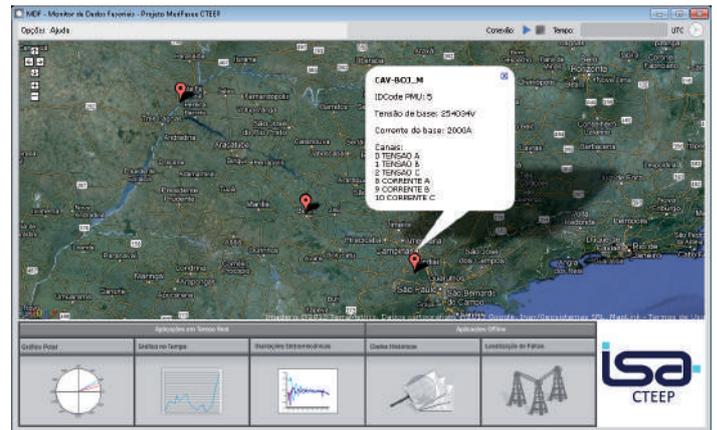


Figura 2. Interface do aplicativo MDF.

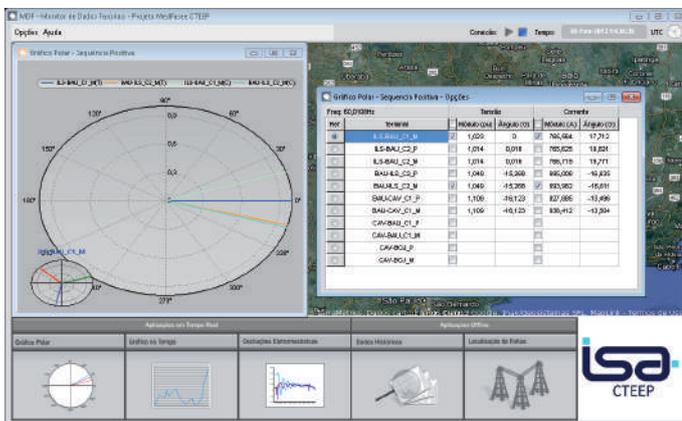


Figura 3. Aplicativo do Gráfico Polar.

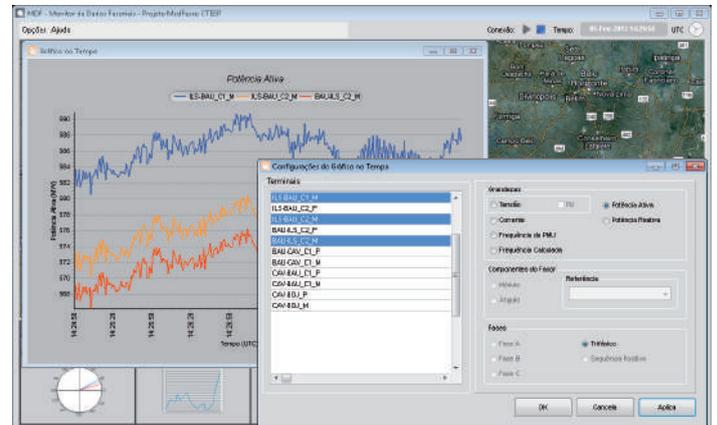


Figura 5 - Gráfico histórico do consumo para o mês

(dois PMUs) e Cabreúva (dois PMUs), sendo o PDCS instalado em Bom Jardim. Quatro circuitos de 440 kV do sistema de transmissão da CTEEP são monitorados: Ilha Solteira – Bauru C1, Ilha Solteira – Bauru C2, Bauru – Cabreúva C1, e Cabreúva – Bom Jardim. Na Figura 1, apresenta-se uma visão geral da arquitetura com suas interligações.

### III. APLICATIVOS DESENVOLVIDOS

Diversos aplicativos para acesso e análise dos dados foram desenvolvidos, sendo o programa Monitor de Dados Fasoriais (MDF) o principal [2]. Sua função é agregar os diferentes módulos, subdivididos em aplicações de tempo real e aplicações *offline*. Uma visão geral da interface do aplicativo é mostrada na figura 2.

Dentre as aplicações em tempo real, têm-se: o Gráfico Polar (Figura 3), o Gráfico no Tempo (Figura 4) e o Monitoramento de Oscilações Eletromecânicas (Figura 5).

Quanto às aplicações *offline*, destaca-se o Módulo de Dados Históricos, que permite consultas a registros de eventos no PDCS para a geração de gráficos, sendo exibido na figura 6.

### IV. ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS APLICATIVOS

Durante o período de acompanhamento operacional do protótipo de SPMS, perturbações ocorridas no Sistema Interligado Nacional (SIN) tiveram repercussões significativas nos pontos de medição do projeto. Nas análises realizadas, como referencial descritivo, utilizaram-se as informações contidas no Informativo Preliminar Diário da Operação (IPDO), fornecido publicamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Os gráficos expostos, no entanto, referem-se a resultados obtidos a partir de medições do protótipo. Na sequência, descrevem-se resultados relacionados ao desligamento automático dos circuitos de Itaipu, evento ocorrido em 02/09/2011 e repercutido no protótipo. Os gráficos apresentados adotam o UTC (Universal Time Coordinated) como fuso horário de referência.

Às 19:43:37,9167s, ocorreram as primeiras variações bruscas. Decorridos 2,45s, às 19:43:40,3667, iniciou-se a queda de frequência em diferentes pontos de medição, indicando a repercussão do desligamento das Linhas de 500 kV Itaipu – Foz do Iguaçu (Figura 7).

Nas Figuras 8 e 9, são mostrados respectivamente o fluxo medido de potência ativa e o espectro de frequência nos ter-

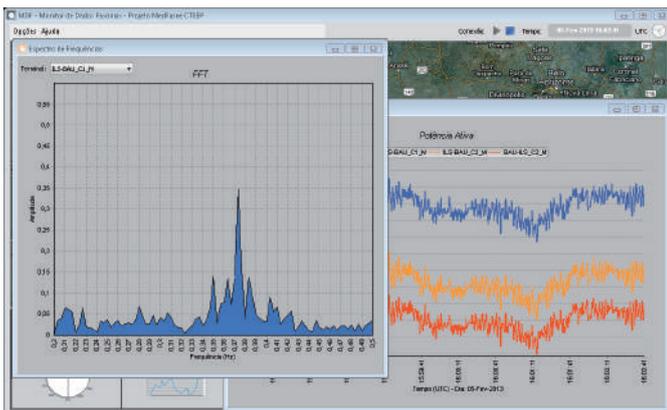


Figura 5. Aplicativo do Monitoramento de Oscilações Eletromecânicas.

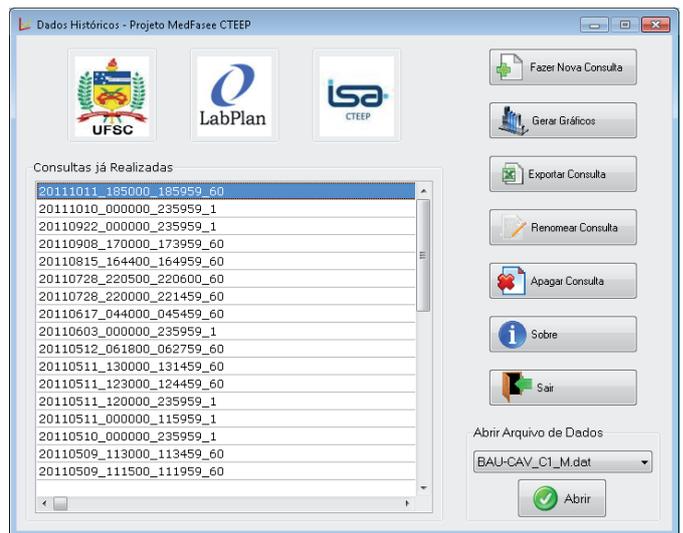


Figura 6. Módulo de Dados Históricos.

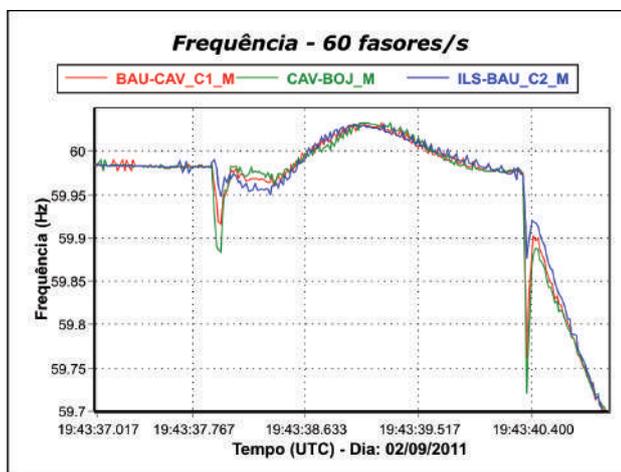


Figura 7. Frequência medida pelo protótipo no início da ocorrência.

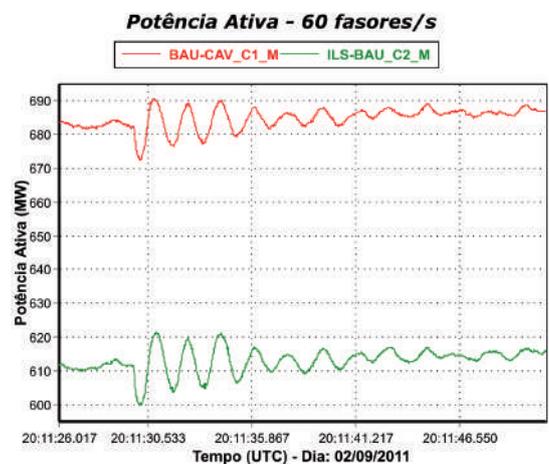


Figura 8. Potência ativa medida no período de religamento.

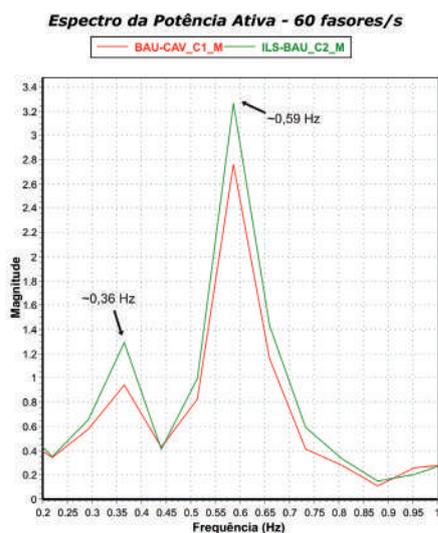


Figura 5 - Gráfico histórico do consumo para o mês

minais Bauru e Ilha Solteira, durante o período de religamento da Linha Foz do Iguaçu – Ivaiporã C2, que restabeleceu a interligação de Itaipu 60 Hz com o SIN. Verifica-se a repercussão do religamento no protótipo de SPMS, observando-se modos de oscilação dominantes com frequência em torno de 0,59 Hz e 0,36 Hz.

## V. CONCLUSÕES

O protótipo de SPMS se revelou eficaz no monitoramento dos circuitos elétricos de 440 kV da CTEEP. A avaliação de desempenho das condições operacionais da rede se mostrou o principal benefício. As repercussões de ocorrências no SIN puderam ser captadas nos pontos de medição do protótipo. Houve compatibilidade entre a arquitetura desenvolvida para as instalações e os implementos metodológicos realizados. Atualmente, a CTEEP está em processo de expansão do protótipo de SPMS, com a instalação de novos pontos de medição, visando contribuir para o aumento da segurança operacional do SIN.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PHADKE, A. G.; THORP, J. S. Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. New York: Springer Science+Business Media, 2008, p. 248.
- [2] DECKER, I. C.; SILVA, A. S. e; PRIOSTE, F. B.; AGOSTINI, M. N.; DOTTA, D. "Experience of WAMS De-velopment and Applications in Brazil". In 17th Power Systems Computation Conference, pp. 1-7, 2011.



CEMIG

## Chave permite instalar para-raios e transformadores sem desligamento de linhas

Um projeto da Companhia Energética de Minas Gerais Geração e Transmissão S./A., em parceria com a Ritz do Brasil, desenvolveu um mecanismo inédito para algo considerado impensável há poucos anos: a instalação ou a desconexão de para-raios e transformadores de potencial capacitivo, em subestações de 230 a 500 quilovolts (kV), sem o desligamento do circuito e dos terminais das linhas de transmissão envolvidas. A solução elaborada foi uma chave seccionadora móvel de 500 kV, montada em andaime isolante de linha viva e com acionamento remoto. Com patente requerida, a chave já foi vendida a outras concessionárias e foi o primeiro produto de P&D da CEMIG-GT a ganhar um contrato de royalties.

A equipe envolvida buscou elaborar um mecanismo leve, compacto, de fácil montagem e manobrável por comando remoto sem fio a uma distância de até 30 metros. O protótipo foi desenhado para interromper as correntes tipicamente capacitivas de TPC (Transformador de Potencial Capacitivo) e para-raios e para ser movimentado no plano vertical, de modo a não reduzir as distâncias de segurança entre partes energizadas.

Em testes de campo, os pesquisadores avaliaram que a aquisição da chave seccionadora traz retorno a partir da segunda manutenção da linha. Nos casos de desligamento não programado, os ganhos são ainda maiores. Como a linha de transmissão continua ligada durante a operação, o mecanismo evita as perdas de receita da concessionária, aumenta a segurança na manutenção e mantém a qualidade do fornecimento da energia.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética de Minas Gerais Geração e Transmissão S./A.

Título: Seccionador Móvel de 500 kV com acionador aprovado pela ANEEL

Ciclo: 2004/2005

Investimento: R\$ 250.230,00

Execução: Ritz do Brasil

# Chave seccionadora móvel de 500 kv com acionamento remoto montada em andaime isolante para manutenção em TPC e para-raios

Geraldo M. Gontijo<sup>1</sup> e Célio Gonçalves Jr<sup>2</sup>

**Resumo** – No artigo, descreve-se a pesquisa e desenvolvimento de uma chave seccionadora móvel de 500 kV montada em andaime isolante de linha viva e com acionamento remoto. A chave possibilita a conexão e desconexão de para-raios e transformador de potencial capacitivo (TPC) em terminais de Linhas de Transmissão (LT), mantendo-a disponível sem a necessidade de desligar os circuitos. Isto evita as perdas de receita, permite a execução dos trabalhos com segurança e ainda mantém a confiabilidade do sistema elétrico e a qualidade da energia para os consumidores.

**Palavras-chave** – Chave seccionadora, linha viva, metodologia de manutenção, parcela variável.

**Abstract** – The paper describes the research and development of a 500 kV mobile disconnecter mounted on isolating live line scaffolding and with remote activation. The key allows connection and disconnection of lightning rod and capacitive potential transformer (CPT) in transmission line terminal (TL), keeping it available without the need to disconnect the circuits. This prevents the loss of revenue by the dealership, allows the execution of the work safely and still maintains the reliability of the electrical system and the power quality for consumers.

**Keyword** – disconnecter, live line, maintenance methodology, variable portion.

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente não é tecnicamente possível a execução de manutenção ou a substituição de para-raios e TPCs em subestações de 230 a 500 kV sem o desligamento do circuito, e, em especial, dos terminais da LT, nos quais a maioria destes equipamentos estão aplicados. A motivação para desenvolver a chave móvel veio da dificuldade de se desligar LTs da rede básica, seja por perda de receita, seja por comprometimento da confiabilidade do sistema elétrico. Para isso, foi desenvolvida uma chave seccionadora móvel com acionamento remoto, montada em um andaime modular isolante, que, associada a técnicas de linha viva (LV), possibilita a manutenção destes equipamentos sem o desligamento da LT.[1]

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Na fase de concepção e durante a fabricação do protótipo, foram identificados os pontos críticos que requeriam maior atenção. Esses pontos críticos foram: peso da chave, velocidade e estabilidade de operação, tempo de operação e interrupção do arco e suportabilidade dielétrica.

Em fase inicial, teve como especificações:

a) Uma chave montada numa estrutura isolante para trabalhar na faixa de tensão de 230 a 500 kV, e que possa ser montada e movimentada no espaço do arranjo entre fase dos terminais de LT;

b) Ser compacta e de fácil montagem no pátio das subestações;

c) Interromper as correntes tipicamente capacitivas de TPC e para-raios;

d) Manobrar no plano vertical para não reduzir as distâncias de segurança entre partes energizadas;

e) Ter o mecanismo robusto e confiável;

f) Fechar firmemente os contatos;

g) Ter comando remoto para ser comandada a distância e garantir a segurança do operador.[1]

A chave vem sendo usada com desempenho satisfatório e o produto encontra-se com patente requerida. É comercializada pela TEREX – Ritz e já foram vendidas 10 unidades para concessionárias do setor elétrico.

Este projeto é o primeiro P&D da CEMIG-GT que tem um contrato de royalties sobre as vendas das chaves.

## III. RESULTADOS

Os pontos críticos acima descritos e outros problemas identificados foram estudados e diagnosticados na montagem da primeira versão do protótipo. Após vários ajustes, chegou-se a uma chave com desempenho efetivo para atender as especificações inicialmente desejadas. Dentre esses pontos, pode-se destacar:

• **Isolamento:** A estrutura do andaime garantiu um bom isolamento para a terra. A situação mais crítica a resolver era a suportabilidade entre os contatos. O tubo isolante de suporte da chave tem um isolamento típico de 100 kV/30 cm.[2]

• **Interrupção da corrente:** Na concepção da chave, tanto na interrupção quanto no estabelecimento da corrente, há formação

Projeto de P&D GT-148: Seccionador Móvel de 500 kV com acionador aprovado pela ANEEL; CEMIG - GT; Entidade executora: Ritz do Brasil; ciclo 2004/2005; Investimento aprovado para execução do projeto (R\$ 250.230,00).

1 CEMIG - GT (ggontijo@cemig.com.br).

2 Terex- Ritz (celio.goncalves@terex.com).

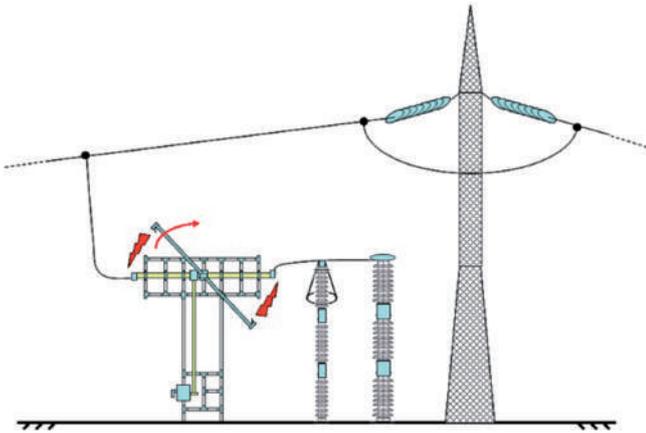


Figura 1 - Representação da chave móvel em manobra.

de dois arcos simultâneos entre cada extremidade da lâmina e os contatos fixos. A situação mais crítica a resolver foi a suportabilidade entre os contatos durante a desenergização simultânea de um para-raios e de um TPC de 500 kV. O tempo médio de operação da chave é de 1,6 segundo. A manobra de abertura onde os arcos são formados é ilustrada na Figura 1.[3]

- Seccionadora: A lâmina da chave usa um perfil quadrado de alumínio com extremidade de cobre prateado com peso muito reduzido. Para os contatos fixos, são usadas lâminas de contato pressionadas por mola, garantindo uma boa pressão e um contato firme entre lâmina e contatos fixos. A seccionadora é montada na haste isolante na fábrica e não requer regulagens no campo durante a montagem do conjunto andaime isolante e chave.[4]

Ela possui controle remoto sem fio e opera a uma distância segura de até 30 metros de distância. Possui ainda um comando remoto via cabo blindado para proteção contra os surtos advindos do arco na manobra. Caso haja falha do motor ou do comando elétrico, o mecanismo pode ser aberto manualmente através de alavanca acoplada ao motor.

A Figura 2 apresenta a chave montada no andaime isolante.

Para analisar a economia gerada pela chave móvel, foi analisado um caso real de necessidade de troca de um TPC em uma linha de transmissão licitada (sem franquia) pela ANEEL, de 345 kV, 75 km de extensão, utilizando ou não a chave móvel, conforme Tabela 1.

Tabela 1.

Descrição	Mão-de-obra	Parcela Variável PV em [R\$]	Custo total [R\$]
Metodologia convencional	4.320,00	99.040,00	103.360,00
Metodologia com um uso de chave móvel	2.880,00	(não há desconto de PV)	2.880,00



Figura 2 - Chave em uso para retirada de TPC de 345 kV.

Pela análise dos dados da Tabela 1, observa-se uma economia com o uso da chave móvel de R\$ 100.480,00. Foi considerada uma linha de transmissão nova de 345 kV com desconto de Receita Anual Permitida (RAP) de R\$ 1.238,00 por hora de desligamento programado. Considerou-se um tempo de oito horas programadas para troca do TPC.

Na metodologia convencional, o serviço implica em desligar a linha, o que normalmente é programado para o final de semana. Com isso, há um aumento no custo da mão de obra, pois tem de se pagar hora extra.

#### IV. CONCLUSÕES

Depois de construída, a chave seccionadora móvel apresentou boas características elétricas e funcionalidade mecânica.

É indispensável um planejamento prévio, com análise in loco do arranjo, e uma eficiente e detalhada análise de risco antes da execução do serviço.

O uso da metodologia de serviço com seccionador móvel: permite que a manutenção nos equipamentos terminais (TPC e para-raios) seja feita sem desligar a linha de transmissão; evita o desconto da receita; permite que o serviço seja feito de forma mais eficiente e da mesma forma com segurança; preserva a confiabilidade do sistema elétrico, uma vez que a linha permanece em serviço; traz o retorno do investimento na aquisição da chave já na segunda manutenção da linha; traz ganhos ainda maiores, se considerarmos desligamentos não programados, pois o valor do desconto de PV aumenta 150 vezes.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SALDANHA, J. O.; BOAVENTURA, W. C. Rel.01.09/2008-DEE.FCO.CEMIG/RITZ-24p Proposição de um arranjo e de um roteiro de testes a serem realizados no Laboratório de Alta Tensão da AREVA, nos protótipos de chave, para garantir a capacidade de abertura para correntes capacitivas típicas de sistemas de 230, 345 e 500 kV. Setembro/2008
- [2] SALDANHA, J. O.; BOAVENTURA, W. C. "Relatório final de ensaios elétricos pra avaliação de desempenho de chave móvel quando submetida a tensões e correntes de 60 Hz". Junho de 2009.
- [3] PEELO, D. F. Current Interruption Using High Voltage Air-Break Disconnectors. Tese de Doutorado. Technische Universiteit Eindhoven. Março de 2004.
- [4] IEEE. IEEE Guide to Current Interruption with Horn-Gap Air switches. IEEE-C37.36b-1990.



CEMIG

## Sistema de medição fasorial é projetado para melhorar qualidade da energia

O planejamento e a operação das concessionárias de transmissão demandam ferramentas que permitam avaliar as interferências físicas e magnéticas que comprometem o bom fornecimento de energia elétrica. Um dos projetos da Companhia Energética de Minas Gerais Geração e Transmissão S./A. para aprimorar essa gestão é o Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (Sismef), elaborado com pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e da empresa Concert. Por meio do monitoramento da atividade fasorial de sua rede, a Cemig GT espera, entre outros benefícios, melhorar o aproveitamento de ativos da empresa, reduzir a possibilidade de blecautes e o tempo de restabelecimento.

No Sismef, um concentrador de dados fasoriais, customizado a partir de uma plataforma gratuita, recebe os dados das unidades de medição fasorial instaladas na rede de transmissão. O sistema exibe esses dados em tempo quase real, guarda um histórico deles e, por meio de uma aplicação, permite a visualização, o estudo e a avaliação da estabilidade de tensão, o que favorece o controle preventivo e o restabelecimento de ilhas e linhas, em casos de desequilíbrio. Em condições normais, o Sismef é autônomo, ou seja, pode funcionar sem assistência humana.

Durante o processo de elaboração, foram formadas equipes para avaliação dos benefícios apresentados pelo sistema, reforçando o caráter colaborativo da solução. A metodologia utilizada no Sismef é considerada inovadora e, segundo os pesquisadores, trouxe ganhos significativos para a qualidade e a segurança nos serviços da concessionária.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética de Minas Gerais Geração e Transmissão S./A.

Título: Desenvolvimento de protótipo de um sistema de medição fasorial

Ano: 2010

Investimento: R\$ 4.150.000,00

Execução: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Concert

# Sistema de Medição Fasorial Sincronizada - Sismef

Sonia R. C. Andrade<sup>1</sup>, Maria Helena M. Vale<sup>2</sup> e Daniel Ramos<sup>3</sup>

**Resumo** – Este trabalho apresenta, de forma inédita, o Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS) ou Sismef, implantado pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig GT). Com esse sistema, é possível melhorar a qualidade dos serviços de energia, com a redução do número de blecautes e do tempo de restabelecimento, trazendo maior segurança ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

**Palavras-chave** – PMU, Sistema de Medição Fasorial Sincronizada.

**Abstract** – This paper presents, in an unprecedented manner, the Synchronized Phasor Measurement System (SMFS) or Sismef, implemented by Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig GT). With this system, it becomes possible to improve the quality of energy services, reducing the number of outages and restoration time, what brings greater security to the National Interconnected System (Sistema Interligado Nacional - SIN).

**Keyword** – PMU, Synchronized Phasor Measurement System.

## I. INTRODUÇÃO

Os SMFS são compostos basicamente pelas unidades de medição fasorial, mais conhecidas como PMU (do inglês *phasor measurement units*), pelo concentrador de dados fasoriais, denominado PDC (do inglês *phasor data concentrator*) e pelos links de comunicação que disponibilizam as informações para as diversas aplicações.

São significativos os ganhos a serem obtidos com o SMFS em diversas áreas da empresa, em especial aquelas relacionadas ao planejamento e à operação do sistema.

A partir do sistema bem estruturado, são esperados benefícios relacionados ao aumento da qualidade de energia entregue aos consumidores, ao melhor aproveitamento de ativos já instalados no sistema da empresa, à avaliação do desempenho de esquemas de controle e de proteções sistêmicas, à validação de modelos de componentes, à análise de perturbações causadas por oscilações eletromecânicas e variações de frequência.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O projeto foi idealizado em 2008, por ocasião da elaboração da dissertação de mestrado na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pela gerente do P&D no tema “SMFS- Aplicações para Melhoria da Operação de Sistemas Elétricos de Potência” [4].

A meta não se restringiu apenas à instalação de dispositivos e à implementação de aplicativos de monitoração do sistema elétri-

co, detendo-se também no desenvolvimento de duas metodologias de melhorias de processos de engenharia de operação do SEP que, além de inovadoras, trazem ganhos significativos para qualidade, segurança de prestação de serviços da Cemig.

Outro caráter inovador foi o envolvimento e a formação das equipes usuárias dos benefícios desse sistema de maneira a atuarem nas fases de concepção, implementação, implantação e desenvolvimento continuado do SMFS da empresa.

## III. ARQUITETURA DO SISMEF

O Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (Sismef) desenvolvido é composto por um concentrador customizado de dados fasoriais com drivers de comunicação capazes de receber sincrofasores de todas as PMUs, independentemente de seu fabricante ou formatação.

O concentrador customizado de dados fasoriais foi obtido a partir de adequações realizadas numa plataforma *open source* gratuita, denominada OpenPDC, implementada em ambiente Windows com C# e Java.

O Sismef disponibiliza esses dados em tempo quase real e promove a sua persistência por meio de arquivos texto [5].

Também conta com uma aplicação para visualização dos sincrofasores e uma aplicação para estudos e avaliação de estabilidade de tensão.

A seguir é apresentada a arquitetura do Sismef.

### A. Aplicações do Sismef

Dentre diversas aplicações [1] de um SMFS, para implementação prática, inicialmente foram escolhidas apenas duas para serem desenvolvidas neste projeto: previsão de instabilidade de tensão e apoio ao restabelecimento de ilhas e linhas de transmissão.

Projeto de P&D: “De Desenvolvimento de Protótipo de Sistema de Medição Fasorial Sincronizado”; Código ANEEL PD - 4951-0354/2010;

<sup>1</sup> CEMIG Geração e distribuição S/A; Parceiros UFMG e Concert; Período de Execução: 2010 e 2012;

1 Investimento (R\$)4.150.000,00

1. Cemig GT (soniarc@cemig.com.br)

2. UFMG (mhelena@cpdee\_ufmg.br)

3 convert (daniel@concert.com.br)

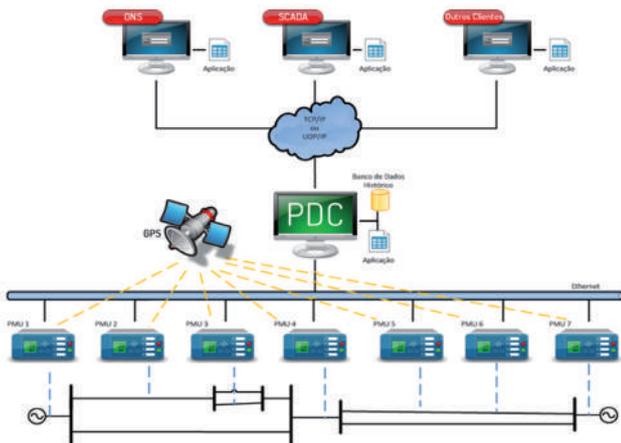


Figura 1 Arquitetura do Sismef da Cemig

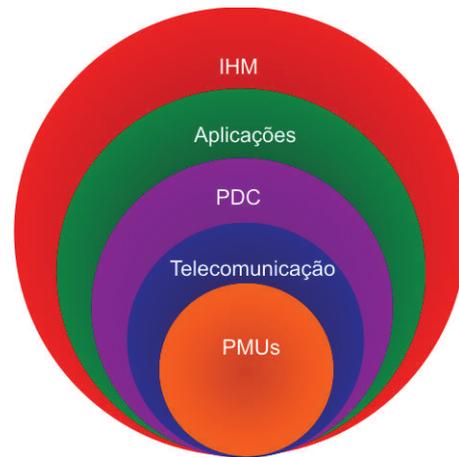


Figura 2. Camadas dos ambientes desenvolvidos do Sismef.

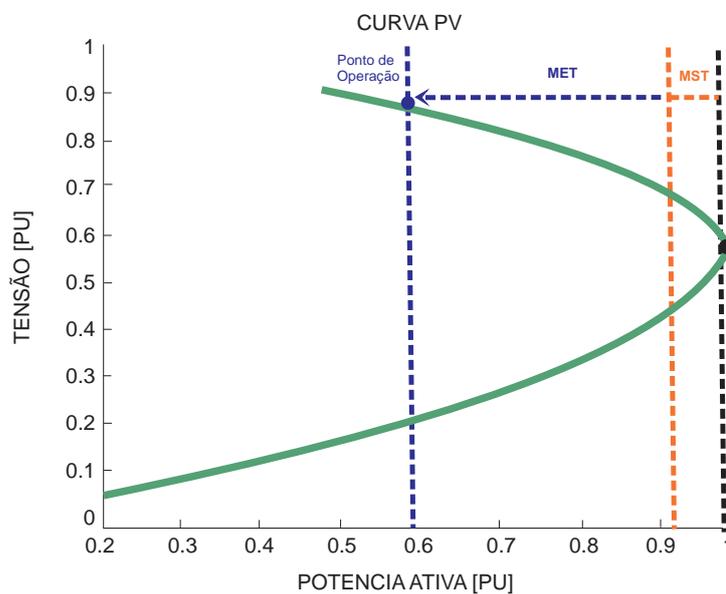


Figura 3. Identificação da MET e MST sobre uma curva PV

Os dados fasoriais, as configurações do sistema e as aplicações são apresentados graficamente aos usuários através de uma interface homem-máquina (IHM). Este sistema tem autonomia suficiente para funcionar sem assistência humana em condições normais de operação.

A Figura 2 mostra o posicionamento do PDC entre as diversas camadas do sistema.

## B. Previsor de estabilidade de tensão

O previsor de estabilidade tem por objetivo informar às equipes dos centros de operação sobre a segurança do ponto operativo atual do sistema de energia elétrica (SEE) quanto à estabilidade de tensão. Isto permite que ações de controle preventivo possam ser realizadas no sentido de se evitarem situações críticas de instabilidade. A metodologia se baseia no cálculo de um índice-previsor em tempo real, que monitora continuamente a distância do ponto de operação atual e o limite da margem de

segurança de tensão (MST), de forma a se evitarem os riscos da perda da estabilidade de tensão no sistema elétrico. Esta representa a distância mínima entre o ponto atual de operação no qual se encontra o sistema e aquele onde se tem o ponto de máxima potência transferida (MPT), permitindo acompanhar o comportamento dinâmico do sistema [3] e a margem de estabilidade de tensão (MET).

## C. Impacto da medição fasorial no processo de restabelecimento do sistema elétrico de potência

A medição do ângulo de fase de tensão e corrente para ferramentas operacionais, o que é possível com o SMFS, pode trazer ganhos significativos para a recomposição. Estes ganhos no controle restaurativo se referem ao auxílio no processo do fechamento dos disjuntores entre ilhas elétricas. Este procedimento é um dos mais críticos no restabelecimento do sistema, devido à falta de informações de tempo real para apoio aos operadores na tomada de decisão [2].

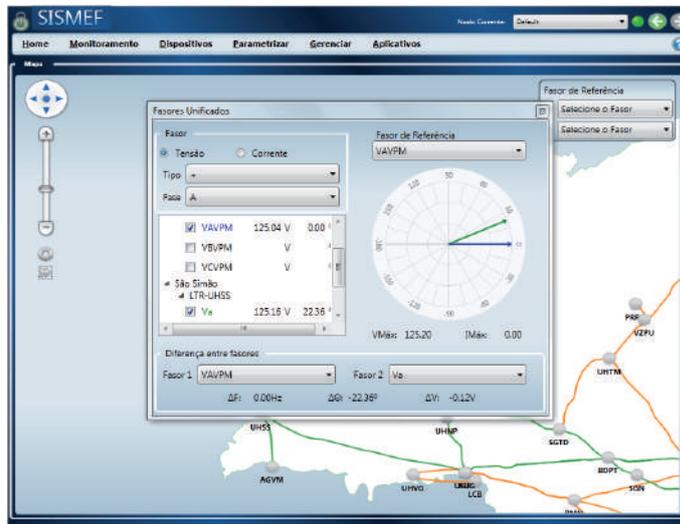


Figura 4. Mapa georreferenciado de Minas Gerais com indicação das barras monitoradas

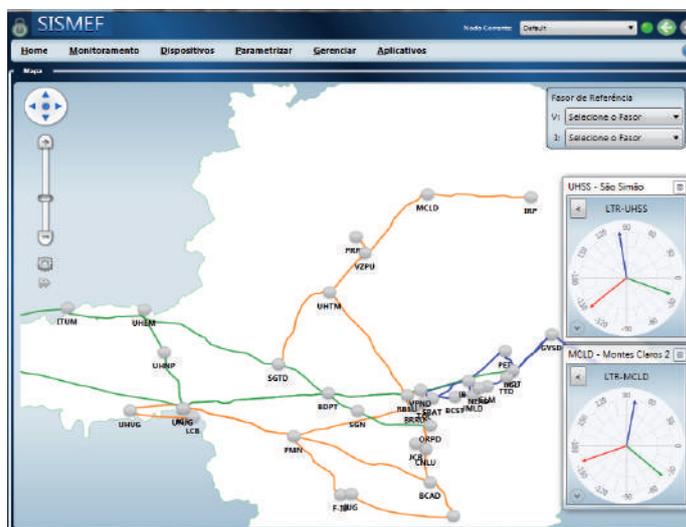


Figura 5. Tela do Sismef com Indicação dos sincrofasores

#### IV. CONCLUSÕES

A implementação de um protótipo de SMFS propiciará um primeiro exercício na abordagem das questões e tecnologias envolvidas na utilização de sincrofasores para gestão do sistema de potência. As mudanças estruturais do setor elétrico, em vias de realização, reforçam a necessidade destas mudanças operacionais e justificam plenamente a implantação de um SMFS.

#### V. AGRADECIMENTOS

Para finalizar, gostaria de agradecer à Cemig, principalmente aos responsáveis pelo setor de Tecnologia e Inovação e a todos que deram apoio, suporte técnico, científico ou financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artigos apresentados em conferências (não publicados):

- [1] ANDRADE, S.R.C.; VALE, M.H.M. "Aplicação da tecnologia de medição fasorial sincronizada – PMU nos processos de planejamento elétrico da o-peração da Cemig". IX STPC – Seminário Técnico de Proteção e Controle. Belo Horizonte, jun 2008.
- [2] ANDRADE, S.R.C.; VALE, M.H.M.; SANTOS, A.F.C.R.; CHAVES, F. S, "Sistema de medição fasorial sincronizada: aplicações na recomposição do sistema elétrico de potência". XIV ERIAC. Foz do Iguaçu: abr 2011.
- [3] ANDRADE, S.R.C.; VALE, M.H.M.; RIBEIRO, G.; CHAVES, F. S.; SILVA, R. G. F. "Margem de estabilidade em tempo real utilizando dados de medição fasorial sincronizada". XIV ERIAC. Foz do Iguaçu: abr 2011.

Dissertações e teses:

- [4] ANDRADE, S.R.C. Sistema de Medição Fasorial Sincronizada – Aplicações para Melhoria da Operação de Sistemas Elétricos de Potência. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

Normas:

- [5] IEEE Guide for Synchronphasors for Power Systems, IEEE Standard C37. 118-1995, Aug. 1995.

Projetos das

# Distribuidoras



# AES ELETROPAULO

## Dispositivo pré-inspeção reduz custos na investigação de fraudes e furtos de energia

Devido às grandes somas desperdiçadas com perdas não técnicas de energia elétrica no país - de aproximadamente US\$ 20 bilhões apenas em 2007 –, as inspeções a clientes sob investigação de furto ou fraude tornaram-se um procedimento de rotina das distribuidoras. AAES Eletropaulo, após constatar que apenas 15% das visitas realizadas por suas equipes encontravam irregularidades, encomendou a técnicos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) um dispositivo eletrônico de pré-inspeção, capaz de prever quais consumidores deveriam ser inspecionados.

O dispositivo desenvolvido, em uma caixa com menos de um centímetro cúbico, tem baixo custo e permite uma aplicação discreta na instalação do consumidor. Um microcontrolador faz a leitura e a comunicação dos dados via rádio para um computador, capaz de armazená-los e de processar os cálculos para verificar uma possível fraude ou anomalia. Após examinarem as bases de dados da AES Eletropaulo, os pesquisadores estabeleceram que os clientes a serem inspecionados seriam os que apresentassem uma diferença de mais de 15% entre a leitura do medidor e o consumo calculado pelo dispositivo.

Na fase de testes do aparelho, os consumidores com visita prevista foram avaliados, antes da inspeção convencional, pelo dispositivo de pré-inspeção. Foi constatado que o equipamento identificou corretamente todos os casos de fraude ou anomalia identificados pelos fiscais da distribuidora, assim como todas as residências em situação regular.

### Ficha técnica

Empresa: AES Eletropaulo

Título: Projeto e desenvolvimento de equipamento eletrônico e metodologia de ação para auxílio na detecção de fraudes e roubo de energia elétrica

Ciclo: 2010 Investimento: R\$ 2.381.040,00

Execução: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

# Processo não invasivo de baixo custo para otimização da rotina de inspeção na detecção de furto de energia elétrica

Luiz J. Hernandez Jr.<sup>1</sup>, Luis F. C. Duarte<sup>1</sup>, Flávio J. O. Morais<sup>1</sup>, Elnatan. C. Ferreira<sup>1</sup> e Jose. A. Siqueira Dias<sup>1</sup>

**Resumo** – Este trabalho descreve o desenvolvimento de um processo não invasivo de baixo custo que permite a melhoria da rotina de inspeção de furto de energia, aumentando a produtividade das equipes de inspeção de campo e reduzindo o constrangimento para clientes onde a inspeção é realizada e nenhuma fraude é encontrada. Este processo baseia-se em um dispositivo de medição que é instalado nas conexões do ramal de entrada cliente. O medidor produz, através da medida de Ah, uma leitura aproximada de consumo de energia do cliente durante um período amostral e este valor é comparado com a leitura regular do medidor de energia do cliente para o mesmo período. Um estudo estatístico realizado com quase 100.000 clientes na área de distribuição da concessionária AES Eletropaulo em São Paulo conclui que a comparação entre essas leituras permite indicar claramente o resultado quando as fraudes e/ou anomalias são encontradas.

**Palavras-chave** – Consumidores ilegais de energia elétrica, desenvolvimento sustentável, eficiência energética, furto de energia elétrica, rotina de inspeção de fraude.

**Abstract** – This paper describes the development of a non invasive, low cost process that allows the improvement of the electricity theft inspection routine, increasing the productivity of the field inspection teams and reducing the embarrassment in clients where the inspection is held and no fraud is found. This process is based on a measurement device that is installed in the connections of the client's input branch. The meter produces, through the measurement of Ah, an approximate reading of the client's electricity consumption during a sample period and this value is compared to the regular reading of the client's electricity meter for the same period. A statistic study done with almost 100,000 clients in the distribution area of dealership AES Eletropaulo in São Paulo concluded that the comparison of these reading allows to clearly indicate the result when frauds and/or abnormalities are found.

**Keyword** – Illegal electricity consumer, sustainable development, energetic efficiency, electricity theft, fraud inspection routine.

## I. INTRODUÇÃO

Um grave problema que as concessionárias de energia elétrica de países emergentes enfrentam é a perda de receita causada por perdas não técnicas, que são originadas principalmente por meio de fraude ou furto de energia [1]. Estes valores são extremamente elevados no Brasil – em 2007, representaram uma perda de aproximadamente US\$ 20 bilhões, cerca de 15% do total de energia distribuída no país, o equivalente à energia gerada pela maior usina hidrelétrica brasileira, Itaipu [2]. Este problema é comum em outros países emergentes, e encontrar soluções é de fundamental importância para alcançar um desenvolvimento sustentável nessas economias [3].

Parte deste trabalho foi dedicada a realizar uma análise estatística dos parâmetros que irão permitir o estabelecimento de um baixo custo no procedimento de rotina não invasivo de pré-inspeção, capaz de aumentar substancialmente a taxa de sucesso de inspeções convencionais. Esta rotina de pré-inspeção irá preceder a inspeção convencional e indicará se existe um potencial furto de energia elétrica ou uma anomalia no medidor do cliente sob investigação. Em seguida, é decidido se uma inspeção convencional que já tenha sido selecionada pelo software de TI possui alta probabilidade de ser bem sucedida e justificada para esse caso específico.

Um pequeno dispositivo eletrônico estima o consumo de energia do cliente durante um período de amostra, através da medição do consumo de corrente elétrica em Ah. Com base nas estatísticas anteriores de fraudes encontradas e nos valores médios obtidos em cada tipo de instalação técnica (Delta, fase única, duas fases, três fases, etc), e comparando o consumo de energia estimado com o consumo real da leitura para o mesmo período no medidor de energia instalado no cliente, propõe-se um procedimento para determinar quais os clientes que devem ser fisicamente inspecionados.

Para o sucesso do processo de pré-inspeção, o equipamento desenvolvido possui as seguintes características:

1. Fácil instalação e remoção usando uma ferramenta apropriada, permitindo uma elevada produtividade e um processo de baixo custo;
2. Medição da corrente de forma precisa, considerando-se que apenas a corrente elétrica será medida e a tensão de referência será assumida de acordo com o tipo de circuito de rede do cliente;
3. Recuperação rápida dos dados medidos e realização da análise de comparações por um processo automático;
4. Operação em temperaturas de  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $65^{\circ}\text{C}$ ;
5. Robustez, com estrutura rígida (para evitar violação) e dimensões reduzidas, a fim de não ser percebido pelos clientes;

Projeto de P&D: Projeto e desenvolvimento de equipamento eletrônico e metodologia de ação para auxílio na detecção de fraudes e roubo de energia elétrica, código ANEEL: PD-0390-1036/2010; AES ELETROPAULO; UNICAMP; Investimento: R\$ 2.381.040,00.

<sup>1</sup> Departamento de Eletrônica e Microeletrônica, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, e-mails: luizjosehernandes@gmail.com, {lfduarte, elnatan, flaviojm, siqueira}@ demic. fee. unicamp.br}.

6. Tem que ser transportados em lotes de pelo menos 30 peças (em uma caixa apropriada);
7. Baixo custo de produção, permitindo o uso em massa;
8. Vida útil da bateria desejável de um ano.

## II. STATUS ATUAL DAS INSPEÇÕES

Para analisar o comportamento de consumo dos furtos de energia e irregularidades detectadas antes e depois da regularização de campo, foi analisado um banco de dados da AES Eletropaulo contendo 97.833 clientes selecionados pelo software de TI a serem inspecionados, durante o período de 5 de janeiro de 2009 a 31 de maio de 2010.

Esta base de dados inclui os consumos de energia (em kWh) que ocorreram nos seis meses anteriores à inspeção, o consumo do mês da inspeção e os consumos dos seis meses seguintes à inspeção. O banco de dados também mostra a classificação das inspeções de acordo com seus resultados, como:

- A = Anomalia;
- F = Fraude;
- O = em Ordem;
- N = Não inspecionado.

O resultado "Anomalia" é caracterizado por um defeito no medidor. "Fraude" é caracterizada quando encontrada qualquer ação de interferência causada no medidor. Se depois de uma inspeção não foi encontrado qualquer tipo de irregularidade, ela é classificada como "em ordem".

A partir dos 97.833 casos, 81.195 puderam ser eficazmente inspecionados durante este período de 16 meses. Cerca de 14,69% das inspeções geraram recuperação de energia ou adição de energia para o faturamento, e aproximadamente 70.000 inspeções desnecessárias foram realizadas. Com mais de 5.000 inspeções por mês e apenas cerca de 70 sendo bem sucedidas, a relação custo/benefício das atividades de inspeção é muito baixa. Um resumo dos resultados é apresentado na Tabela I.

Tabela I. Situação atual das atividades de inspeções.

Situação	Nº de Casos	Porcentagem
Fraude	4.976	6,16%
Anomalia	6.946	8,56%
Em ordem	69.273	85,31%
Total	81.195	100%

## III. ESTABELECEER PARÂMETROS PARA DETECTAR FURTO DE ENERGIA

A fim de criar um processo de pré-inspeção usando um dispositivo de medição que permite a identificação das diferenças no consumo esperado, é necessário identificar estatisticamente

o comportamento do consumo de energia dos clientes que foram capturados com uma instalação fraudulenta.

O banco de dados tem 80.601 casos que atendem estas condições. Para estes casos, as médias do consumo de energia mensal antes e após a inspeção foram calculadas.

A metodologia mais comum de fraude ou de identificação de anomalias utilizada pelas concessionárias é a análise do comportamento do consumidor, buscando uma variação para um menor consumo durante um determinado período.

As análises estatísticas realizadas mostram que, em situações de fraude e anomalias, a existência de um degrau de consumo contribui significativamente para uma maior variação nos desvios-padrão calculados, que é de 30% a 50% superior em comparação com processos que são "em ordem".

Assim, baseado nos resultados dos estudos estatísticos, o limite recomendado nessa metodologia para decidir a realização de uma inspeção física foi definido como a diferença de 15% entre a leitura do medidor de energia do cliente e o consumo de energia calculado pelo dispositivo eletrônico desenvolvido.

## IV. METODOLOGIA DA ATIVIDADE DE PRÉ-INSPEÇÃO

Para verificar a viabilidade da atividade de pré-inspeção proposta, os padrões de conexões da AES Eletropaulo e as situações reais de conexões em campo foram analisados.

Verificou-se que as ligações de entrada dos clientes têm comprimentos entre 3,5 m para 5,5 m e que a distância entre as fases de fios são da ordem de 10 cm a 15 cm. Extensos testes de campo foram feitos e submetidos à aprovação pelos engenheiros do comitê de segurança da concessionária. As conclusões indicaram que a instalação/remoção do dispositivo de medição eletrônico é segura e pode ser realizada em menos de 30 segundos por dispositivo, usando uma ferramenta apropriada, como mostrado na Figura 1.

## V. O DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO AH ELETRÔNICO

O dispositivo de medição é composto por um transformador de corrente do tipo alicate hermeticamente fechado e conectado a uma caixa pequena de policarbonato. Sabe-se que, se um cliente que está furtando energia percebe um novo dispositivo na sua instalação, existe uma grande probabilidade de que a adulteração seja temporariamente desativada para evitar a detecção.

O dispositivo eletrônico foi desenvolvido para caber em uma pequena caixa (50 mm x 85 mm x 22 mm), que permite que o dispositivo possa ser facilmente aplicado (e removido) sem a utilização de uma escada, por apenas uma pessoa. Uma fotografia de uma placa de circuito impresso do dispositivo eletrônico no interior da embalagem de plástico com o medidor minigarra é apresentada na Figura 2.



Figura 1: Um técnico instalando o dispositivo eletrônico em uma conexão de entrada de um cliente da AES Eletropaulo.

A vara padrão usada pelos técnicos eletricitas da AES recebe uma ferramenta customizada. Vários testes de campo foram realizados e essa ferramenta transformou uma operação que foi inicialmente imaginada como problemática em um procedimento rápido, confiável e seguro.

O transformador de corrente da minigarra tem uma relação de 2500:1, e pode medir correntes de até 100 ARMS. Ele atende aos requisitos da norma internacional IEC 60044-1 Classe 1 (erro de  $\pm 1,0\%$ ). Em temperatura ambiente, o pior caso de erro medido em testes de laboratório foi de apenas  $\pm 0,25\%$ . Com base nestes erros, espera-se que o dispositivo de medição desenvolvido irá acarretar em um erro típico de menos de  $\pm 0,5\%$ , e um erro de pior caso de  $\pm 1,25\%$ , o que é uma ordem de grandeza menor do que o valor do limiar para a indicação de furto/anomalia.

O dispositivo medidor elétrico atual é baseado no microcontrolador de ultrabaixo consumo MSP430 da Texas Instruments, que possui conversor Analógico-Digital (ADC) do tipo Sigma-Delta de 24 bits, 512 bytes de RAM e 8 KB de memória flash [4]. Este microcontrolador é responsável pela leitura e também pela comunicação. Um temporizador no microcontrolador, baseado em cristal, ativa de forma precisa o processo de medição a cada segundo. Este gatilho acorda o ADC que opera a 4.096 amostras por segundo. Em seguida, o microcontrolador começa a ler os valores da conversão analógico-digital, à procura de um cruzamento de zero do sinal. Logo que um cruzamento de zero é encontrado, o microcontrolador começa a integrar no tempo o quadrado do valor medido na saída do ADC. O microcontrolador continua essa integração até que o sétimo cruzamento de zero seja encontrado, o que significa que três ciclos inteiros da rede elétrica foram medidos.



Figura 2: Foto do medidor completo, com o minialicate e o circuito alojado em sua embalagem final.

A comunicação entre os dispositivos de medição e do computador *host*, que irá armazenar os dados e processar os cálculos para verificar uma possível fraude ou anomalia, é feita através de um rádio de 2,4 GHz, operando a 0 dBm, usando um protocolo personalizado para garantir que o rádio será mantido inativo na maior parte do tempo, o que minimiza o consumo de energia. Uma descrição detalhada do hardware é apresentada em [5].

## VI. ANÁLISE DOS ERROS DE TENSÃO E DO FATOR DE POTÊNCIA NA AVALIAÇÃO DA ENERGIA

Conforme mencionado anteriormente, como o dispositivo de medição eletrônico irá utilizar apenas a corrente elétrica para calcular o consumo de energia, é necessário assumir uma tensão e um fator de potência de referência. A tensão é estimada de acordo com o tipo de circuito de rede do cliente. Um extenso estudo estatístico mostrou que o erro máximo em todos os tipos de ligações é de  $\pm 3,86\%$ .

Outro estudo, obtido com uma base de dados de 4.193 clientes, indica que, quando altas cargas resistivas (representadas por chuveiros elétricos, que representam 38,8% da conta de energia em uma casa média típica [6]) não são levadas em conta, o fator de potência médio dos clientes domésticos é  $PF = 0,76$ , com variação de  $\pm 9\%$  dentro de  $2\sigma$ . O equipamento consegue obter, separadamente, os valores de Ah dos aparelhos de baixa corrente (que têm um fator de potência média de 0,76) e dos aparelhos de cargas resistivas elevadas (chuveiro elétricos e outros aparelhos que drenam mais de 15 A), minimizando o erro na energia calculada devido ao fator de potência.

## VII. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E CONCLUSÕES

Para avaliar a nova rotina de inspeção proposta para a detecção de furto de energia, a nova estratégia de realizar uma análise pré-inspeção foi testada em campo. Foram realizados vários testes “cegos” em campo, de forma a avaliar a capacidade da tecnologia de pré-inspeção proposta. Nesses testes, os consumidores que iriam ser inspecionados pelas equipes de campo receberam, antes de a inspeção convencional ser realizada, o processo de pré-inspeção com os equipamentos. Somente após a suas retiradas é que as equipes de inspeção realizaram as inspeções convencionais.

Os resultados da análise dos equipamentos eletrônicos geraram um diagnóstico indicando a presença ou não de fraudes ou anomalias, evidenciando se aqueles consumidores deveriam ou não ser inspecionados.

A comparação dessas indicações com os resultados das inspeções convencionais foi excelente, como se pode observar através das conclusões a seguir:

1) Todas as residências onde foram encontradas fraudes ou algum tipo de anomalia haviam sido selecionadas pela nova metodologia com o status de “realizar inspeção”;

2) Todas as residências onde não foram encontradas fraudes ou anomalias haviam sido indicadas pelo novo sistema como “não realizar inspeção”;

3) Em uma das residências onde foi feita uma inspeção superficial (a casa estava fechada e, aparentemente, não havia nenhum problema), o sistema indicou que havia uma provável fraude ou anomalia, e uma inspeção mais detalhada realizada posteriormente detectou que realmente existia uma fraude.

Desta forma, o sistema foi capaz não só de identificar com precisão todas as fraudes e todas as instalações que estavam regulares, como também foi capaz de identificar que, em algumas instalações, inspeções mais rigorosas devem ser realizadas.

### DETALHES DO PROJETO

- Custo médio da inspeção convencional de fraude (BT) R\$/inspeção = R\$98,04;
- Quantidade de inspeções médias por mês ou por ano (BT) = 247 mil inspeções/ano;
- Índice de inspeções improdutivas ou sem sucesso (BT) = 87%;
- Custo médio da pré-inspeção através do KGT100 desenvolvido: 20% da inspeção convencional =  $0,2 \times R\$ 98,04 = R\$ 19,61$ ;
- Custo estimado da unidade do dispositivo de medição KGT 100: R\$ 80,00;
- Percentual de acerto do dispositivo: 90%, com perspectiva de redução das inspeções convencionais.

#### Cenário atual

- Custo anual das inspeções convencionais =  $247.000 \text{ inspeções} \times R\$ 98,04 = R\$ 24.215.880,00/\text{ano}$ .

#### Cenário com pré-inspeção (utilizando KGT100)

- Custo anual =  $247.000 \text{ pré-inspeções} \times R\$ 19,91 + 24.700 \text{ inspeções convencionais} \times R\$ 98,04 = R\$ 7.339.358,00/\text{ano}$ ;
- Benefício esperado: redução do custo anual de inspeções de fraude em  $R\$ 16.876.522,00/\text{ano} = R\$ 1.406.376,83/\text{mês}$ ;
- Investimento necessário para fazer 4.750 pré-inspeções por semana (247.000/ano) =  $10.000 \times R\$ 80,00 = R\$ 800.000,00/\text{ano}$ .

## IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DEPURU, S.; WANG, L.; DEVABHAKTUNI, V.; GUDI, N. "Measures and setbacks for controlling electricity theft". In IEEE North American Power Symposium-NAPS, 2010.
- [2] BUREAU FOR ECONOMIC GROWTH, AGRICULTURE AND TRADE, U.S. AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT WASHINGTON, D.C. Transforming Electricity Consumers into Customers: Case Study of a Slum Electrification and Loss Reduction Project in São Paulo. Brasil, 2009.
- [3] ONAT, N. "Transmission and distribution losses of turkey's power system". Proceed-ings of the 4th WSEAS Conference on Advances in Energy Planning, Environmental Education and Renewable Energy Sources, 2010.
- [4] TEXAS INSTRUMENTS. MSP430FE42x Mixed Signal Microcontroller Data-Sheet, 2008.
- [5] MORAIS, F. Development of an electronic wireless RMS current meter for applications in detection of electrical energy theft. M.Sc. Thesis in Electrical Engineering, Faculty of Computer and Electrical Engineering, University of Campinas, Brazil, 2011.
- [6] POMILIO, J.; DECKMANN, S. "Characterization and compensation of harmonics and reactive power of residential and commercial loads". IEEE Transactions on Power Delivery, 2, 2007.



AES SUL

## Sistema automatizado de irrigação apresenta alto índice de eficiência energética

A lavoura de arroz demanda irrigação contínua durante parte do período de safra, o que acarreta um alto consumo de energia elétrica. No Brasil, muitas delas localizam-se no final de linhas rurais extensas, ficando mais sujeitas a problemas de qualidade de energia. Para estimular o controle do uso de eletricidade e água na cultura do arroz, a AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A promoveu uma pesquisa, conduzida por pesquisadores da Universidade Federal do Pampa (Unipampa), para a implantação de um sistema de irrigação baseado em sistema supervisão e comunicação sem fio.

No projeto desenvolvido, um controlador programável recebe a informação da altura da lâmina d'água, enviada através de uma rede sem fio por sensores instalados em campo. Com base na estratégia programada, o controlador ativa a bomba de irrigação durante o tempo necessário e com controle de rotação. Um modem conectado ao controlador permite a comunicação com o sistema supervisão em um computador remoto, capaz de configurar os parâmetros da lógica de controle e também acompanhar e registrar as informações dos equipamentos.

Os testes foram realizados durante três semanas, em quatro parcelas de 10m x 20m, para avaliar o desempenho do sistema em diferentes práticas de irrigação. Os resultados foram uma redução de até 85,2% no consumo de água e de até 81,3% no de energia elétrica. Embora não possam ser expandidos para todo o período de safra, eles demonstram o sucesso do sistema para a eficiência energética da lavoura.

### Ficha técnica

Empresa: AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A

Título: Automação da Irrigação Para Melhoria da Eficiência Energética em Lavouras de Arroz

Ano: 2009

Investimento: R\$ 422.110,75

Execução: Universidade Federal do Pampa (Unipampa)

# Automação da irrigação para melhoria da eficiência energética em lavouras de arroz

Belizário Thomé<sup>1</sup>, Pedro Montani<sup>1</sup>, Donorvan Fagundes<sup>1</sup>, Luciano Pfitscher<sup>2</sup>, Daniel Bernardon<sup>2</sup>, Luciana Kopp<sup>2</sup>, Marcos Heckler<sup>2</sup>

**Resumo** – A automação é um recurso que pode melhorar a eficiência energética em lavouras de arroz, além de contribuir na redução do impacto ambiental. Este trabalho apresenta um sistema de irrigação automatizado para lavouras de arroz, baseado em sistema supervisorio e comunicação sem fio. O objetivo principal do projeto é monitorar e controlar a lâmina d'água na lavoura. Características específicas da irrigação do arroz foram levadas em consideração, tais como as grandes distâncias envolvidas e diferentes regimes de trabalho das bombas. A solução completa e os resultados alcançados são apresentados.

**Palavras-chave** – Automação, eficiência energética, irrigação.

**Abstract** – Automation is a resource that can improve energetic efficiency in rice fields, besides contributing to the reduction of the environmental impact. This paper presents an automated irrigation system for rice fields, based on a supervision and wireless communication system. The project's main objective is to monitor and control the water depth in the field. Specific rice irrigation characteristics were taken into consideration, such as the large distances involved and different work regimes of the pumps. The complete solution and the results reached are presented.

**Keyword** – Automation. energetic efficiency. Irrigation.

## I. INTRODUÇÃO

Grandes lavouras de arroz representam uma carga significativa no sistema de potência, pois o sistema de irrigação dessas lavouras opera em modo contínuo durante parte do período da safra. Além disso, esse tipo de carga normalmente localiza-se no final de linhas rurais extensas, ficando mais sujeita a problemas de qualidade de energia.

A automação do sistema de irrigação tem um papel importante no controle do uso de eletricidade e água. Um sistema de irrigação automatizado deve incluir sensores de lâmina d'água, um controlador eletrônico, e um sistema de supervisão para o monitoramento e estabelecimento de referências [1-2]. O maior desafio para esse tipo de automação é a confiabilidade da comunicação entre os sensores implantados no campo e o sistema de supervisão [3-4]. Este trabalho descreve a implantação de um sistema de irrigação para cultura do arroz baseado em sistema supervisorio e comunicação sem fio. O objetivo desse sistema é possibilitar o controle automático e monitoramento remoto da lâmina d'água na lavoura. Como resultado da aplicação desse sistema espera-se a melhoria da eficiência energética e a redução do consumo de água, com a manutenção da produtividade da lavoura.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Estrutura geral do projeto

A figura 1 apresenta um esquema do projeto. No primeiro estágio, há um controlador programável, que recebe a informação da altura da lâmina d'água enviada por sensores instalados em campo. Os sensores são do tipo ultrassônico e se comunicam com o controlador através de uma rede sem fio. Com base na estratégia de controle programada, o controlador ativa a bomba de irrigação durante o tempo necessário e com controle de rotação, através de um inversor de frequência. No segundo estágio, há um modem GPRS conectado ao controlador, que permite a comunicação com o Sistema Supervisorio, que roda em um computador remoto. O protocolo utilizado para essa comunicação foi o DNP3. Através do sistema supervisorio, é possível configurar os parâmetros da lógica de controle e também acompanhar e registrar as informações dos equipamentos.

### B. Estratégia de controle da irrigação

A figura 2 ilustra o conceito da lógica de controle e a figura 3 apresenta o fluxograma do controle implementado. Em cada área de teste, são instalados dois sensores. Na estratégia de controle do projeto foram considerados três níveis de referência: mínima (Refmin), máxima (Refmax) e média (Ref). As referências mínimas e máximas correspondem a limites de tolerância, sendo que o objetivo do controle é manter a altura média da lâmina d'água no valor definido pela referência média.

### C. Implementação prática e testes

Os testes do projeto foram realizados em quatro parcelas de 10m x 20m, para avaliar o desempenho do sistema proposto em

O projeto de P&D, de mesmo título deste artigo e com código PD-0396-0009/2009, com duração de 24 meses, foi concluído em 03/05/2011 com um custo de R\$ 422.110,75, sendo executado pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, com suporte financeiro da AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia SA.

1 AES-Sul Distribuidora Gaúcha de Energia (e-mail de contato: belisario.thome@aes.com)

2 Universidade Federal do Pampa (e-mail de contato: lucianopfischer@unipampa.edu.br).

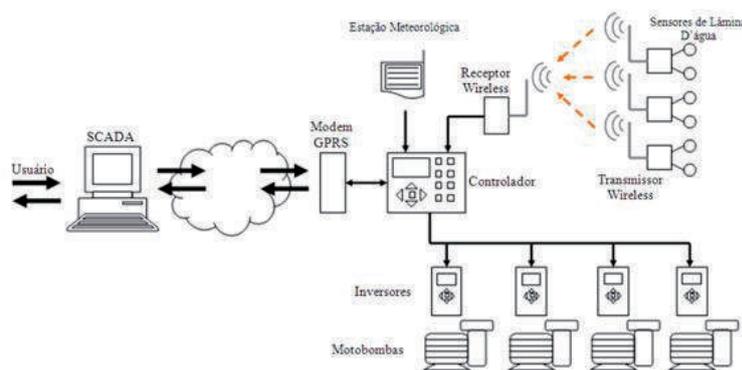


Figura 1: Diagrama geral.

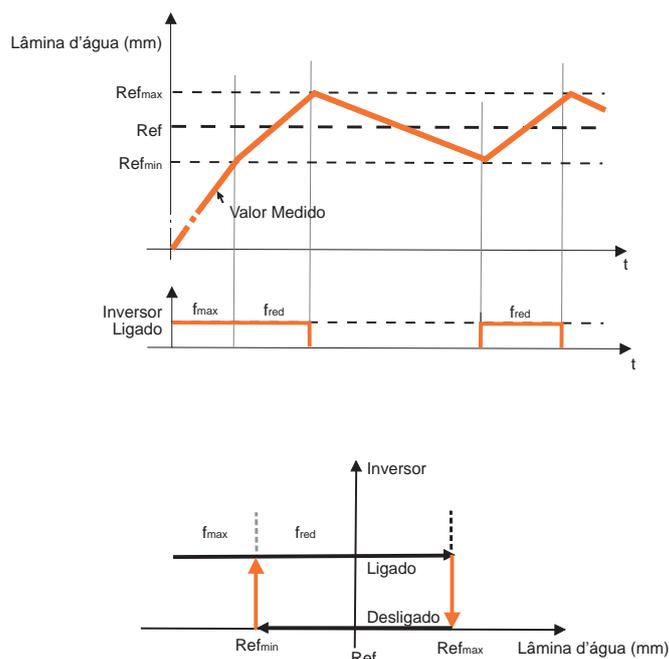


Figura 2: Regime de acionamento das bombas.

diferentes práticas de irrigação. Três parcelas são controladas automaticamente e a parcela restante representa um sistema convencional, para comparação. A Parcela 3 representa um sistema conhecido como solo saturado. A Tabela I resume os parâmetros adotados no projeto.

Tabela I. Parâmetros de referência

Parcela	Ref. Média (mm)	Ref. Mínima (mm)	Ref. Máxima
1	-	-	-
2	30	20	40
3	10	5	20
4	50	10	70

período de medição e funcionamento do sistema. A Parcela 3 foi a que apresentou os melhores índices de redução de consumo de água e energia elétrica, pois a quantidade de água necessária para manter o solo saturado é menor. A Figura 4 apresenta alguns detalhes da instalação do projeto.

Tabela II. Resultados

Parcela	Água (m <sup>3</sup> )	Energia (kWh)	% da Parcela 1	
			m <sup>3</sup>	kWh
1	97,74	13,47	-	-
2	28,59	4,52	29,3	33,6
3	14,49	2,51	14,8	18,7
4	30,8	3,47	31,5	25,8
Período de teste: 25/01/11 a 12/02/11				

### III. RESULTADOS

Os resultados do projeto mostram que houve redução no uso de energia e água na irrigação das parcelas automatizadas em comparação à parcela que representa o sistema convencional. Para exemplificação, a Tabela II apresenta os resultados de um

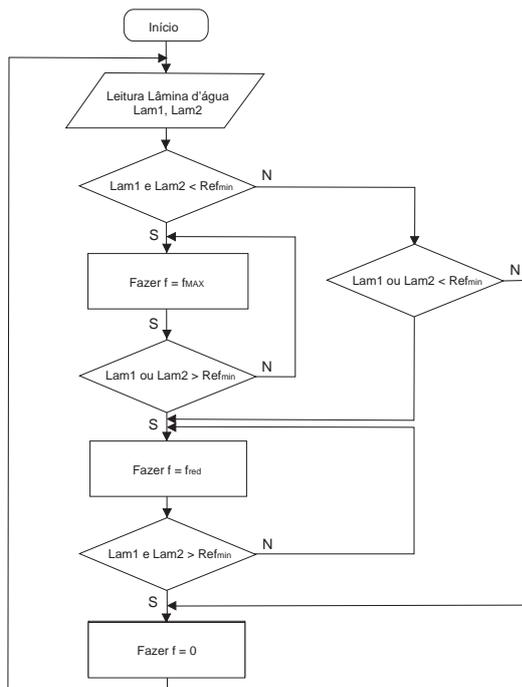


Figura 3. Fluxograma de controle.



Figura 4. Detalhes da instalação do projeto: sensor ultrassônico; transmissor sem fio e sala de controle local.

#### IV. CONCLUSÃO

Um sistema automático de irrigação para o cultivo de arroz foi apresentado neste trabalho. Suas principais características são a utilização de um sistema supervisor para monitorar e controlar a irrigação de bombeamento e do nível da água e a utilização de um sistema de comunicação baseado em GPRS para permitir o controle remoto. O controle das condições de cultivo é feito por um controlador dedicado, que elimina a necessidade de um computador no local. Resultados mostram uma redução em torno de 85,2% no consumo de água e de 81,3% no consumo de energia elétrica, durante um período de testes em uma das parcelas com o sistema automatizado. Esses resultados, porém, não podem ser expandidos para todo o período da safra, pois o sistema de irrigação deve ser adaptado às diferentes etapas da planta, desde o plantio até a colheita. O sistema desenvolvido contribui para o desenvolvimento de práticas de irrigação que permitem o uso otimizado da água e da energia elétrica. Do ponto de vista técnico, a melhor eficiência energética nas lavouras permite indiretamente a melhoria no fornecimento de energia elétrica, quanto a níveis de tensão, perdas de energia e continuidade.

Tabela II. Resultados

Parcela	Água (m <sup>3</sup> )	Energia (kWh)	% da Parcela	
			m <sup>3</sup>	kWh
1	97,74	13,47	-	-
2	28,59	4,52	29,3	33,6
3	14,49	2,51	14,8	18,7
4	30,8	3,47	31,5	25,8
Período de teste: 25/01/11 a 12/02/11				

#### V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia SA, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

#### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] YANG, S.; GUO, J.; WANG, X. "Detecting of water shortage information in crops with acoustic emission technology and automatic irrigation system". In Proc. of Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves, and Device Applications. Nanjing, pp. 566 – 569, Dec. 2008.
- [2] BENZEKRI, A.; MEGHRICHE, K.; REFOUFI, L. "PC-based automation of a multi-mode control for an irrigation system". In Proc. of International Symposium on Industrial Embedded Systems. Lisbon, pp. 310 – 315, Jul. 2007.
- [3] YANG, G.; LIU, Y.; ZHAO, L.; CUI, S.; MENG, Q.; CHEN, H. "Automatic irrigation system based on wireless network". In Proc. of 8th IEEE International Conference on Control and Automation. Xiamen, pp. 2120 – 2125, Jun. 2010.
- [4] YANG, G.; WEN, B.; GAO, G. "Devices for automatic irrigation based on GSM network and radio communication". In Proc. of 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. Singapore, pp. 1 - 5, Dec. 2006.



AES SUL

## Padrão normatizado de transformador de média tensão não é o mais eficiente na área rural

Com a proposta de aprimorar o desempenho e a vida útil dos transformadores de média tensão – que constituem os componentes da distribuição de maior perda, com desperdício de 33% do total da energia carregada –, a AES Sul liderou um levantamento das especificações mais adequadas para o funcionamento eficiente desse equipamento. Pesquisadores da Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (Fupai) e do Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá (LAT/Unifei) conduziram a análise estatística, em duas etapas. Primeiramente, para conhecimento da carga a ser avaliada, foram comparadas duas metodologias de medição do tempo suprindo a máxima potência (TSMP) – ou seja, do período, ao longo de um dia, em que o transformador operando em plena carga apresenta as mesmas perdas série verificadas em um ciclo normal de carga. A escolhida considerou os dados de medições de 69 transformadores monofásicos durante sete dias.

A segunda parte da pesquisa estudou 21 projetos de transformadores monofásicos, com pequenas variações a partir dos padrões na norma NBR 5440. Foi avaliado o custo previsto de compra e as perdas capitalizadas de cada projeto, ao longo de uma vida útil de 20 anos na área rural. Levando em conta a impedância e a variação prevista de deterioração material, a pesquisa demonstrou que as opções mais eficientes não são amparadas pelas normas nacionais, o que resulta na fabricação de transformadores mais custosos do que o necessário, considerando-se o preço de toda a operação do equipamento.

### Ficha técnica

Empresa: AES Sul

Título: Projeto de Aplicação de Transformadores Eficientes para Rede de Média Tensão

Ano: 2010

Investimento: R\$ 1.059.100,00

Execução: Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (Fupai) e Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá (LAT/Unifei)

# Transformadores eficientes de alta impedância para as Redes de Média Tensão da AES Sul

Rogério Salustiano, Arimatéa A. Nunes<sup>1</sup>, Aelfclêniton M. M. Diniz<sup>1</sup>, Estácio T. Wanderley Neto<sup>1</sup>, Manuel L. B. Martinez<sup>1</sup>,  
Hermes R. P. M. de Oliveira e Gilnei José Gama dos Santos<sup>2</sup>

**Resumo** – As análises de carga permitem definir o agrupamento de cargas para monitoramento em campo. Os valores obtidos da análise definem os modelos estatísticos de carga, bem como os valores de TSMP, utilizados nas análises econômicas que definem os melhores projetos em termos de custos versus benefícios. A influência da impedância percentual para os transformadores monofásicos é apresentada e discutida, assim como os benefícios para o sistema com a redução dos custos das perdas totais.

**Palavras-chave** – Análises de Carga, TSMP, Impedância Percentual, Perdas a vazio e Viabilidade.

**Abstract** – The load analyses allow the definition of the load grouping for in-field monitoring. The values obtained from the analysis define the statistic load models, as well as the TSMP values, used in the economic analyses that define the best projects in terms of cost versus benefits. The influence of the percentage impedance for the monophasic transformers is presented and discussed, as well as the benefits for the system with the cost reduction of total losses.

**Keyword** – Automation. energetic efficiency. Irrigation.

## I. INTRODUÇÃO

Os transformadores de média tensão são os componentes da distribuição de maior perda, 33% do total, perdendo apenas para as linhas de transmissão [1]. Os processos de especificação assumem a necessidade do conhecimento da carga. Assim, decidiu-se fazer uma análise estatística da carga na rede da AES Sul para projetar transformadores eficientes reduzindo perdas e evitando a utilização de potências inferiores à demanda, aumentando sua vida útil.

O tempo suprindo a máxima potência (TSMP), foi a medida utilizada na análise e no desenvolvimento do trabalho. Ele indica o tempo durante um dia que o transformador operando em plena carga apresenta as mesmas perdas série que um ciclo normal de carga. O TSMP é obtido de (1).

$$TSMP = \frac{24}{nd} \cdot \sum_{i=1}^{nd} \left( \frac{S_i}{S_n} \right)^2$$

Onde,

Si é a potência instantânea em Watts;

Sn é a potência nominal em Watts;

nd é o número de intervalos de tempo.

## II. ANÁLISE DE CARGA

Foram utilizadas duas metodologias e depois comparadas para saber a que melhor se adequou ao projeto. A primeira, baseada na utilização do banco de dados proveniente do consumo sem necessidade de custo adicional para obtenção dos dados. A segunda utilizou dados de medições de 69 transformadores monofásicos durante sete dias.

A finalidade foi comparar as metodologias e verificar a substituição das medições em campo pelo consumo. Foi observado que, apesar das poucas medições em campo, existe semelhança analítica e estatística entre a maioria dos dados apresentados na metodologia do consumo mensal conforme a Tabela I. Mesmo assim, para a análise estatística, recomenda-se a medição em campo, por apresentar valores mais confiáveis que o consumo mensal. Também para o levantamento do TSMP, é imprescindível a obtenção dos dados de campo, tendo em vista a falta de informação utilizando o consumo.

Tabela I. Comparação entre as demandas máximas

Potência	Metodologia	Demanda Máxima [kVA]		
		Limite Inferior	Média	Limite Superior
5 kVA Monofásico	Consumo	3,53	3,6	3,68
	Medições	2,67	3,36	4,06
10 kVA Monofásico	Consumo	3,39	3,46	3,52
	Medições	3,73	4,08	4,4

Informações sobre o Projeto de P&D: Projeto de Aplicação de Transformadores Eficientes para Rede de Média Tensão, código ANEEL: 0396-005/2007; financiadora AES-Sul; executora Fupai – Lat-Efei; ciclo 2009/2010; investimento R\$ 1.059.100,00.

Lat-Efei (e-mails: rogeriosalustiano@lat-efei.org.br; nunesarimatea@lat-efei.org.br; mouroner@lat-efei.org.br; estacio@lat-efei.org.br; martinez@lat-efei.org.br).

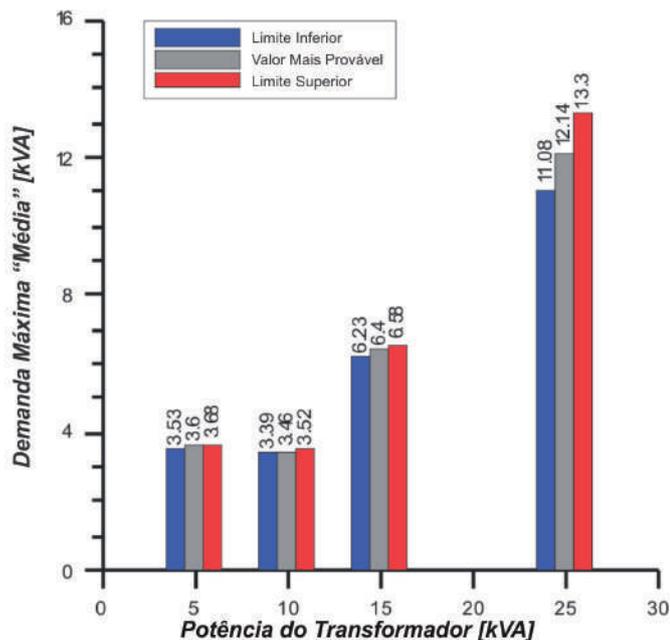


Figura 1. Demanda Máxima "Média" por transformador.



Figura 2. Transformador rural monofásico.

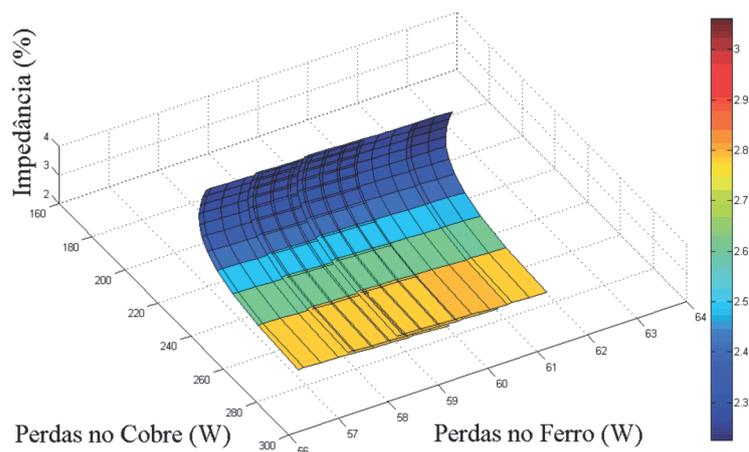


Figura 3. Impedância em função das perdas

Através do estudo estatístico do carregamento apresentado na Figura 1, foram desenvolvidos transformadores monofásicos visando à redução de perdas no núcleo para área rural, baseados em rotina de projetos a partir do carregamento das unidades [2]. Esta rotina visa ao ganho das perdas em vazio através da  $Z\%$ , impedância percentual.

Os transformadores seguem um projeto padrão, ou seja, apresentam núcleo de duas colunas e com chapas de aço-silício de grão-orientado. Os transformadores foram projetados a partir de um padrão, obtido de acordo com os limites da norma NBR 5440 [3]. O objetivo de partir do padrão permite considerar pequenas variações nos parâmetros do processo de obtenção e otimização de novos projetos, considerados mais eficientes.

A partir do padrão, criaram-se 21 projetos variando-se al-

guns parâmetros. As características do padrão e de quatro projetos podem ser vistas na Tabela II. Os projetos 1 e 2 tem duas camadas BT, já os projetos 11 e 12 tem três camadas. O projeto 1 é semelhante ao 11 diferenciando apenas no número de camadas da BT e AT, e o projeto 2, semelhante ao 12.

Tabela II. Custo com perdas capitalizadas e Impedância.

Projeto	Perdas (w)	Custo compra (R\$)	Custo Total (R\$)	Z (%)
Norma	-	60		2,5
Padrão	203	62	1134,98	2,4
P1	243	40	1198,59	2,8
P2	239	42	1192,23	2,8
P11	262	34	1175,31	3,9
P12	258	36	1169,65	3,8



Tabela III. Redução das perdas com a redução da densidade de fluxo.

Projeto	Espiras BT	Perdas Vazio (W)	Indução (G)	R (%)	Z (%)
Padrão	51	62	16750	2,0	2,4
P1	62	40	13958	2,4	2,8
P2	61	42	14195	2,4	2,8
P11	62	34	13958	2,6	3,9
P12	61	35	14195	2,6	3,8

### III. ANÁLISE FINANCEIRA

A análise foi realizada para estimar o custo de cada um dos projetos. Os custos apresentados são o de compra e o total, desenvolvidos com base em uma unidade fabril fictícia – embora se baseiem em valores praticáveis no mercado.

O custo de compra é o custo de compra do transformador eficiente junto ao fornecedor. Estão inclusos custos de: aço-silício, cobre, tanque, mão-de-obra, outras despesas, impostos e lucro.

O custo total representa o custo de compra adicionado às perdas capitalizadas [4]. Para a obtenção deste custo, considerou-se uma vida útil de 20 anos, custos amortizados ao longo da vida útil, análise de 10 anos, taxa de juros de 8% a.a. e TSMP de 1 hora/dia. Os custos dos transformadores projetados podem ser vistos na Tabela II.

### IV. IMPEDÂNCIA PERCENTUAL

A impedância é composta por duas parcelas: a reatância percentual de dispersão e a resistência percentual, R%. Para transformadores rurais, pode-se manipular o número de espiras, elevando-o, com base no aumento de R%. Este incremento implica na redução do fluxo, como pode ser visto na Tabela III.

Mantendo-se a seção do núcleo constante, reduz-se a densi-

dade de fluxo implicando na redução das perdas no núcleo, mas as perdas sob carga se elevam – o que pode ser considerado de menor importância, uma vez que o transformador opera com carregamento reduzido.

Os aumentos na Z% são associados a aumentos de R% que são resultantes da utilização de enrolamentos com um maior número de espiras. Isto acarreta no incremento do volume de cobre utilizado se comparado ao transformador padrão. Em contrapartida, implica em maiores perdas nos enrolamentos. No entanto, sob as condições de baixo carregamento, estas perdas não são importantes, de modo que as perdas totais em operação podem vir a ser menores que os valores normalizados [3]. Isto é demonstrado pelo menor custo total observado na Tabela III. Em contrapartida ao aumento de R%, a quantidade de aço-silício é reduzida quando comparada ao padrão, implicando em uma queda no preço de manufatura.

### V. CONCLUSÃO

Fica demonstrado que as limitações impostas pelas normas nacionais à impedância percentual são restritivas à escolha do transformador mais eficiente. Ou seja, o valor de impedância percentual necessita de certa flexibilização para que se possa chegar ao transformador de menor custo. Entenda-se que menor custo não está ligado ao menor preço de compra, e sim o de toda operação do transformador.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Relatórios Técnicos:

- [1] L. Energy. "Global Energy Savings Potential from High Efficiency Distribution Transformers". European Copper Institute, February 2005. [Online]. Disponível: <http://www.leonardo-energy.org/global-energy-savings-potential-high-efficiency-distribution-transformers>
- [2] PIKANÇO, A. F. Desenvolvimento de Uma Metodologia para a Aplicação de Transformadores Eficientes com Base nos Perfis de Carregamento. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Itajubá, Agosto, 2009.
- [3] NBR 5440. Transformadores para Redes Aéreas de Distribuição: Padronização. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica, julho 1999.
- [4] RIES, W. Transformadores – Fundamentos para o Projeto e Cálculo. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 1ª ed.



AMPLA

## Dispositivo em luvas evita choques em redes de média e baixa tensão

Os eletricitistas em contato com redes de média e baixa tensão estão sujeitos a choques quando entram na zona de risco, involuntariamente, e quando lidam com redes supostamente desenergizadas que, na verdade, estão energizadas. Este é um perigo enfrentado com frequência por profissionais envolvidos com a construção de redes aéreas, a manutenção de redes aéreas e o atendimento de emergências. Para prevenir acidentes, a Ampla liderou o projeto para a criação de um detector de tensão, com aviso de bip sonoro e luz de *LED*, a ser acoplado nas luvas não isoladas utilizadas por esses técnicos.

Após 13 meses de pesquisa e testes com 50 protótipos (25 pares de luvas), em simuladores e em campo, a equipe da Ampla e da EON Assessoria Empresarial Ltda. chegou ao protótipo final, avaliado como um equipamento de segurança individual de última linha. O aparelho desenvolvido, com 10 gramas e tamanho reduzido, aciona uma buzina e uma iluminação vermelha em *LED* quando a luva é aproximada de redes de média tensão acima de 1.000 volts (tensão de operação: 11,4 kV/ 13,8 kV) e de baixa tensão acima de 116 volts (tensão de operação: 127 V/ 220 V / 380 V).

Embora possa ser aprimorado quanto à fonte de alimentação, o protótipo superou as expectativas do projeto. A industrialização em lote significativo seria a solução para reduzir o custo do equipamento, tornando o produto competitivo no mercado.

### Ficha técnica

Empresa: Ampla Energia e Serviços S/A

Título: Desenvolvimento ou adaptação de dispositivo detector de tensão para luvas não isoladas

Ciclos: 2010/2011 e 2011/2012

Investimento: R\$ 191.000,00

Execução: EON Assessoria Empresarial Ltda.



# Desenvolvimento ou adaptação de dispositivo detector de tensão para luvas não isoladas

Oldemar B. de Moura, Jorge L. A. de Sousa<sup>1</sup> e Geraldo Z. de M. Filho<sup>1</sup>

**Resumo** – Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um novo dispositivo detector de circuitos energizados para tensões de 11,4 e 13,8 kV, acoplável às luvas não isoladas de raspa ou palma de vaqueta, padronizadas para os serviços de construção e manutenção de redes consideradas desenergizadas. Nesta atividade, embora as medidas de segurança voltadas ao correto impedimento/desligamento dos circuitos elétricos sejam premissas estabelecidas pela NR-10 do MTE [1], acidentes provocados por reenergização acidental ou por falhas de procedimento ocorrem com frequência no setor elétrico. O protótipo desenvolvido, além de leve e de pequeno custo (se comparado aos modelos utilizados atualmente), visa oferecer proteção adicional durante as atividades, emitindo um sinal sonoro e luminoso quando as mãos entram no raio da zona controlada, evitando a aproximação acidental, alertando o profissional do risco, a fim de rever as etapas do procedimento de impedimento adotadas por falhas na comunicação, imperícia ou imprudência durante a operação.

**Palavras-chave** – Confiabilidade, qualidade, segurança, simplicidade, viabilidade.

**Abstract** – This paper presents the development of a new detector device of energized circuits for voltages of 11.4 and 13.8 kV, attachable to non-isolated regular or skin leather gloves, standardized for services of construction and maintenance of networks considered de-energized. In this activity, although security measures aimed at correct prevention/disconnection of electrical circuits are premises established by the MTE NR-10 [1], accidents caused by accidental re-energizing or procedural failures occur frequently in the electricity sector. The prototype developed, although light and of low cost (compared to models used currently), aims to provide additional protection during activities, emitting a beep and light, when hands come within the controlled area, avoiding accidental approximation, alerting the professional of the risk, to review the steps of the prevention procedure adopted by faults in the miscommunication, inexperience or recklessness during operation.

**Keyword** – Reliability, quality, safety, simplicity, viability.

## I. INTRODUÇÃO

O dispositivo desenvolvido no projeto de P&D “Desenvolvimento ou adaptação de dispositivo detector de tensão para luvas não isoladas” tem como finalidade a detecção de média tensão (13,8 kV e 11,4 kV), quando, de forma involuntária, o eletricitista sair da zona livre e entrar na zona de risco, ou nos casos de as redes estarem supostamente desenergizadas e, na verdade, estarem energizadas. O detector em questão irá sinalizar como último aviso de alerta, através de bip sonoro e luz de LED.

O protótipo foi criado como equipamento de proteção individual de última linha, utilizado para detectar média tensão sem contato, sem interferência de campos magnéticos de outro sistema energizado próximo. Funciona acoplando-se às luvas e é sensível ao fenômeno de indução. Foram elaboradas cinco versões durante a pesquisa, objetivando sua eficiência e a confiabilidade de componentes. Obedecidos os objetivos do projeto, com simuladores e testes em campo, chegou-se, ao final desta etapa, a 50 protótipos (25 pares) construídos e utilizados em caráter de teste pela concessionária Ampla, como mostrado na figura 1.

Sua aplicação foi direcionada a profissionais de construção, de manutenção de redes de distribuição e de rede aérea de distribuição desenergizadas.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O projeto resultou num dispositivo detector de tensão a ser acoplado em luvas não isoladas, a ser utilizado como equipamento de segurança individual, com atuação preventiva em operações que possam ocorrer na proximidade das redes de alta tensão, tais como na construção de redes aéreas, na manutenção de redes aéreas e no atendimento de emergências.

Os principais requisitos do protótipo foram: chegar a um circuito que atenda às exigências do projeto quanto à sensibilização do dispositivo para a tensão e a distância desejadas; tamanho pequeno e robusto para resistir às intempéries do serviço; confiabilidade da fonte (bateria).

Assim, se torna um equipamento de proteção individual de última linha, utilizado para detectar alta tensão sem contato, com interferência de campos magnéticos de outro sistema energizado próximo. O dispositivo foi desenvolvido para ser utilizado nas luvas não isoladas e é sensível ao fenômeno de indução.

Como solução inicial, foi proposto o uso de uma bobina para captar variações de campo eletromagnético, próximo às redes energizadas. Tal opção tornou-se um inconveniente, em função do tamanho e de sua alta sensibilidade ao próprio corpo humano, que atuava como sensor ao campo, tendo em vista que o seu objetivo era gerar um ruído.

Em uma segunda versão, foi utilizado um transistor de efeito HALL (transistor sensível a campo magnético), o que se apresentou eficiente e com dimensões muito reduzidas. Contudo,

Informações sobre o Projeto de P&D: ‘Desenvolvimento ou adaptação de dispositivo detector de tensão para luvas não isoladas’; ‘AMPLA’; ‘EON ASSESSORIA EMPRESARIAL’; ‘2010 a 2012’; ‘R\$ 191.000,00’.



Figura 1 - Simulação em rede energizada 13,8 kV

seu uso em campo mostrou que se fazia necessária uma determinada área de incidência para que o mesmo pudesse atuar.

Em uma terceira versão, foi utilizado um amplificador operacional configurado como somador, que tinha como objetivo captar o campo eletromagnético próximo às redes energizadas. Por possuir várias entradas, era capaz de captar sinais em toda a sua extensão. Esta ação permitiu ao dispositivo não somente identificar tensões de média tensão, como também na baixa tensão, ampliando a aplicabilidade do mesmo para testes em partes metálicas normalmente sem tensão presentes na rede de distribuição aérea, como braços de luminárias e correlatos. A partir daí, o protótipo foi reprojetoado para identificar tensões de baixa e média tensão sem contato. Cabe ressaltar que, na baixa tensão, as distâncias de disparo dos alarmes sonoro e visual não ultrapassaram 0,05 m.

Na quarta versão, optou-se por colocar um amplificador operacional, blindado a ruído com disparo controlado, no que foi utilizado um CI, montado como um oscilador senoidal na montagem mono estável. Seu disparo seria dado por uma bobina no seu pino "2" (pino de entrada de dados). Como a caixa atenuava o estímulo do sinal externo que era passado ao CI-555, a quinta versão foi a solução encontrada para aumentar a área de exposição do sinal, através do enrolamento de uma bobina de forma horizontal que teve um ganho considerado de mais de 60%. Contudo, persistia a atenuação do sinal recebido de redes de transmissão próximas. A alternativa foi introduzir um filtro que eliminasse de vez outras interferências que pudessem confundir o sinal de disparo. Houve êxito nesta iniciativa.

A fim de customizar o circuito, foi retirado o seletor de tensão, considerado irrelevante quanto à aplicabilidade, além de ser uma possível fonte de falha humana durante a seleção.

Após 13 meses de pesquisa e desenvolvimento, com o somatório do aprendizado no projeto, chegou-se ao protótipo final com as seguintes características técnicas:

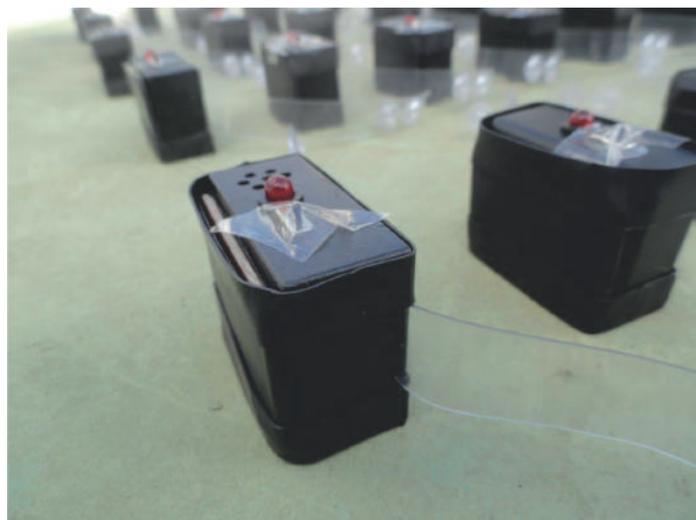


Figura 2 - 50 Protótipos produzidos e testados com êxito

- Detector de tensão acoplado a luvas não isoladas;
- Equipamento de Proteção Individual – EPI – Proteção de última linha ou retaguarda;
- Aplicação: Circuitos elétricos de média e baixa tensão – Corrente Alternada – 60 Hz;
- Níveis de Tensão:
  - Média Tensão – Acima de 1.000V (Tensão de operação: 11,4 kV/ 13,8 kV)
  - Baixa Tensão – Acima de 116 V (Tensão de operação: 127 V/ 220 V / 380 V)
- Sinalização Sonora: buzina
- Sinalização Visual: led vermelho.
- Fonte de alimentação: 1 pilha alcalina 12 V – 23A;
- Dimensões: caixa de policarbonato ou polipropileno – 23 mm x 40 mm x 34 mm;
- Peso: 10 gramas;
- Instalação em luvas não isoladas, por meio de pulseira de silicone;
- Custo final: R\$ 23,00 (vinte e três reais).

### III. CONCLUSÃO

Entendemos que o protótipo, desenvolvido através de metodologia artesanal, superou o objetivo proposto, alcançando, no mesmo dispositivo, a capacidade de sensibilizar-se em média e baixa tensão sem necessidade de seletor de voltagem. A credibi-



Figura 3 - Ensaios em condições reais, atuando com êxito em distâncias a partir de 0,80 m até o contato direto.



Figura 4 - Simulação da aplicação sobre a luva

lidade e confiabilidade foram demonstradas nos ensaios em laboratório e em campo, sob diversas condições (Figuras II, III e IV).

O protótipo ainda deverá ser desenvolvido nos aspectos relativos a sua fonte de alimentação, que, embora estável, requer ganhos de performance, ou ainda, a alimentação a partir do próprio circuito; assim, a bateria externa será dimensionada apenas para o circuito de teste.

Entendemos que o dispositivo deverá ser industrializado em lote significativo, a fim de customizar o projeto, reduzindo as-

sim seu atual custo de R\$ 23,00 para um valor em torno de R\$ 11,00. Tal investimento resultará num produto mais competitivo no mercado, com tamanho inferior ao protótipo atual com uso de tecnologia SMD.

#### IV. AGRADECIMENTOS

À empresa Ampla, através de seus profissionais, que participaram ativamente de todas as etapas de desenvolvimento deste projeto, depositando sua confiança em nossa equipe e garantindo o resultado obtido.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). Norma regulamentadora 10 (NR-10).



AMPLA

## Sensor identifica correntes de fuga em linhas de distribuição

As correntes de fuga em isoladores de linhas de distribuição criam caminhos alternativos entre a alta tensão e o cabeamento terra, potencializados pela temperatura e pela umidade. Tais correntes, multiplicadas pelo número de isoladores de uma linha, são capazes de causar a interrupção dessa linha. A condutividade do depósito provocada por sereno ou garoas gera arcos elétricos (*flashover*), que causam a destruição do isolador ou do poste. A prevenção a problemas do gênero levou a Ampla a elaborar um sistema optoeletrônico de monitoramento das linhas de distribuição com o uso de fibra ótica plástica (POF).

O sensor foi projetado para instalação no topo do isolador em teste entre a alta tensão e o terra. A corrente de fuga fornece energia para modular uma luz do *LED*, que é conduzida pela fibra ótica para uma unidade remota. Essa unidade demodula o sinal, codifica as informações sobre corrente, temperatura, umidade e ponto de orvalho, e transmite via GPRS para um banco de dados com acesso via internet.

Depois dos testes e da calibração em laboratório, o sistema foi instalado em março de 2012 no litoral norte do Rio de Janeiro, onde a Ampla tem problemas de *flashover* e interrupção da linha de distribuição. Os dados continuamente enviados para o servidor web do projeto comprovam que a medição é confiável. A pesquisa atualmente busca parâmetros para avaliação dos isoladores de acordo com os valores monitorados, de modo a determinar quando um deles deve receber manutenção.

### Ficha técnica

Empresa: Ampla Energia e Serviços S/A

Título: Cabeça de série do sistema para detecção e monitoramento de corrente de fuga em isoladores de média tensão utilizando fibra ótica

Ano: 2009

Investimento: R\$ 858.096,28

Execução: Laboratório de Instrumentação e Fotônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ)

# Desenvolvimento e testes de campo de protótipo industrial de sensor óptico de corrente de fuga para linhas de distribuição

M.M. Werneck<sup>(1,2)</sup>, C.C. Carvalho<sup>(1)</sup>, D.M. Santos<sup>(1)</sup>, J.L. da Silva-Neto<sup>(1)</sup> e F.L. Maciel<sup>(1)</sup>

**Resumo** – Foi desenvolvido um sensor para monitoramento on line da corrente de fuga em isoladores de linhas de distribuição (LD). A corrente de fuga aciona um LED que gera uma luz modulada diretamente acoplada à fibra óptica plástica (POF) e transmitida do ponto de medição em alta tensão (AT) para uma unidade remota (UR) em potencial terra. Após a demodulação do sinal, os valores RMS da corrente são concentrados em um *datalogger*, conjuntamente com umidade, temperatura e ponto de orvalho (PO), e enviados para um servidor web por GPRS. Testes de campo são realizados desde março de 2012 e os dados estão armazenados em banco de dados acessado por usuários autorizados via internet.

**Palavras-chave** – corrente de fuga, isolador, fibra óptica plástica, distribuição.

**Abstract** – A sensor was developed for on-line monitoring of leakage current in insulators on distribution lines (DL). The leakage current triggers a LED that generates a modulated light directly coupled to plastic optical fiber (POF) and transmitted the measuring point in High Voltage (HV) for a Remote Unit (RU) in ground potential. After demodulation of the signal, the current's RMS values are concentrated in a datalogger, together with humidity, temperature and dew point (DP), and sent to a WEB server via GPRS. Field tests have been performed since March/2012 and data is stored in a database accessed by authorized users via the Internet.

**Keyword** – Leakage current, Isolator, Plastic optical fiber, Distribution.

## I. INTRODUÇÃO

A corrente de fuga ocorre em isoladores em LDs devido ao aumento da condutividade de sua superfície, resultante do depósito de poluição ambiental, que cria caminhos alternativos entre a AT e o terra [2], principalmente quando somado às condições de temperatura e umidade ideais para produção do orvalho. A corrente é da ordem de miliampéres, entretanto, quando multiplicada pelo número de isoladores de uma LD, pode atingir valores capazes de acionar dispositivos de proteção de sobrecorrente e causar a interrupção da LD. Adicionalmente, sereno ou garoas aumentam a condutividade do depósito, gerando arcos elétricos (*flashover*) e causando a destruição do isolador ou do poste. A criação de uma estratégia preventiva de manutenção exige que as companhias monitorem continuamente os parâmetros que provocam o aumento da corrente de fuga.

Este trabalho propõe um sistema optoeletrônico para monitorar e transmitir corrente de fuga, temperatura e umidade usando POF. Este método apresenta vantagens como: baixo custo, imunidade às interferências eletromagnéticas e sem eletrônica ativa próximas a AT. O sistema foi instalado no litoral norte do Rio de Janeiro, onde a concessionária AMPLA tem problemas de *flashover* e interrupção da LD.

## II. DESENVOLVIMENTO

O método atual para determinar a poluição no isolador é o "Equivalent Salt Deposit Density", porém não permite um mo-

nitramento *online*. Outros métodos implicam em utilizar um resistor [3] ou uma bobina [4], entretanto, necessitam conexão de dispositivos energizados juntos a AT. O método proposto permite o monitoramento *online* e utiliza um sensor passivo opticamente isolado da AT.

### A. Sistema de monitoramento da corrente de fuga

O sensor é instalado no topo do isolador em teste entre a AT e o terra, logo a corrente de fuga fornece energia para modular a luz do LED, que é conduzida pela POF para a UR, que demodula o sinal óptico e os valores são salvos na memória local junto com temperatura e umidade; são codificados e transmitidos via GPRS. Assim, todas as URs podem enviar dados para o servidor da companhia para armazenamento e análise. Usuários autorizados acessam o website desenvolvido para analisar os gráficos de corrente, de temperatura, da umidade e do PO de uma determinada UR (Figura 1).

O *hardware* eletrônico é composto pela CPU associada a um *datalogger*, sensor de interrogação, circuitos de condicionamento dos sensores de umidade e temperatura, fonte e modem GPRS.

### B. Instalação em campo

O sistema completo foi montado e testado em laboratório.

Após os testes e a calibração em laboratório (Figura 2), o sistema foi instalado em campo sem a desenergização da linha, conforme procedimentos de trabalho em linha viva. As equipes de baixa tensão e de linha viva da Ampla executaram a instalação (Figura 5).

Após a instalação, o sensor começou a leitura dos dados para a UR, que foram transmitidos em tempo real pela internet. Du-

<sup>1</sup>Cabeça de série do sistema para detecção e monitoramento de corrente de fuga em isoladores de média tensão utilizando fibra óptica; 0383; AMPLA; LIF-COPPE/UFRJ; 2009; R\$ 858.096,28.

(1) Laboratório de Instrumentação e Fotônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro-CO-PPE POBox 68564, Rio de Janeiro RJ Brasil 21941-972.

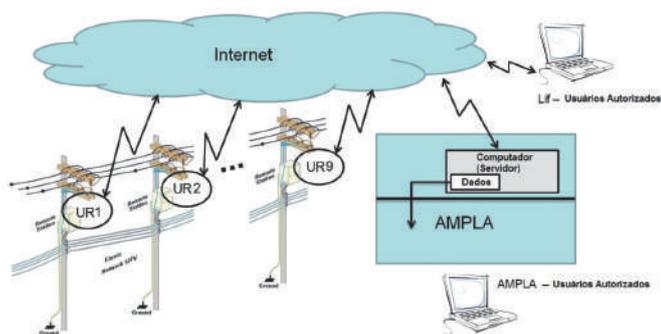


Figura 1. Diagrama do Sistema.

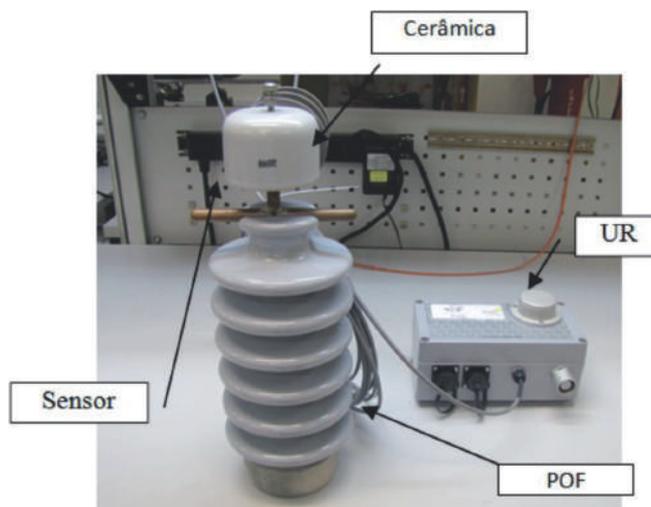


Figura 2. Componentes do sistema: Sensor e UR.

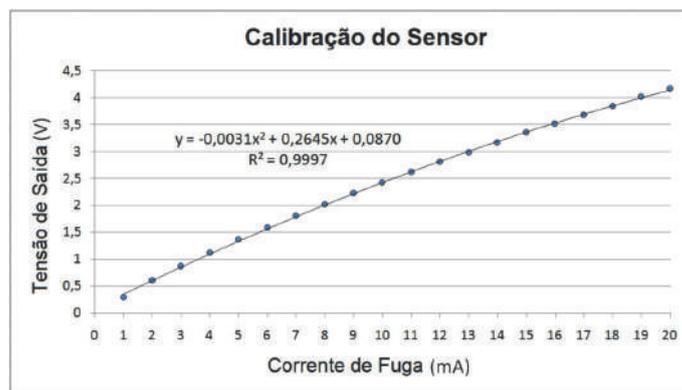


Figura 3. Calibração do sensor.

rante a instalação a página *Web* foi acessada para verificar o correto funcionamento do sistema.

### III. CALIBRAÇÃO

A metodologia de calibração foi baseada na inserção de correntes conhecidas no sensor e na medição do respectivo sinal de saída. A curva de resposta tem o comportamento de um polinômio de 2ª ordem (Figura 3). A não linearidade da resposta é função da combinação da conversão de corrente em luz no LED e depois a conversão de luz em corrente no fotodiodo.

Foi analisada a resposta do sensor em relação à variação da temperatura considerando as condições reais de campo. Neste sentido, foi utilizada uma estufa, onde o sensor media uma corrente fixa enquanto a temperatura variava. A saída do sensor não sofreu variação significativa com o aumento da temperatura (Figura 4). A incerteza calculada foi 0,47% a partir da dispersão do gráfico, provavelmente devido a ruído térmico. O isolamento térmico é explicado pelo preenchimento da cerâmica com resina, garantindo uma inércia térmica superior a 12 horas (intervalo máximo do Sol).

A Figura 6 apresenta os dados no website onde é possível criar gráficos de temperatura, PO, umidade e corrente de fuga, a partir da instalação.

### IV. CONCLUSÕES

O sistema está instalado em campo há quatro meses, enviando dados continuamente para o servidor *Web*, provando ser confiável e repetitivo. A variação de temperatura à qual está submetido não afeta as medições, como demonstrado nos testes em laboratório.

A tecnologia LED/POF do sensor apresenta vantagens em relação às outras: eficiência, fácil instalação, robustez, confiabilidade, e monitoramento on line.

Os objetivos foram atingidos, entretanto, no momento estão sendo estabelecidos parâmetros para informar o real estado do isolador de acordo com os valores monitorados. Desta forma, será possível a criação de alarmes de manutenção determinando quando um isolador deve sofrer intervenção da equipe de manutenção. A criação desses parâmetros implica na análise por um longo período de tempo, considerando o comportamento da corrente relacionada às demais variáveis ambientais do local. Análises prévias indicam que a aproximação da temperatura local ao PO ocasiona um aumento do valor da corrente de fuga. Porém, é necessária uma análise mais criteriosa para correlacionar os dois eventos.

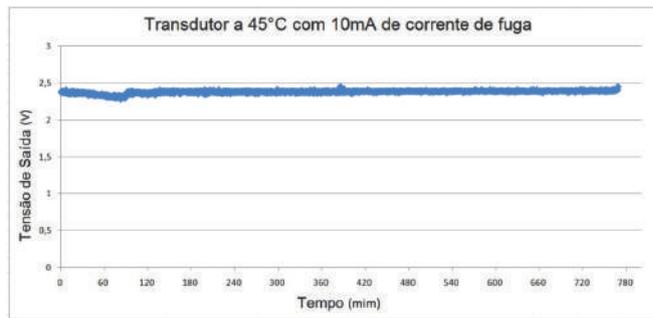


Figura 4. Influência da temperatura no sensor.

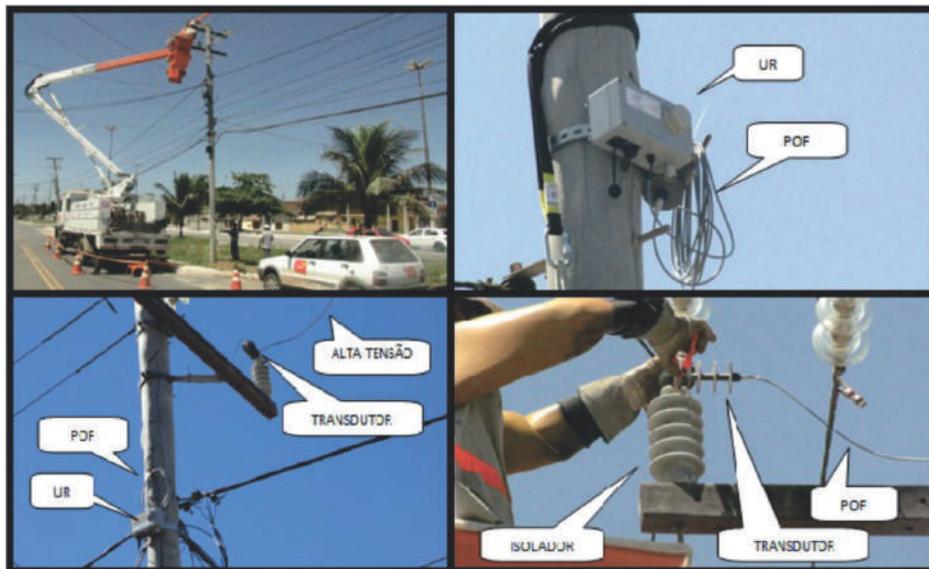


Figura 5: Fotos da sequência de instalação.



Figura 6: Gráfico de valores reais de campo.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RAMIREZ, I.; HERNANDEZ, R.; MONTOYA, G. "Measurement of leakage current for monitoring the performance of outdoor insulators in polluted environments", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol 28, Issue 4, jul-ago 2012, pp. 29-34.
- [2] KANASHIRO, G.; BURANI, G.F. "Leakage Current Monitoring of Insulators Exposed to Marine and Industrial Pollution". IEEE International Symposium on Electrical Insulation. Quebec, Canada, 1996, pp. 271-274.
- [3] AMARH, F. Electric transmission line flashover prediction system. PhD Thesis. Arizona State University, May 2001.
- [4] MARAIO, R.A.; MCMAHON, A.T.; HART JR., H.B. "Method and detector for identifying insulator flashover". U.S. Patent 5, 136, 248, 1992.



AMPLA

## Protótipo de roteador permite rede inteligente para monitoramento da distribuição

O advento das redes inteligentes de informação (smart grids) viabiliza projetos anteriormente considerados inexecutáveis no país. Graças a tais avanços, a Ampla está dando forma a uma rede automatizada capaz de supervisionar, monitorar e comandar todos os seus equipamentos e dispositivos envolvidos diretamente na distribuição de energia elétrica. Tal controle foi testado pela concessionária por meio de roteadores que se comunicam uns com os outros, em uma estrutura chamada Rede Mesh.

O protocolo de rede inteligente escolhido permite o roteamento em malha com múltiplos saltos e com rotas dinamicamente calculadas. Os roteadores, com previsão de fixação no suporte base dos reles fotoelétricos de iluminação pública, são capazes de conduzir a informação por caminhos alternativos, em caso de falha ou falta de um ponto, sem o acesso a um servidor ou um controlador de comunicação.

Os testes em campo, em uma região tipicamente urbana na cidade de Niterói (RJ), apresentaram resultados promissores quanto à disponibilidade e ao tempo de latência entre os elos de comunicação. As aplicações instaladas permitem a leitura de medidores de energia elétrica e também o telecomando e a supervisão de dispositivos compatíveis com o protocolo DNP3.0, utilizado em equipamentos de distribuição.

O projeto gerou dois pedidos de patente e modelo industrial junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). As próximas fases são as produções da cabeça de série e do lote piloto dos roteadores, para reprodução em larga escala e com custo baixo.

### Ficha técnica

Empresa: Ampla Energia e Serviços S/A

Título: Solução de comunicação para smart grid utilizando tecnologias de rede em malha.

Ciclos: 2010/2011 e 2011/2012

Investimento: R\$ 2.391.240,00

Execução: Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento (LACTEC) e Praex Technology LTDA.

# Solução de comunicação para ambiente de Smart Grid

Vóldi Costa Zambenedetti<sup>1</sup>, Rafael Wagner<sup>1</sup>, Giancarlo C. Heck<sup>1</sup>, Lourival Lippmann Junior<sup>2</sup>, Alex Soletti<sup>2</sup>, Diego F. Araújo<sup>2</sup>, Fabio Salles<sup>2</sup>, Omar Antonio Castello Macedo<sup>3</sup>

**Resumo** – Este projeto de P&D teve como objetivo criar um novo meio de comunicação com elevada permeabilidade, expansibilidade, abrangência e confiabilidade, adequado ao ambiente das redes de distribuição de energia elétrica aéreas, viabilizando a implantação de supervisão, monitoração, medição e comando em equipamentos e dispositivos presentes nas redes de distribuição de energia elétrica. O projeto foi concluído com a instalação em campo de uma “Rede Mesh” completa e funcional, incluindo dispositivos “end devices” e “gateways” compatíveis com os protocolos DNP 3.0 e ABNT para medidores (NBR 14522), na área de abrangência da rede de distribuição da concessionária AMPLA Energia e Serviços na cidade de Niterói (RJ).

**Palavras-chave** – Topologia de rede de comunicação, rede em malha, IEEE802.15.4, ZigBee, redes elétricas inteligentes.

**Abstract** – This R&D project had the objective of creating a new means of communication with elevated permeability, expansibility, extension and re-liability, suitable for the environment of the aerial electricity distribution networks, enabling the implementation of supervision, monitoring, measurement and control in equipment and devices present in the electricity distribution networks. The project was completed with the in-field installation of a fully functional “Mesh Network”, including “end devices” and “gateways” compatible with the DNP 3.0 and ABNT (NBR 14522) protocols for meters, in the coverage area of the distribution network of dealership concessionaire AMPLA Energia e Serviços in the city of Niterói (RJ).

**Keyword** – Communication network topology, mesh network, IEEE802.15.4, ZigBee, intelligent electric networks.

## I. INTRODUÇÃO

Sempre foi muito difícil tecnicamente, e muitas vezes inviável economicamente, supervisionar, monitorar e comandar todos os equipamentos e dispositivos presentes ao longo das redes de distribuição de energia elétrica de forma automatizada [1].

O objetivo deste projeto foi criar uma “Solução de Comunicação para Redes de Distribuição em Ambiente de Smart Grid”, tendo como requisitos apresentar elevadas condições de confiabilidade, disponibilidade, permeabilidade e expansibilidade, facilidade de instalação e manutenção, com baixo custo e adequação às redes de distribuição predominantemente aéreas existentes em nosso país.

## II. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Como resultado da pesquisa, foi escolhido o protocolo IEEE 802.15.4. Este protocolo possui, em sua especificação, a possibilidade de roteamento com múltiplos saltos com rotas dinamicamente calculadas, permitindo assim a construção de redes de comunicação com topologia de rede em malha ou “Rede Mesh”. Outra característica decisiva para escolha deste protocolo foi o baixo consumo de energia, permitindo o desenvolvimento de dispositivos de comunicação com baixo custo e ecologicamente corretos [2].

Diferentemente dos meios de comunicação convencionais que utilizam topologias ponto-a-ponto, ponto-multiponto, anel ou árvore, nas Redes Mesh, conforme Figura 1, todos os dispositivos roteadores podem se comunicar entre si sem que esta informação tenha que obrigatoriamente acessar um servidor ou controlador de comunicação.

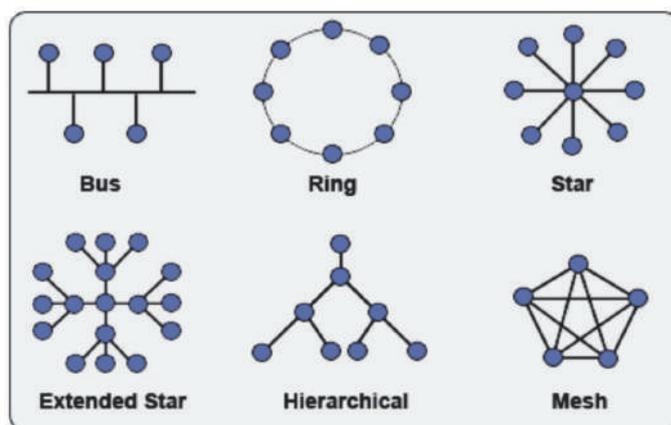


Figura 1. Topologias de redes de comunicação.

A Figura 2 ilustra o cenário de aplicação da Rede Mesh. Pode-se observar que a existência inerente de diversos enlaces simultâneos entre os dispositivos permite criar caminhos alternativos, o que garante uma elevada confiabilidade do sistema, pois, em caso de falha ou falta de um ponto, os demais roteiam a informação por caminhos alternativos automaticamente até o destino desejado.

A Figura 3 ilustra as camadas do protocolo de comunicação baseado no IEEE 802.15.4 [3].

Informações sobre o Projeto de P&D: 'solução de comunicação para smart-grid utilizando tecnologias de rede em malha', código ANEEL PD-0383-0019/2009, projeto aprovado pela ANEEL em 14/12/2009; 'AMPLA ENERGIA; LACTEC e PRAEX TECHNOLOGY LTDA; 'ciclo 2010/2012'; Investimento: R\$ 2.391.240,00 aprovado para execução do projeto.

1 LACTEC (e-mail: voldi@lactec.org.br, rwagner@lactec.org.br).

2 PRAEX TECHNOLOGY LTDA (e-mail: lippmann@praex.com.br).

3 AMPLA ENERGIA (e-mail: omacedo@endesabr.com.br)



Figura 2. Ilustração da aplicação de Rede Mesh.

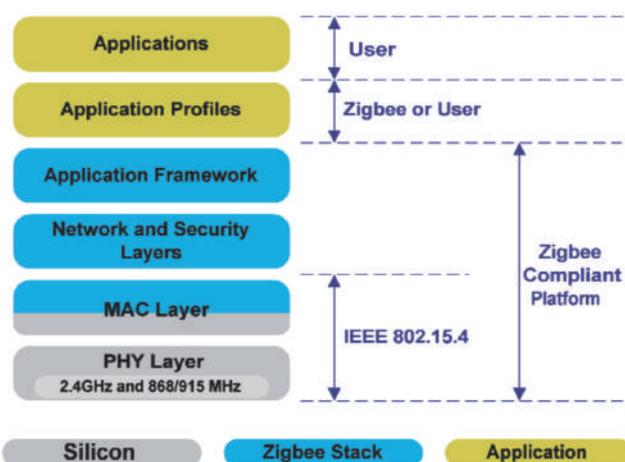


Figura 3. Camadas dos Protocolos IEEE 802.15.4 e Zigbee.



Figura 4. Circuitos eletrônicos do Roteador para Rede Mesh desenvolvidos.

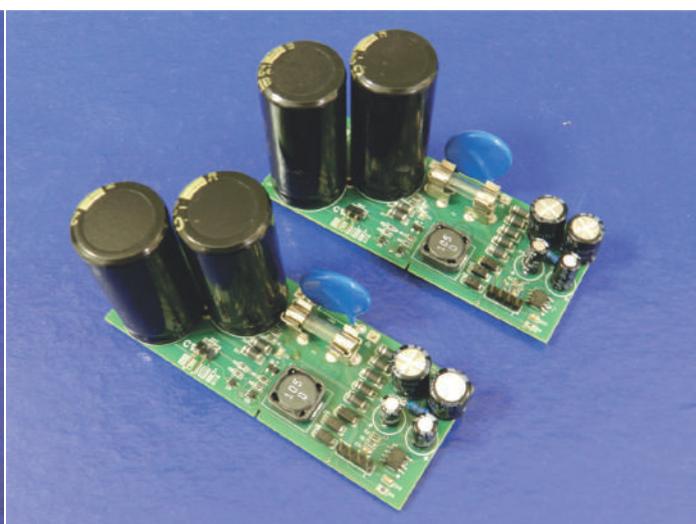


Figura 5. Roteadores para Rede Mesh desenvolvidos.

### III. IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

#### A. Roteadores para Rede Mesh

A Figura 4 ilustra o Roteador para Rede Mesh desenvolvido. O circuito eletrônico foi totalmente desenvolvido tendo como premissa apresentar o menor custo possível, para poder ser replicado em grandes quantidades. O projeto é inédito e gerou dois pedidos de patente e modelo industrial junto ao INPI [4][5].

Para facilitar a instalação, foi desenvolvida uma mecânica de fixação que faz uso do próprio suporte base dos relés fotoelétricos

já existentes nas estruturas de iluminação pública. A Figura 5 ilustra o conceito de instalação utilizando a própria base de relé fotoelétrico [6].

#### B. Dispositivos end devices para aplicações

Para validar seu funcionamento no campo, foram elencadas duas aplicações: medição de consumidores do grupo A, utilizando protocolo ABNT (NBR 14522), e supervisão de equipamentos, utilizando protocolo padrão DNP 3.0, conforme Figura 6.



Figura 6. Dispositivos end device para leitura de medidores grupo A e super-visão de equipamentos DNP 3.0, respectivamente.



Figura 7. Instalação da Rede Mesh na cidade de Niterói.



Figura 8. Dispositivo coordenador/concentrador e Sistema de Gerenciamento de Rede Mesh.

### C. Instalação em campo

Para testes em campo, foi selecionada uma região tipicamente urbana, onde foram instalados os dispositivos roteadores, formando uma Rede Mesh a partir da sede central da Ampla localizada na cidade de Niterói (RJ). A Figura 7 registra o momento da instalação e o funcionamento de um dos roteadores de Rede Mesh desenvolvidos neste projeto [7].

### D. Topologia e sistema de gerenciamento de rede

Para avaliar o desempenho da Rede Mesh, foi desenvolvido um Sistema de Gerenciamento de Rede Mesh, que, dentre outras coisas, afere a disponibilidade e o tempo de latência entre os elos de comunicação, através de um dispositivo coordenador/concentrador, conforme ilustrado na Figura 8.

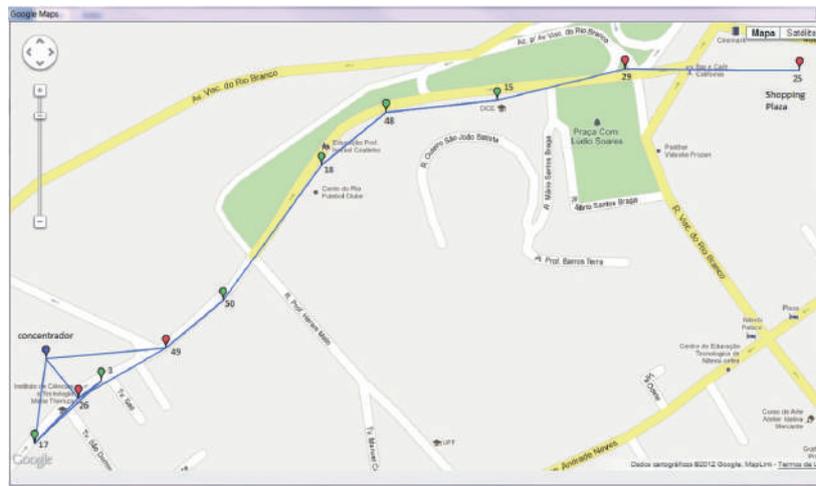


Figura 8. Dispositivo coordenador/concentrador e Sistema de Gerenciamento de Rede Mesh.

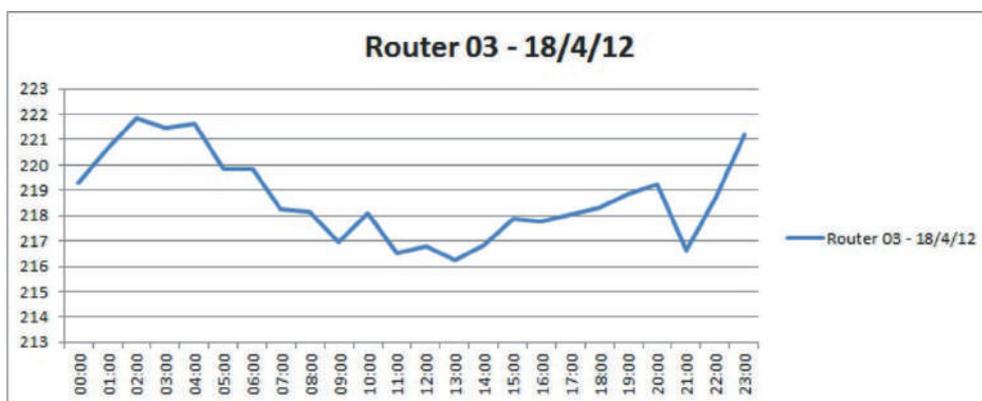


Figura 10. Resultado: perfil de tensão de um circuito típico comercial de baixa tensão, registrado via Rede Mesh no dia 18/04/2012 em Niterói.

A topologia resultante, após a instalação dos roteadores desenvolvidos, pode ser observada na Figura 9.

Figura 10. Resultado: perfil de tensão de um circuito típico comercial de baixa tensão, registrado via Rede Mesh no dia 18/04/2012 em Niterói.

#### IV. CONCLUSÕES

A Rede Mesh implantada, como uma possível “Solução de Comunicação para Redes de Distribuição”, se mostrou totalmente viável, apresentando resultados promissores quanto a sua possibilidade de utilização em larga escala nas redes de distribuição.

Outras aplicações podem ser realizadas sobre uma mesma Rede Mesh, aumentando assim seu valor sem aumentar seu custo.

As aplicações instaladas permitem atualmente a leitura de medidores de energia elétrica usando protocolo padrão ABNT (NBR 14522), via Rede Mesh, e o telecomando e a supervisão de dispositivos compatíveis com o protocolo DNP3.0, utilizado em equipamentos nas redes de distribuição de energia elétrica.

Nas próximas fases deste projeto (cabeça-de-série e lote piloto) os roteadores para Rede Mesh passarão por uma reengenharia de produto, visando sua reprodução em escala com mais baixo custo.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZAMBENEDETTI, V. C. et alii. Projeto Estratégico de P&D Redes Elétricas Inteligentes – Medição – P2.01 a P2.12 - Relatório Final. Curitiba: Lactec, 2011.
- [2] METHLEY, S. Essentials of Wireless Mesh Networking. Cambridge University Press, 2009, p.72
- [3] MISIC, J.; MISIC, V. B. “Wireless Personal Area Networks Performance, Interconnections and Security with IEEE 802.15.4”. Ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2008, p. 33
- [4] LIPPMANN JR, L. “Configuração Aplicada em Unidade de Comunicação para Redes Aéreas de Distribuição de Energia Elétrica”. LACTEC – INPI DI 7005101-1, 20 de dezembro, 2010.
- [5] LIPPMANN JR, L. “Dispositivo Adaptador para Redes de Comunicação sem Fio Autônoma disposta junto a Redes de Distribuição de Energia Elétrica” LACTEC - INPI PI 1101469-4, 01 de abril, 2011.
- [6] ZAMBENEDETTI, V. C.; LIPPMANN JR, L. “Seção: No Circuito- TI Tech Day Mostra Produtos para Área de Energia”. In Revista Eletricidade Moderna. Editora Aranda, outubro 2011, pp. 9-12.
- [7] ZAMBENEDETTI, V. C.; LIPPMANN JR, L. “Seção: No Circuito – Texas Instruments”. In Revista Eletricidade Moderna. Editora Aranda, setembro 2012, pp. 20-23.



CELESC

## Sistema demonstra robustez na administração de conexões de medidores eletrônicos

Atenta à multiplicação das potencialidades de utilização dos medidores eletrônicos, a Celesc Distribuição, em parceria com a Way2 Tecnologia, desenvolveu um sistema piloto de administração e monitoramento das informações transmitidas por esses medidores. A pesquisa se concentrou em dois fatores considerados fundamentais para a adoção da solução. Um deles, a escalabilidade, é a capacidade de lidar com um volume de dados que cresce em escala exponencial, em quantidade e velocidade. O outro é a interoperabilidade, ou seja, a adaptabilidade necessária para estabelecer conexões entre elementos que, em um cenário de avanços tecnológicos, são constantemente atualizados.

O padrão internacional IEC 61968 foi o escolhido para a administração dos fluxos de informações geradas pelos medidores, em virtude da relativa facilidade de integração com outros sistemas corporativos. Quanto à velocidade, o piloto chegou a levar menos de um sexto do tempo de consulta, em relação ao modelo convencional. A utilização do barramento para troca de mensagens foi outro ponto que favoreceu a escalabilidade do sistema, pois esse recurso suporta o paralelismo no atendimento de aplicações.

O piloto foi testado com sucesso em ambientes de carregamento simulado. Posteriormente, no Centro de Operação da Medição da Celesc, ele passou a trafegar e armazenar dados de medição de 5.000 pontos telemedidos pela concessionária. Os dados registrados são transferidos para uma base única, acessível a usuários de toda a distribuidora.

### Ficha técnica

Empresa: Celesc Distribuição

Título: Estudo da gestão da medição para redes elétricas inteligentes: tendências, impactos e primeiros passos

Ciclo: 2010/2011

Investimento: R\$ 539.069,85

Execução: Way2 Serviços de Tecnologia S./A.

# Escalabilidade e interoperabilidade em software para gestão dos dados de medição eletrônica

João L. Langer<sup>1</sup>, Eduardo D. Athayde<sup>1</sup>, Juliano Romani<sup>2</sup>, Adriana C. Costa<sup>2</sup>, Alex M. C. de Oliveira<sup>2</sup>, André T. Carlucci<sup>2</sup>, Danilo U.S. Barbosa<sup>2</sup>, Fabio L. Meirelles<sup>2</sup>, Rodolpho L. de Moura<sup>2</sup>,

**Resumo** – O volume de dados tratados pelas distribuidoras de energia com a aplicação da medição eletrônica será enorme. Este projeto teve o objetivo de estudar os últimos avanços nos sistemas de gestão da medição e o desenvolvimento de um sistema piloto adequado à realidade da medição eletrônica em dois requisitos fundamentais: escalabilidade e interoperabilidade. O piloto foi testado com sucesso em ambientes de carregamento simulado e no Centro de Operação da Medição da Celesc. A aplicação do padrão internacional IEC 61968 no fluxo de informações da medição melhora a interoperabilidade do sistema, facilitando integrações futuras com sistemas corporativos compatíveis. O presente artigo expõe uma visão geral do trabalho, incluindo: metodologia, arquitetura resultante, resultados de testes e principais benefícios.

**Palavras-chave** – Medição eletrônica, interoperabilidade, escalabilidade.

**Abstract** – The volume of data processed by energy distributors with the application of electronic measurement will be enormous. This project aimed to study the latest advances in measurement management systems and development of a pilot system suitable for the reality of electronic measurement in 2 fundamental requirements: scalability and interoperability. The pilot was successfully tested on simulated loading environments and Celesc Measurement Operation Center. The application of the international standard IEC 61968 in the measurement information flow improves system interoperability, facilitating future integration with compatible enterprise systems. This article presents an overview of the paper, including: methodology, resulting architecture, test results and main benefits.

**Keyword** – Electronic measurement, interoperability, scalability

## I. INTRODUÇÃO

O volume de informações concentradas e analisadas pelas empresas do mercado de energia vem aumentando enormemente com o avanço da tecnologia de informações e a queda do custo da eletrônica e das telecomunicações. A recente aprovação da Tarifa Branca pela ANEEL, complementada pela regulamentação dos sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B [1], aponta para um avanço da aplicação massiva da medição eletrônica no setor elétrico. As oportunidades de novos negócios e ganhos operacionais associadas a este passo são diretamente relacionadas às características não só dos equipamentos, mas dos sistemas para tratamento da informação. A tecnologia de telemedição aplicada, as grandezas registradas, o intervalo de interesse e as funcionalidades agregadas aos medidores podem impor fortes requisitos ao ambiente de TI das concessionárias.

Este artigo descreve o trabalho seminal desenvolvido em conjunto pela Way2 Tecnologia e pela Celesc, no âmbito do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL. O objetivo do projeto foi o estudo dos últimos avanços nos sistemas de gestão da medição e o desenvolvimento de um sistema piloto adequado à realidade da medição eletrônica em dois requisitos fundamentais: escalabilidade e interoperabilidade.

Com base neste objetivo, foi pesquisada uma arquitetura alternativa para armazenamento de dados para séries temporais de forma não relacional. Foi estudada a aplicação da norma internacional IEC 61968 [2] para troca de informações entre sistemas corporativos, e foi desenvolvido um sistema piloto, visando a realização de testes de conceito e performance, aproximando o desenvolvimento de sua aplicabilidade.

O piloto foi testado em diversos cenários de estudo e instalado no Centro de Operação da Medição da Celesc. Por ele trafegam hoje dados de 5.000 pontos telemedidos pela concessionária.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Metodologia

No contexto do projeto, foi realizado um levantamento das tecnologias aplicadas para a gestão da medição em sistemas de larga escala, incluindo sua arquitetura e as categorias dos principais sistemas envolvidos, notadamente os sistemas AMI (Advanced Metering Infrastructure) e MDMS (Meter Data Management System).

Esse estudo foi contrastado com o cenário dos processos de medição da Celesc, que não difere da maior parte das empresas do setor no Brasil. Como resultado, foi especificado um sistema piloto focado nas duas principais questões identificadas como grandes desafios para a implantação massiva da medição eletrônica: a escalabilidade e a interoperabilidade. A primeira traz uma barreira física e tecnológica, visto que o aumento no volume de dados é de algumas ordens de grandeza. A segunda é uma barreira com relação econômica direta: em um cenário de avanços tecnológicos constantes, a ausência de interoperabilidade

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Estudo da Gestão da Medição para Redes Elétricas Inteligentes: Tendências, Impactos e Primeiros Passos - 5697-9208/2010'; 'CELESC Distribuição'; 'Way2 Serviços de Tecnologia S.A.; 'ciclo 2010/2011'; 'Investimento (R\$) 539.069,85'.

<sup>1</sup> 'Celesc Distribuição' (e-mails: joaol@celesc.com.br; eduardodias@celesc.com.br).

<sup>2</sup> 'Way2 Serviços de Tecnologia' (e-mails: juliano.romani@way2.com.br; adriana.costa@way2.com.br; mariano@way2.com.br; an-dre.carlucci@way2.com.br; danilo@way2.com.br; fabio.meirelles@way2.com.br; rodolpho.moura@way2.com.br).

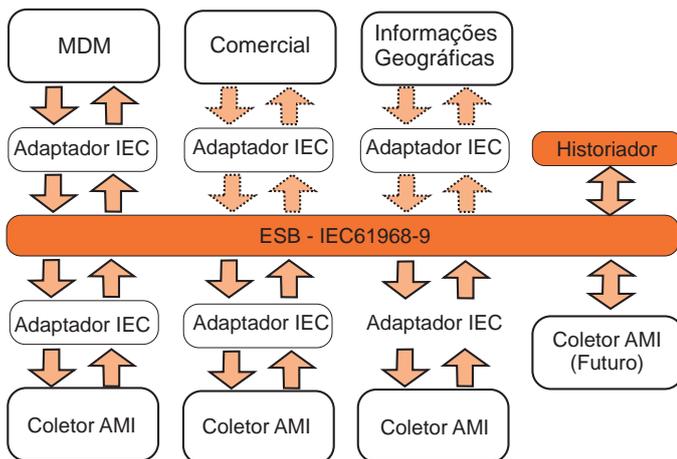


Figura 1. Arquitetura do Fluxo de informações via ESB

```
<MeterReading>
  <IntervalBlocks>
    <IntervalReadings>
      <timeStamp>2009-12-17T09:30:47.0Z</timeStamp>
      <value>25.44</value>
    </IntervalReadings>
    <IntervalReadings>
      <timeStamp>2009-12-17T09:45:47.0Z</timeStamp>
      <value>37.57</value>
    </IntervalReadings>
    <ReadingType ref="2.6.7.1.0.12.0.0.0.3.72"/>
  </IntervalBlocks>
  <MeterAsset>
    <mRID>6468822</mRID>
  </MeterAsset>
</MeterReading>
```

Figura 2. Mensagem tipo Meter Reading do IEC61968-9

impõe grandes custos de substituição e amarras com fornecedores específicos.

## B. Arquitetura

A Figura 1 mostra uma arquitetura básica vislumbrada para o fluxo de informações na CELESC, com destaque para os componentes do sistema piloto: um historiador de dados otimizado para grandes volumes de séries temporais e um barramento de troca de mensagens ou sistema ESB (Enterprise Service Bus) aplicado à troca de informações baseada no IEC 61968.

Objetivando a aplicação prática do Piloto e considerando o fato de que o padrão IEC 61968 ainda não tem ampla utilização no Brasil, foi escolhido um subconjunto de interfaces do protocolo, focada no Módulo 9 - Interface Standard for Meter Reading & Control [3], sendo ainda necessária a criação de adaptadores para integração dos sistemas legados no modelo do IEC referido.

## C. Aplicação do IEC 61968-9

O IEC 61968 é um conjunto de padrões que define semanticamente as mensagens de troca de informações para diversos tipos de sistemas corporativos aplicados no setor elétrico, correspondendo aos níveis 4 (Semantic Understanding) e 5 (Business Context) das categorias de interoperabilidade do Gridwise Interoperability Context-Setting Framework [4]. O standard estende os modelos CIM (Common Interface Model) definidos no IEC 61970 e já amplamente utilizados internacionalmente no contexto da modelagem de sistemas elétricos. Da mesma forma que o IEC 61850 vem se tornando o principal standard para comunicação dentro do ambiente da subestação, o IEC 61968 é um dos mais amplamente discutidos para utilização no ambiente de TI.

A norma não obriga a utilização do barramento para troca de mensagens. Entretanto, a aplicação do BUS transacional, frente ao estabelecimento de trocas ponto a ponto, traz vantagens substanciais por suportar o paralelismo. Desse modo, nossos sistemas poderiam conectar-se à corrente de informações sim-

plesmente subscrevendo-se para determinado tipo de mensagem suportada pelo barramento.

Para a implantação do barramento, foram identificadas as mensagens de interesse e quais grandezas essas mensagens deveriam trafegar. A Figura 2 mostra um exemplo de mensagem XML simplificada do tipo MeterReading, modelada segundo a norma. O código ReadingType: 2.6.7.1.0.12.0.0.0.3.72, identifica unicamente a grandeza em questão, no caso “15-minute Incremental IntervalData Forward Energy (kWh)”, de modo que todos os sistemas que subscrevam para este tipo de mensagem possam recebê-la paralelamente a partir do momento da postagem pelo coletor AMI correspondente.

## D. Aplicação do armazenamento “amplo”

Para propiciar os ganhos de performance necessários ao armazenamento e à consulta de milhares de pontos de medição, convergiu-se para a utilização de um armazenamento “amplo” (do inglês wide storage). Enquanto, na modelagem relacional normalizada, cada valor medido representa um registro na base de dados, no armazenamento amplo, os registros contêm todos os valores para um intervalo pré-determinado de tempo. Por exemplo: para uma medição realizada de forma diária é possível modelar a base de modo que um registro contenha as informações de todo um mês. Neste exemplo, o número de registros passa a ser 30 vezes menor, agilizando a busca na base de dados.

A abordagem não é intuitiva e dificulta a programação. O efeito da complexidade adicional é compensado pela performance e controlado pelo fato de as consultas e armazenamentos serem isoladas das regras de negócio de cada aplicação. A Figura 3 mostra um exemplo de armazenamento horário, onde cada registro contém os 24 valores de um dia.

O piloto foi utilizado para ensaios de consulta e integrado aos sistemas da Celesc. Os resultados desta aplicação são detalhados nos capítulos seguintes.

Hora	Valor (kWh)
12/4/12 10:00	24,84
12/4/12 11:00	25,34
12/4/12 12:00	28,12
12/4/12 13:00	30,93
12/4/12 14:00	23,09
12/4/12 15:00	23,55
...	...

Data	Valor 00h	Valor 10h	Valor 11h	Valor 12h	Valor 13h	Valor 24h
11/04/2012	...	...	...	...	...	...
12/04/2012	...	24,84	25,34	28,12	30,93	...
13/04/2012	...	...	...	...	...	...

Figura 3. Armazenamento tradicional e "amplo"

### III. RESULTADOS E BENEFÍCIOS

Em um ambiente de homologação, foram simulados diversos níveis de carregamento da base, para os quais foram realizadas consultas utilizando o modelo de armazenamento convencional e o modelo de armazenamento amplo. A Tabela 1 mostra os principais resultados dos testes.

Tabela 1. Resultado dos Testes (tempo em segundos)

Período	Integralização	Tempo Wide	Tempo Tall
1 dia	horária	0,08	0,14
1 dia	diária	0,02	0,12
1 mês	horária	0,83	0,83
1 mês	diária	0,04	0,24
1 mês	mensal	0,04	0,10
1 ano	horária	5,91	7,00
1 ano	diária	0,33	0,51
1 ano	mensal	0,20	0,22

Foi verificado que o tempo de consulta no modelo amplo chega a ser mais de 600% menor que no modelo convencional, dependendo do período de dados e da integralização utilizada.

Além da velocidade de recuperação dos dados, a utilização do barramento para troca de mensagens propicia uma arquitetura



Figura 4. Centro de Operação da Medição da Celesc, onde foi instalado o sistema piloto.

ótima para escalabilidade na ocasião do crescimento do número de aplicações, visto que por conceito suporta o paralelismo.

O piloto foi também instalado na infraestrutura da Celesc, e passou a trafegar e armazenar dados de medição dos 5.000 pontos que hoje contam com medição eletrônica. A instalação coincidiu com a inauguração do Centro de Operação da Medição [5], iniciativa que remodelou os processos de gestão da medição e concentrou em uma mesma área a responsabilidade por tais processos. A Figura 4 mostra a sala principal do centro.

O historiador disponibiliza dados diretamente para o sistema MDM da Celesc ou para ferramentas de relatório de mercado, através das quais usuários de toda a empresa podem ter acesso a uma base única.

### IV. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os principais resultados do projeto seminal desenvolvido pelas empresas Way2 Tecnologia e pela Celesc no âmbito do programa de P&D da ANEEL. O projeto contemplou estudos e o desenvolvimento de um sistema piloto para armazenamento e tráfego de informações no contexto da medição eletrônica, atacando os desafios de escalabilidade e interoperabilidade. O piloto foi posto à prova e mostrou desempenho favorável tanto no ambiente ainda relativamente pequeno em termos de número de medidores eletrônicos da Celesc, quanto em testes de homologação em ambiente simulado.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL. Resolução Normativa Nº 502, de 7 de agosto de 2012.
- [2] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Application integration at electric utilities – System Interfaces for Distribution Management. IEC61968, 2003. 1a Ed.
- [3] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Application integration at electric utilities – System Interfaces for Distribution Management – Part 9: Interface for meter reading and control. IEC 61968-9, 2009. 1a Ed.
- [4] GRIDWISE ARCHITECTURE COUNCIL INTEROPERABILITY FRAMEWORK TEAM. "Interoperability Context-Setting Framework". GridWise Architecture Council, Julho de 2007 [Online]. Disponível em: [http://www.gridwiseac.org/pdfs/interopframework\\_v1.pdf](http://www.gridwiseac.org/pdfs/interopframework_v1.pdf).
- [5] PORTAL CELESC. Inaugurado Centro de Operação da Medição, 9 de agosto de 2012 [Online]. Disponível em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/index.php/noticias/931-inaugurado-centro-de-operacao-da-medicao>



# EDP BANDEIRANTE

## Aparelho acoplado a refrigerador permite reduzir o consumo durante o horário de ponta

Os refrigeradores e freezers integram a lista de eletrodomésticos de linha branca, que representam cerca de 30% do consumo global de uma residência média. Como esses equipamentos funcionam 24 horas por dia, com um compressor que é acionado sempre que necessário para manter a temperatura interna desejada, eles apresentam um consumo de energia pouco ordenado, inclusive nos horários de ponta de carga. Com a meta de reduzir esse consumo no período de ponta, a EDP Bandeirante e seus parceiros elaboraram um dispositivo para verificar os padrões de abertura e fechamento da porta do eletrodoméstico e, assim, controlar a dinâmica de acionamento do motor de refrigeração, permitindo inclusive reprogramar o aparelho em função de parâmetros de sazonalidade e racionamento. Uma vez listadas as variáveis a serem monitoradas e os sensores de temperatura no mercado que melhor se ajustariam ao projeto, os pesquisadores definiram a estratégia de funcionamento do software e realizaram estudos de regulação do aparelho ao horário de ponta da distribuidora. O protótipo laboratorial foi testado em diferentes equipamentos de linha branca, como refrigerador simples e duplex, e também com diversos tempos de uso e tipos de controle. Posteriormente, 11 protótipos foram instalados em refrigeradores novos entregues a consumidores na região do Vale do Paraíba. O resultado foi uma sensível redução do consumo no horário de ponta da carga, com média de economia de 52,12 % nas casas avaliadas.

### Ficha técnica

Empresa: EDP Bandeirante

Título: Dispositivo inteligente para reduzir a demanda de ponta em equipamentos de linha branca

Ciclos: 2001/2002, 2002/2003, 2005/2006 e 2006/2007

Investimento: R\$ 1.248.320,00, sendo R\$ 631.960,00 nos Ciclos 2001/2002 e 2002/2003 e R\$ 616.360,00 nos Ciclos 2005/2006 e 2006/2007

Execução: EDP Bandeirante, Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria – Fupai e B&G Pesquisa e Desenvolvimento em Sistemas Elétricos

# Dispositivo inteligente para reduzir a demanda de ponta em equipamentos de linha branca

Lucca Zamboni<sup>1</sup>, Germano Lambert-Torres<sup>2</sup>, Luiz Eduardo Borges da Silva<sup>2</sup>,  
Paulo Henrique Ramalho Pereira Gama<sup>3</sup> e Jamil Haddad<sup>2</sup>

**Resumo** – Este artigo apresenta os desenvolvimentos realizados no Programa de P&D da EDP Bandeirante sob o projeto de mesmo título do texto. O projeto desenvolveu um dispositivo inteligente a ser implementado em refrigeradores convencionais, capaz de reduzir a demanda de ponta e melhorar a eficiência da distribuidora. A ideia central é retirar da ponta de carga o consumo dos refrigeradores. O equipamento desenvolvido verifica o hábito de abertura da porta do refrigerador pelo consumidor e produz o resfriamento necessário para a minimização do funcionamento do refrigerador durante a ponta de carga.

**Palavras-chave** – Economia de energia, redução de ponta, equipamentos de linha branca, dispositivo inteligente, hábitos de consumo.

**Abstract** – This paper presents the developments made in EDP Bandeirante R&D Program under the project with the same title as this article. The project developed an intelligent device to be implemented in conventional refrigerators, capable of reducing peak demand and improve the efficiency of distribution. The central idea is to remove the consumption of refrigerators from the peak load. The developed device checks the usual opening of the refrigerator door by the consumer and provides the necessary cooling for minimizing the operation of the refrigerator during peak load.

**Keyword** – Energy saving, peak reduction, white line equipment, smart device, consumer habits.

## I. INTRODUÇÃO

Os equipamentos de linha branca já demonstraram que têm uma importância bastante grande no consumo de energia de uma residência, representando cerca de 30% do consumo global de uma residência média [1]. Eles estão entre os poucos equipamentos constantemente ligados, apresentando um regime de funcionamento baseado somente no controle interno da temperatura. Isto leva a um consumo de energia pouco racional, sem nenhuma ordenação, inclusive dentro de faixas horárias que deveriam ser evitadas.

Assim, o objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de um aparelho para gerenciamento da energia em equipamentos da linha branca, minimizando o consumo de energia durante a ponta de carga. Este aparelho foi projetado para ser instalado diretamente num dado equipamento da linha branca (refrigerador ou freezer), permitindo um gerenciamento imediato, via programa inteligente de avaliação de suas características funcionais e parâmetros temporais, melhorando assim sua inserção, de forma programável, em um ambiente onde a economia de energia e sua conseqüente racionalização seja um fator importante a ser levado em consideração.

## II. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ADOTADA

Por ser um produto ainda não existente no mercado, torna-se imprescindível coletar informações que possam subsidiar as partes do produto: desta forma, algumas etapas foram desenvolvidas durante o processo de concepção, construção e validação do dispositivo, que foram:

a) Levantamento das variáveis envolvidas com o processo de refrigeração em geladeiras e freezers – etapa desenvolvida para se ter a correta definição de quais variáveis deveriam ser monitoradas e controladas em um equipamento de linha branca. Tornou-se fundamental uma avaliação criteriosa desses equipamentos de forma a levantar quais as variáveis que deveriam ser levadas em consideração para se atingir o objetivo esperado. Nesta etapa, foi realizado o levantamento de todas as variáveis do processo de refrigeração e foram indicadas as principais que deveriam fazer parte do sistema de controle do dispositivo inteligente de demanda. Para essa parte da pesquisa, valeu bastante a interação realizada com o maior fabricante nacional de equipamentos de linha branca, pois elementos de controle e refrigeração foram adequados aos equipamentos existentes na indústria.

b) Levantamento de sensores de temperatura e definição do mais adequado para a função de monitoração do dispositivo – foram estudados no mercado alguns tipos de sensores de temperatura e a forma de conexão com o equipamento de linha branca, partindo-se para a escolha e testes dos mais apropriados, sempre levando em consideração o fator econômico de uma possível comercialização do produto final deste projeto.

c) Levantamento de sensores de abertura de porta e definição do mais adequado para a função de monitoração do dispositivo – foram estudados no mercado alguns tipos de sensores de

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Dispositivo Inteligente para Reduzir a Demanda de Ponta em Equipamentos de Linha Branca'; 'EDP - BANDEIRANTE'; 'FUPAI'; 'Ciclos 2001/2, 2002/3'; 'R\$ 631.960,00' e 'Cabeça de Série', 0391-001/2006 'Ciclos 2005/6 e 2006/7', 'R\$ 616.360,00'.

1 EDP Bandeirante (e-mail: [lucca.zamboni@edpbr.com.br](mailto:lucca.zamboni@edpbr.com.br)).

2 Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria – FUPAI ([fupai@fupai.com.br](mailto:fupai@fupai.com.br)).

3 B&G Pesquisa e Desenvolvimento em Sistemas Elétricos (e-mail: [paulogama@bgpesquisa.com.br](mailto:paulogama@bgpesquisa.com.br)).



(a)



(b)

Figura 1 – (a) Primeira versão do dispositivo e (b) Visão geral dos testes em laboratório.

abertura de porta, a sua forma de conexão com o equipamento de linha branca e os testes necessários para definir o melhor e os mais apropriados, levando em consideração o atendimento de especificações de robustez para futura implementação como produto passível de entrar numa linha de produção em série.

d) Definição da estratégia de controle do sensor inteligente de hábitos – as possíveis estratégias de controle inteligente foram avaliadas e discutidas as suas peculiaridades e características principais, de forma a se definir corretamente a que melhor se adequar às características necessária ao correto funcionamento do dispositivo. A estratégia escolhida direciona o dispositivo para perceber os hábitos de abertura e fechamento da porta do eletrodoméstico, de forma a garantir a sua perfeita verificação da necessidade de ligar ou desligar o motor do mesmo assim como aceitar certo nível de reprogramação do dispositivo em função de alguns parâmetros (como sazonalidade, racionamento, etc). Nesta etapa, foram estudadas as metodologias mais adequadas para a implementação da técnica de controle inteligente. Teste da metodologia de controle.

e) Estudo da necessidade e definição do regulador de horário de ponta da concessionária – identificou-se a forma como deve funcionar o dispositivo regulador de demanda, isto é, disponíveis as características do fornecimento típico de energia durante o ano, determinar o nível de programação que o dispositivo deve aceitar para fazer face às necessidades do usuário e se adequar ao processo tarifário da concessionária.

f) Definição do sistema de comando para desligamento e ligamento do motor do refrigerador – estudo e avaliação das partidas e períodos de funcionamento do conjunto motor/compressor dos equipamentos de linha branca, visando não reduzir a sua vida útil nem danificá-lo por operações indevidas.

### III. VISÃO GERAL DO DISPOSITIVO

O sistema de controle é baseado na lógica difusa (“fuzzy logic”)

[2,3], pois diversas variáveis do processo de controle são mais bem descritas por valores linguísticos. Inicialmente, foi desenvolvido um protótipo laboratorial (Figura 1), mas já com certas características industriais, de um dispositivo inteligente de controle, tanto hardware quanto software, que permitisse controlar o funcionamento do compressor do refrigerador, observando a temperatura interna e sua dinâmica, a incorporação de hábitos dos consumidores e o melhor horário do consumo de energia. A estrutura em blocos do aparelho desenvolvido é mostrada na Figura 2.

Novos paradigmas de funcionamento dos equipamentos de linha branca também tiveram que ser estabelecidos. Por exemplo, um refrigerador era desenvolvido para que a variação da temperatura interna fosse mínima possível e só então se estudava o seu consumo de energia [4,5]. Um novo paradigma foi estabelecido permitindo que a temperatura dentro do refrigerador pudesse variar dentro de uma faixa pré-estabelecida, possibilitando uma extensão da margem de manobra para o novo sistema de controle.

Os dispositivos desenvolvidos foram testados em diversos equipamentos de linha branca, com diferentes estruturas (por exemplo: refrigerador com porta simples e refrigerador duplex), diferentes idades (por exemplo: refrigerador com 10 anos de uso e refrigerador novo) e diferentes tipos de controle (por exemplo: controle clássico e controle por step), com a finalidade de verificar a qualidade de seu controle e sua efetividade no deslocamento da ponta de carga. A conclusão foi que seu controle é mais efetivo para refrigeradores duplex e mais novos. Refrigeradores antigos possuem uma perda muito grande e não retêm as temperaturas mais baixas por muito tempo.

### IV. TESTES EM CAMPO

Foram instalados 11 cabeças de série em aparelhos de clientes da Bandeirante na região do Vale do Paraíba. Estes clientes também receberam refrigeradores da marca Cônsul CRD45. A Figura 3 mostra o dispositivo instalado em uma residência (den-

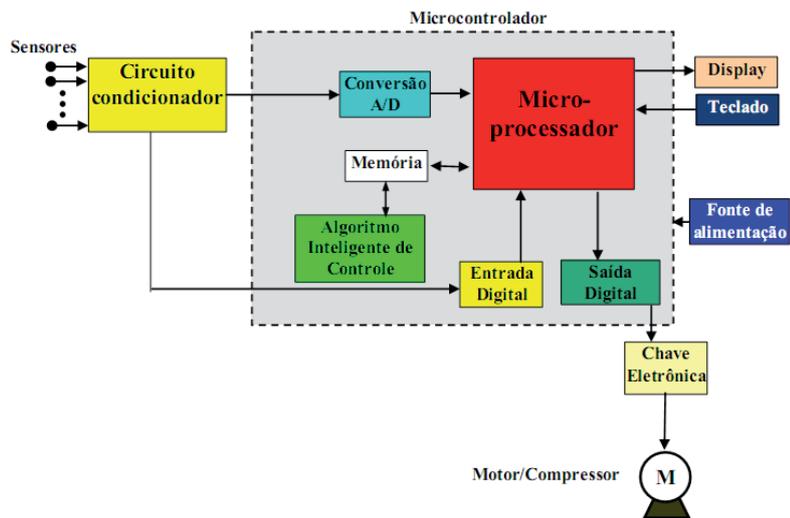
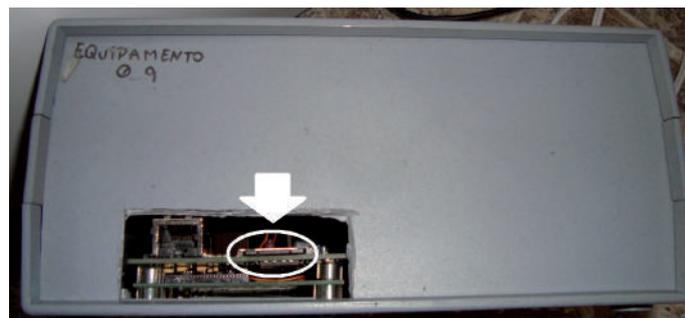


Figura 2 – Estrutura do dispositivo de controle e redução do consumo de energia de equipamentos de linha branca.



(a)



(b)

Figura 3 – (a) Dispositivo instalado no consumidor para testes de campo e (b) Memória para registros e posterior análise.

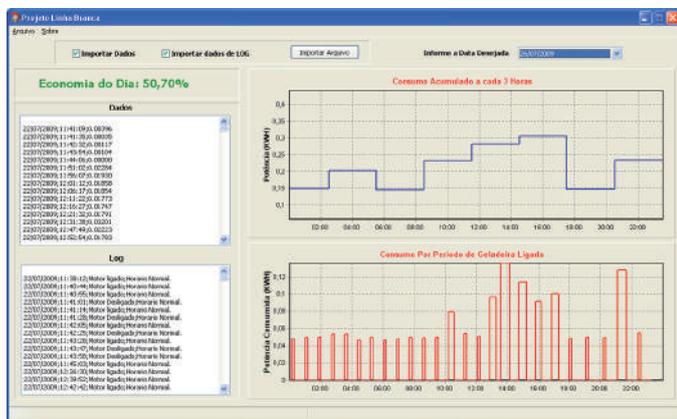


Figura 4 - Tela principal com os componentes em destaque.

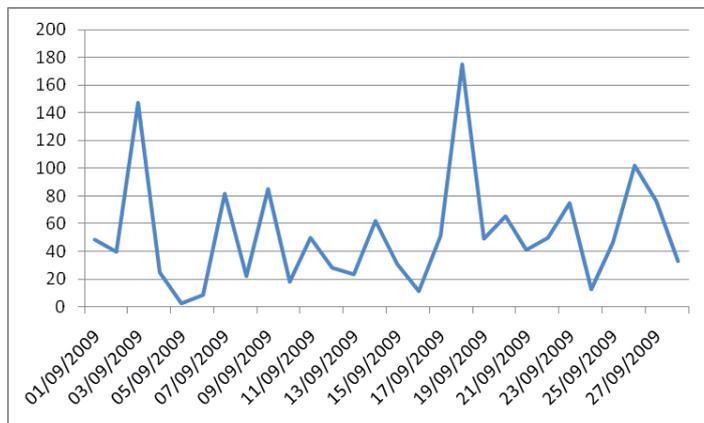


Figura 5 - Gráfico histórico do consumo para o mês



tro do círculo branco) e o local da memória que era utilizada para extrair os registros de cada usuário.

Os arquivos gerados pelo equipamento desenvolvido foram submetidos a um software que possibilita a visualização gráfica referente ao consumo diário da geladeira (Figura 4).

Na tela principal do sistema, ilustrada na Figura 4, é possível visualizar alguns componentes. Na parte superior, o usuário escolhe quais arquivos ele deseja abrir e executa a importação dos dados. No lado esquerdo da tela, encontra-se destacado o item (Economia do Dia), que é a redução obtida da carga no horário de ponta. Abaixo, são encontrados registros da potência consumida pelo refrigerador (Dados) e todas as ocorrências registradas no refrigerador, desde a indicação dos horários de funcionamento até a dinâmica utilizada para o horário de ponta do sistema (Log). Os gráficos da Figura 4 mostram os consumos de potência diários registrados pelo refrigerador. Na parte superior, é mostrado o consumo acumulado a cada três horas, e, na parte inferior, quando ele realmente ocorreu. Pode-se verificar a redução ocorrida no período ponta de carga (17h30 a 20h30).

Para propiciar uma melhor análise dos dados, todas as informações referentes à economia do sistema foram agrupadas no gráfico de consumo típico mostrado na Figura 5. Para este usuário, é possível dizer que o sistema conseguiu atingir seu objetivo, promovendo em todo o período economia de energia no período de ponta do sistema, com média de economia de 52,12 %.

## V. CONCLUSÕES

Mais uma vez, é válido ressaltar que o sistema não apresenta um coeficiente constante de economia, variando de 9% a 75%. Essa variação já havia sido presenciada nos testes em ambiente controlado e também era esperada para os testes em ambiente real, pois tanto o funcionamento da geladeira quanto o desempenho do sistema de redução de consumo são diretamente afetados por um conjunto de diferentes fatores, os quais são mostrados abaixo:

1. Os dias de medição não apresentam as mesmas condições climáticas. Assim sendo, é sabido que, com uma temperatura mais acentuada, a geladeira tende a apresentar um maior consumo;

2. A utilização da geladeira pelo usuário impacta diretamente nos resultados:

a. caso ele efetue uma quantidade excessiva de aberturas e fechamentos de porta, a geladeira tende a consumir mais;

b. caso a porta da geladeira fique por muito tempo aberta, ocorrerá um aumento excessivo da temperatura interna, ocasionando um acréscimo no consumo desta;

c. a escolha de uma faixa de operação do termostato incorreta para as condições ambientais do período também ocasiona um aumento no consumo de energia pela geladeira;

d. a inserção de cargas térmicas com temperaturas elevadas também interfere diretamente no funcionamento do refrigerador, pois este permanecerá por mais tempo funcionando para atingir a temperatura de operação.

3. A localização física do refrigerador também é outro fator que impacta diretamente em seu consumo, pelos seguintes motivos:

a. o refrigerador não deve ficar exposto diretamente à luz solar: aumento mais rápido da temperatura interna;

b. ambientes muito pequenos e com pouca ventilação também tendem a aumentar o consumo do refrigerador, pois o próprio calor gerado por seu motor pode impactar na temperatura ambiente.

Por fim, tendo em vista os fatores listados acima, podemos concluir que os resultados dos equipamentos utilizados em ambiente real foram satisfatórios, uma vez que, em todo o período, foram obtidos valores positivos de economia, chegando-se a uma média geral de 50,99%.

---

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P.H.R. Gama, A.V. Barbosa, F.V. Santos J. Haddad, G. Lambert-Torres e L.E. Borges da Silva. "Dispositivo Inteligente para Reduzir a Demanda de Ponta em Equipamentos de Linha Branca". Artigo Citeneel, 2005.
- [2] G. Lambert-Torres, J.M. Abe, M.L. Mucheroni & P.E. Cruvinel. *Advances in Intelligent Systems and Robotics*. Amsterdã: IOS Press, 2003, 217 p.
- [3] K. Tomsovic, G. Lambert-Torres. *On the Use of Fuzzy Logic Techniques for Addressing Uncertainty in Power System Problems*. PMAPS-RIMAPS Tutorial, 2000, 83 p.
- [4] J. Haddad. "Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos", Editora da EFEI, 2001.
- [5] Procel – Eletrobras. *Manual do Usuário. Mark IV*, 2007.



CELPE

## Ferramenta de planejamento auxilia na elaboração do plano de obras

O planejamento de obras de expansão é um desafio para qualquer distribuidora de energia elétrica, pois é preciso escolher entre empreendimentos de natureza distinta, tais como construção de linhas de alta tensão, troca de transformadores, conexões de novos pontos de suprimento e geração, instalação de novas subestações de distribuição e ampliação das existentes. Com tal preocupação, a Companhia Energética de Pernambuco (Celpe) configurou um aplicativo capaz de apontar obras urgentes ou relativamente mais vantajosas, a partir da análise de critérios e dos limites de desempenho dos equipamentos em operação.

Um desafio para o projeto foi lidar com dois objetivos conflitantes na priorização de obras: obter a máxima melhoria no fornecimento e fazer o menor investimento. Para isso, além da avaliação de custo-benefício de cada empreendimento, o programa foi habilitado a análises multicritério, com atribuição de pesos a diferentes indicadores. Munido dessas informações, o responsável pelo planejamento pode optar por atender um objetivo ou um misto dos dois, avaliando os reflexos de sua decisão por meio da simulação de cenários conjunturais. Outra vantagem do modelo é o cálculo dos custos marginais de expansão do sistema de distribuição em alta tensão, utilizando a metodologia do custo incremental médio de longo prazo.

Adaptado às diretrizes regulatórias da ANEEL, o produto tem amplo potencial de aplicação em outras empresas do setor. A expectativa é de que esse planejamento de obras se reflita em modicidade tarifária.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética de Pernambuco (Celpe)

Título: Sistema de apoio ao planejamento global e regionalizado de longo prazo dos sistemas de alta tensão e cálculo dos custos marginais de expansão

Ciclos: 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008

Investimento: R\$ 570.190,76

Execução: Daimon Engenharia e Sistemas S/S LTD

# Sistema de apoio ao planejamento global e regionalizado de longo prazo dos sistemas de alta tensão e cálculo dos custos marginais de expansão

Alden Uehara Antunes<sup>1</sup>, Marcus Rodrigo Carvalho<sup>1</sup>, André Méffe<sup>1</sup>, Antonia A. F. Santos<sup>2</sup>, Ivo L. S. Júnior<sup>2</sup>, Robson A. A. de Lima<sup>2</sup>

**Resumo** – Este artigo descreve uma nova concepção de planejamento da expansão do Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT) e subestações de distribuição (SED) especificada e implantada no âmbito de um projeto de P&D desenvolvido entre a Celpe e a Daimon Engenharia e Sistemas, com destaque para modelagens direcionadas aos seguintes tópicos: avaliação de desempenho técnico; priorização de obras; análise de cenários; cálculo dos custos marginais.

**Palavras-chave** – Alta tensão; distribuição de energia elétrica; planejamento, priorização de obras.

**Abstract** – This article describes a new conception of planning of the expansion of the high voltage distribution system (HVDS) and distribution substations (DSS) specified and implemented within a R&D project developed between Celpe and Daimon Engenharia e Sistemas, with emphasis on modeling directed to the following topics: evaluation of technical performance; prioritization of projects; analysis of scenarios; calculation of marginal costs.

**Keyword** – High voltage, electricity distribution, planning, prioritization of projects.

## I. CONCEPÇÃO GERAL DO MODELO

O modelo de planejamento trata de obras de expansão que propiciam acréscimo de capacidade ao sistema elétrico. Assim, são definidos os tipos de obras constituídas por conjuntos de módulos estruturais requeridos. Entre os tipos de obras, incluem-se: construção de linhas AT; recondução; troca de transformadores; instalação de novas SED; ampliação de SED; conexões de novos pontos de suprimento e/ou geração.

Por meio de um aplicativo de mercado, é possível realizar projeções da demanda máxima para cada ano de análise. Em seguida, o planejador realiza o diagnóstico técnico por meio de um modelo robusto de fluxo de potência.

Foram desenvolvidos, ademais, concepções e aplicativos avançados de simulação, destacando-se:

- i. **Árvore de planejamento:** permite a visualização, a exclusão e a seleção de alternativas e de planos de obras;
- ii. **Verificação de limites técnicos:** permite que o planejador identifique o ano limite no qual o reforço suporta o crescimento da carga sem violação de critérios;
- iii. **Alterações:** lista dos equipamentos que foram alterados, excluídos ou adicionados.

Esses aplicativos podem ser visualizados na Figura 1.

## II. PROPOSIÇÃO DE OBRAS

O Plano de Obras é definido por um conjunto de alternativas que neutralize todas as violações técnicas até o horizonte. No exemplo mostrado na Figura 2, tem-se 11 alternativas distribuídas em três planos de obras, sendo o primeiro composto pelas alternativas 1, 2, 3 e 4; o segundo, pelas alternativas 1, 5, 6 e 7; e o terceiro, pelas alternativas 8, 9, 10, e 11. Destaca-se que dois planos de obras podem compartilhar algumas alternativas, como as alternativas 2 e 5, derivadas da 1.

## III. CRITÉRIOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E PRIORIZAÇÃO

No diagnóstico técnico, são avaliados os (seguintes) parâmetros: de carregamento, conformidade e perdas.

A valoração econômica dos benefícios técnicos auferidos é efetuada considerando-se os custos de compra de energia (perdas de energia) e os custos marginais de expansão (perdas de demanda e da redução do carregamento).

Na comparação de alternativas, utiliza-se uma cesta de indicadores econômicos que, combinada com o orçamento, conduz à determinação do melhor plano de obras. Os indicadores econômicos considerados são: relação entre benefício e custo; taxa de rentabilidade inicial de investimento; período de retorno; valor presente líquido.

O problema de priorização de obras apresenta os objetivos de obter a máxima melhoria no fornecimento com o menor investimento. Esses objetivos são conflitantes, portanto, desenvolveu-se um método multicritério, sendo possível dar prioridades para cada indicador técnico. O modelo vincula-se às técnicas multiobjetivo que utilizam o conceito de soluções dominadas e não dominadas [1].

O planejador também pode optar pela otimização de um único objetivo, como minimizar investimentos ou maximizar a relação

Sistema de apoio ao planejamento global e regionalizado de longo prazo dos sistemas de alta tensão e cálculo dos custos marginais de expansão. Código ANEEL: 0043-012/2006; CELPE; Daimon Engenharia e Sistemas S/S LTD; Ciclos:2005-2006, 2006-2007 e 2007-2008; R\$ 570.190,76

<sup>1</sup> Daimon Engenharia e Sistemas (e-mails: alden@daimon.com.br; marcus@daimon.com.br; andre.meffe@daimon.com.br).

<sup>2</sup> CELPE (e-mail: aldenisa@celpe.com.br; ivo.soares@celpe.com.br; robsonlima@celpe.com.br).

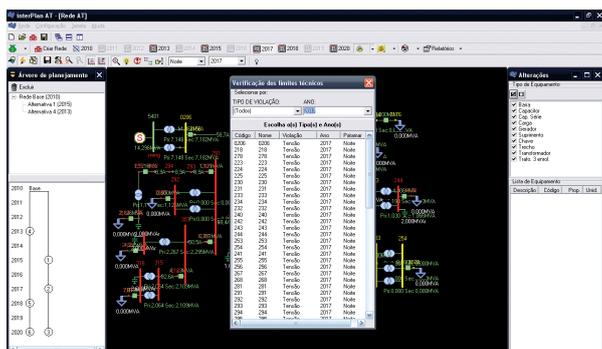


Figura 1. Aplicativos de verificação técnica.

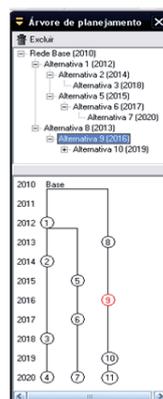


Figura 2. Exemplos de alternativas e de planos de obras.

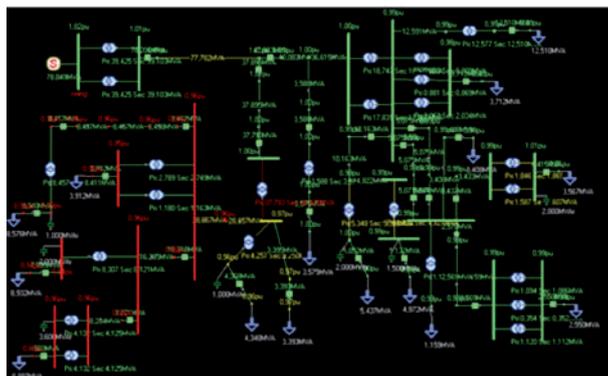


Figura 3. Diagnóstico técnico no ano inicial.

Investimento	Resumo	Completo
Ano	Investimento	VPL
1 (2010)	2.500.000,00	2.232.142,86
2 (2011)	4.000.000,00	3.188.775,51
3 (2012)	3.000.000,00	2.135.340,74
4 (2013)	1.000.000,00	635.518,08
5 (2014)	500.000,00	283.713,43
6 (2015)	1.500.000,00	759.946,68
7 (2016)	0,00	0,00
8 (2017)	1.000.000,00	403.883,23
9 (2018)	0,00	0,00
10 (2019)	0,00	0,00
Total	13.500.000,00	9.639.320,53

Figura 4 – Relatório de Investimentos.

benefício/custo. Neste caso, é utilizado um algoritmo de otimização linear e inteira. Em ambos os casos, o modelo gera uma formulação padrão, solucionada pelo algoritmo de Balas, que se constitui num método de enumeração implícita [2].

Ademais, o modelo permite a simulação de cenários conjunturais determinados por aspectos financeiros, sócio-econômicos, tecnológicos e orçamentários. Finalmente, ele permite o cálculo dos custos marginais de expansão do SDAT por meio da metodologia do custo incremental médio de longo prazo (CIMLP), que se fundamenta na avaliação do custo médio da expansão prevista [3].

Destaca-se que esta concepção de planejamento foi implantada no software Interplan AT, que se encontra implantado e em utilização efetiva na área de planejamento do sistema elétrico da Celpe.

#### IV. TESTES E RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se os resultados de uma simulação efetuada em uma das regionais da Celpe contendo 20 barras, 15 cargas e 25 transformadores, conforme mostrado na Figura 3. As cores vermelha e amarela apresentam as barras e trechos com violação dos indicadores técnicos já no ano inicial. A Figura 4 apresenta os investimentos do plano de obras determinado ao longo do período de estudo (10 anos), como pode ser observado no relatório gerado.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KAGAN, N. Electrical power distribution systems planning using multiobjective and fuzzy mathematical programming. Thesis (Ph.D.). London: Queen Mary & Westfield College, University of London, 1992. 215p.
- [2] PINTO, C. L. S. "Otimização em dois níveis aplicada à priorização de obras do sistema de distribuição, voltada ao cumprimento dos índices de continuidade". São Paulo: EPUSP, 2008.
- [3] ANTUNES, A. U. Análise crítica e proposições metodológicas para avaliação dos custos marginais de expansão de redes de distribuição de energia elétrica. Tese de doutorado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- [4] ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Módulo 2 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em 15/04/2010.

#### V. CONCLUSÕES

O artigo abordou uma nova concepção de planejamento do SDAT e das SED. O produto representa um grande avanço em relação ao estado da arte e a sistemas comerciais disponíveis, dado que estabelece tratamento adequado para os seguintes tópicos: desempenho técnico; formulação, comparação e priorização de planos de obras; tratamento de problemas conflitantes por meio de concepções multiobjetivos; análise de cenários; adequação a diretrizes regulatórias (PRODIST [4]).

Por se relacionar a uma atividade estratégica, o produto tem amplo potencial de aplicação em outras empresas do setor, principalmente em apoio à formulação do Plano de Desenvolvimento da Distribuição (PDD), banco de dados contendo o plano de obras da distribuidora para um período de 10 anos referente a SDAT e SED. Constitui-se em obrigação regulatória anual para todas as distribuidoras brasileiras o envio do PDD, que será utilizado pela ANEEL nos ciclos tarifários revisionais [4].

Para a sociedade, os resultados terão impactos positivos em termos de modicidade tarifária e do indicador ISA4.



CEMIG

## Veículos aéreos não tripulados geram imagens de alta definição

Frente ao crescente consumo de energia elétrica, as distribuidoras buscam aumentar a eficiência de transmissão da rede como medida alternativa à construção de novas linhas, processo demorado e de custo elevado. A Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição S./A., com apoio técnico da Fundação CPqD, criou o projeto tipo cabeça de série de um sistema óptico de monitoramento de linhas de transmissão (SOMLT), capaz de informar, em tempo real, a força de tração em condutores de linhas aéreas. Tal monitoramento, considerado pioneiro, oferece mais segurança no aumento do nível de carregamento elétrico das linhas, por meio da aferição das variações climáticas favoráveis ao resfriamento dos condutores.

O SOMLT desenvolvido dispõe de sensores ópticos que utilizam grades de Bragg (Fiber Bragg Grating – FBG), muito sensíveis à variação de temperatura. Elas medem a força mecânica e a temperatura da estrutura do sensor, o que permite tirar conclusões a partir de um modelo matemático. Os sinais emitidos são analisados por um interrogador e enviados a um programa de computador, que calcula e armazena os valores da força exercida pelo condutor.

Depois de testes realizados em um vão experimental na Fundação CPqD, o SOMLT passou a ser utilizado, desde novembro de 2012, no monitoramento de cinco linhas aéreas da Cemig D na região metropolitana de Belo Horizonte (MG). Desde então, os pesquisadores verificaram um aumento médio de até 15% da capacidade nominal de projeto dessas linhas. Tal resultado tornou o projeto uma referência internacional.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição S./A.

Título: Cabeça-de-série: desenvolvimento industrial de tecnologias de monitoramento em tempo real de linhas aéreas

Ciclos: 2010/2012

Investimento: R\$ 680.000,00

Execução: Fundação CPqD

# Desenvolvimento e uso de veículos aéreos não tripulados na inspeção de sistemas elétricos de potência

André Barreto Amaral<sup>1</sup>, Antônio Hamilton Magalhães<sup>1</sup>, Gonçalo Thuns<sup>1</sup>, Geraldo Magela<sup>1</sup>, Gilson Antônio Fernandes<sup>1</sup>, Harley Anselmo<sup>1</sup>, Paulo Roberto Rugani<sup>1</sup>, Manuel Martins<sup>1</sup>, Maurício de Souza Abreu, Vander José de Souza<sup>2</sup>, Rodrigo Netto Lacerda<sup>1</sup>, Rodrigo Taveira<sup>1</sup>

**Resumo** – Este trabalho apresenta os resultados do desenvolvimento e do uso de veículos aéreos não tripulados (Vant) na inspeção de sistemas elétricos de potência, especificamente das estruturas, isoladores, cabos e faixa de servidão de linhas de distribuição (LD) e de linhas de transmissão (LT). O projeto foi conduzido pelas equipes de desenvolvimento da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) e da Fundação para Inovações Tecnológicas (FITec), com financiamento do Programa de P&D da ANEEL. Este trabalho apresenta resultados que corroboram a percepção de que o uso de Vant para suportar o trabalho de inspeção de componentes dos sistemas elétricos de potência é técnica e economicamente viável.

**Palavras-chave** – Veículo aéreo não tripulado (Vant), mosaicos, inspeção de linhas.

**Abstract** – This paper presents the results of the development and use of unmanned aerial vehicles (UAV) in the inspection of electric power systems, specifically the structures, insulators, cables and right of way of distribution lines (DL) and transmission lines (TL). The project was conducted by the development teams at Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) and Fundação para Inovações Tecnológicas [Foundation for Technological Innovation – FITec], with funding from ANEEL R&D Program. This paper presents results that confirm the perception that the use of UAVs to support the work of inspection of components of electric power systems is technically and economically feasible.

**Keyword** – Unmanned aerial vehicle (UAV), mosaics, inspection lines.

## I. CONCEPÇÃO GERAL DO MODELO

Para assegurar continuidade do fornecimento de energia elétrica, com baixos índices de DEC e FEC, as concessionárias estabeleceram procedimentos de inspeção periódica dos componentes e da faixa de servidão das LDs e das LTs, de forma a detectar possíveis problemas nas linhas e verificar a necessidade de limpeza da faixa de servidão antes que problemas possam comprometer o fornecimento.

Neste contexto, o uso de Vants apresenta-se como uma ferramenta complementar às inspeções terrestres e aéreas, tanto pela redução de custos operacionais quanto pela diminuição dos riscos inerentes. Este artigo descreverá alguns resultados práticos obtidos com o uso desta tecnologia.

## II. DESENVOLVIMENTO

O primeiro projeto desenvolvido pela parceria da Cemig com a FITec, utilizando a tecnologia Vant, foi o P&D ANEEL D182 “Monitoramento e inspeção de sistemas elétricos de potência utilizando veículo aéreo não tripulado”. O objetivo deste projeto foi avaliar a viabilidade técnica e econômica do uso de Vant na inspeção de sistemas elétricos de potência, especificamente dos elementos que compõem as linhas.

Os resultados obtidos se mostraram bastante promissores e, em função disto, foi elaborado um novo projeto de pesquisa denominado P&D D271 “Técnicas e ferramentas computacionais para geração de mosaicos georreferenciados a partir de fotografias obtidas com veículo aéreo não tripulado”.

Esse projeto teve como objetivo o aprimoramento do sistema de imageamento com a instalação de uma câmera com sensor full frame e o desenvolvimento de ferramentas computacionais, dispositivos de hardware e procedimentos operacionais. A aeronave utilizada foi a SIG RASCAL 110, oriunda do P&D D182. Foram feitas pesquisas de câmeras digitais não métricas de baixo custo, quando comparadas a câmeras métricas utilizadas em aerofoto-grametria. Foi então selecionada a câmera Canon 5D Mark II com resolução de 21 Megapixels e utilizados dois tipos de lentes fixas, com 24 mm e 50 mm de distância focal.

No âmbito do projeto, também foi desenvolvido um aplicativo para planejamento das missões e geração do plano de voo. A partir da área de interesse, definem-se as coordenadas WGS84 da região do sobrevoo. Definem-se então as características do voo, da câmera e da lente. O aplicativo determina os pontos georreferenciados para disparo das fotografias considerando a adequada superposição lateral e longitudinal, necessária para compor mosaicos [1]. Durante o voo, um segundo aplicativo define o melhor momento de disparo das fotos, baseado no plano gerado e na localização atual da aeronave obtida via GPS. A Figura 1 ilustra a tela de interface com usuário do aplicativo para planejamento de missões.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validar o desenvolvimento do projeto, foi realizada uma

D271 - Técnicas e ferramentas computacionais para geração de mosaicos georreferenciados a partir de fotografias obtidas com veículo aéreo não tripulado; Aneel-4950-029/2007; CEMIG Distribuição S.A; Fundação para Inovações Tecnológicas – FITec; 2008/2009; R\$ 967.949,40.

<sup>3</sup> FITec (e-mails: abamaral@fitec.org.br; ahmagalhaes@fitec.org.br; goncalo@fitec.org.br; galdas@fitec.org.br; gafernandes@fitec.org.br; hcarmo@fitec.org.br; paulorugani@fitec.org.br; mmsantos@fitec.org.br; rmlacerda@fitec.org.br; rtsouza@fitec.org.br).

<sup>2</sup> CEMIG (emails: msbreu@cemig.com.br; vjsouza@cemig.com.br).

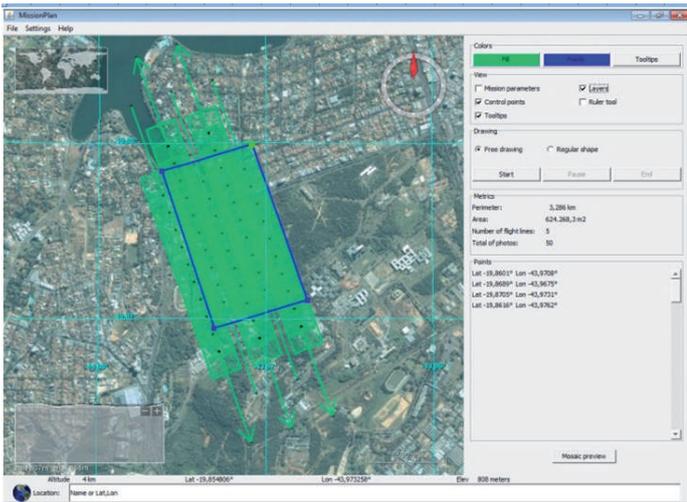


Figura 1 - Aplicativo Mission Plan



Figura 4 – Mosaico da faixa de servidão e torres



Figura 2 - Torre da LT Três Marias-Neves1



Figura 3 – Detalhe dos isoladores



Figura 5 – Invasão da faixa de servidão



Figura 6 – Detalhe dos isoladores

inspeção em um trecho de aproximadamente nove quilômetros no município de Sete Lagoas (MG), onde existem duas linhas em paralelo, distantes 10 metros uma da outra (LT Três Marias-Neves1-345 KV) e (LD Sete Lagoas3-Paraopeba-138 KV).

Foram estipulados dois objetivos para esta inspeção: 1) avaliar o uso do Vant na obtenção de fotografias contendo detalhe das torres; 2) avaliar o uso do Vant na obtenção de fotografias georreferenciadas e ortorretificadas para composição de mosaicos.

A Figura 2 mostra uma das fotografias obtidas durante a inspeção. Esta fotografia foi obtida com a câmera em posição nadiral, e a uma altura de 83 metros acima do solo, resultando em um pixel em solo de 2,3 centímetros.

A Figura 3 é um recorte da Figura 2 com resolução de 100% apresentando o detalhe dos isoladores da estrutura 474. Devido à altura da estrutura (21 metros), o pixel resultante no isolador possui 1,7 centímetros (largura lateral).

Apresenta-se na Figura 4 o mosaico das linhas de transmissão e distribuição em paralelo, bem como a faixa de servidão com a vegetação nas margens.

A Figura 5 foi obtida durante a inspeção e ilustra uma invasão da faixa de servidão. Pode-se verificar que a benfeitoria ocupa o vão entre duas estruturas da LD. O telhado da casa encontra-se debaixo dos cabos da linha.

Conforme mostrado na Figura 6, uma foto tirada em um voo no sentido contrário permite, ainda, visualizar a movimentação de máquinas realizando uma obra próxima a uma estrutura da linha.

#### IV. CONCLUSÕES

As fotos capturadas com a lente de 50mm obtidas nos voos sobre as LTs e LDs possuem qualidade superior às imagens obtidas por satélites [1], fornecendo subsídios para que os técnicos da Cemig analisem a estrutura das torres e os isoladores, identificando possíveis pontos de deterioração e necessidade de manutenção preventiva ou corretiva.

Os mosaicos permitem identificar pontos críticos na faixa de servidão que podem requerer limpeza e poda da vegetação ou até mesmo uma ação de notificação e de despejo devido às invasões. Outro fator a ser ressaltado sobre os mosaicos é que estes são compostos por imagens de alta resolução espacial, ortorretificadas e georreferenciadas, possibilitando seu uso para análises geográficas e levantamento de curvas de nível, manejo de matas ciliares [2], estudo de novos traçados para linhas de transmissão e inspeção de bordas de reservatórios.

#### V. AGRADECIMENTOS

À ANEEL, por prover os recursos monetários para o desenvolvimento deste projeto.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. Remote sensing and image interpretation. New Jersey: Wiley, 2007. 6a ed.  
 [2] CHAO, H.; CHEN, Y. Remote sensing and actuation using unmanned vehicles. New Jersey: Wiley-IEEE Press, 2012.



CEMIG

## Fibra óptica auxilia no monitoramento térmico de cabos condutores em tempo real

O controle de temperatura de cabos condutores, aéreos ou subterrâneos, é uma medida preventiva para assegurar um fornecimento de energia elétrica seguro, econômico e eficiente. A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), em parceria com a CPqD, elaborou um sistema óptico distribuído de monitoramento térmico baseado em fibra óptica e com tecnologia 100% nacional.

As fibras ópticas são consideradas ideais para uso em ambientes de alta tensão, por serem imunes às interferências eletromagnéticas e fornecerem medições confiáveis da temperatura. Dentro do sistema de monitoramento, elas são incorporadas ao cabo condutor ou implantadas ao longo de seu exterior, e enviam pulsos ópticos a um interrogador do sensor distribuído de temperatura, que os decodifica.

Durante 15 dias de testes, o sistema realizou medições precisas de um cabo óptico de até oito quilômetros de comprimento, com temperaturas variando de modo não uniforme entre  $-20^{\circ}\text{C}$  e  $+65^{\circ}\text{C}$ . Tais resultados demonstraram, segundo os pesquisadores, a estabilidade necessária para o monitoramento e uma resposta satisfatória para situações de aquecimento com temperaturas distintas ao longo do cabo. A performance do sistema motivou a Cemig a adotá-lo em caráter experimental na rede de distribuição subterrânea BH Adelaide - BH Carlos Prates, 138 kV.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição S./A.

Título: Sistema óptico para sensoriamento distribuído de temperatura e tensão mecânica de LT aéreas e subterrâneas

Ano: 2010

Investimento: R\$ 2.500.00,00

Execução: Fundação CPqD

# Desenvolvimento de sistema óptico distribuído em fibras ópticas para monitoração de temperatura de condutores

Carlos A. M. Nascimento<sup>1</sup>, Livia R. Alves<sup>2</sup>, João B. Rosolem<sup>2</sup>, Edson W. Bezerra<sup>2</sup>, Ariovaldo A. Leonardi<sup>2</sup>, Cláudio Florida<sup>2</sup>, Cláudio A. Hortencio<sup>2</sup>, Danilo C. Dini<sup>2</sup>, João B. de Mello Ayres Neto<sup>2</sup>, Eduardo F. da Costa<sup>2</sup>, Rivaldo S. Penze<sup>2</sup>, Fernando R. Pereira<sup>2</sup>, Bruno C. de Camargo Angeli<sup>2</sup>, Rodrigo Peres<sup>2</sup>

**Resumo** – É apresentado o desenvolvimento de um sistema óptico distribuído baseado em fibra óptica para monitoração de temperatura em cabos condutores, aéreos ou subterrâneos, por efeito de espalhamento Raman. Resultados de medições forçadas realizadas ao longo de 15 dias, em sistema climatizado, demonstraram seu desempenho preciso nos ensaios de temperatura. O sistema óptico tem tecnologia 100% nacional e está em operação experimental na Cemig, permitindo medir toda extensão de linha subterrânea 138 kV, e assim, controlar o seu carregamento em tempo real. Esse controle permite às empresas obter a máxima capacidade de seus ativos, proporcionando grande economia e aumento de segurança operacional.

**Palavras-chave** – Controle de ampacidade, fibra óptica, linhas de transmissão, sensores de temperatura, sensores distribuídos à fibra óptica.

**Abstract** – The paper is about the development of a distributed optical system based on optical fiber for monitoring temperature in conductor cables, aerial or underground, by Raman scattering effect. Results of forced measurements performed over 15 days, in air-conditioned system, has demonstrated its performance in precise in temperature tests. The optical system has 100% national technology and is in experimental operation at Cemig, allowing the measure of the temperature distributed along the entire length of underground 138 kV line, and thus, the control of its loading in real time. This control enables companies to get the maximum capacity of their assets, providing great savings and increase in operational safety.

**Keyword** – Ampacity control, optical fiber, transmission lines, temperature sensors, sensors distributed by optical fiber.

## I. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de melhorar o desempenho das linhas de transmissão, empresas de energia têm investido em sistemas que permitam o controle de carregamento em tempo real. Nesse contexto, o monitoramento térmico por meio de fibra óptica é uma técnica promissora. Basicamente, as fibras ópticas devem ser incorporadas ao cabo condutor ou implantadas ao longo de seu exterior. Por serem imunes às interferências eletromagnéticas e fornecerem medições confiáveis da temperatura, as fibras são ideais para uso em ambientes de alta tensão [1]-[3]. No projeto D382, duas técnicas distintas estão sendo implementadas no CPqD para monitoração de temperatura e deformação mecânica, com uso exclusivo de fibra óptica como elemento sensor distribuído, que utilizam espalhamento Raman e Brillouin, que respectivamente monitoram temperatura e deformação mecânica.

## II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA INTERROGADOR

O interrogador do sensor distribuído de temperatura (DTS) teve como objetivo capturar os dados de medição e apresentar os valores de temperatura medidos. O hardware do DTS é composto basicamente pelos blocos: fonte elétrica, timer, osciloscópio e fonte de pulsos ópticos e sistema, conforme Figura 1.

### A. Gerador de pulsos

A fonte AC/DC promove a alimentação do equipamento em tensões que podem variar de 90 até 240 Vac. Um circuito de tempo (timer) controla os intervalos de varredura do interrogador. O módulo gerador de pulsos ópticos compreende o gerador pulsos elétricos ajustados para operar em um trecho de oito quilômetros de extensão. Os pulsos gerados excitam um laser DFB de comprimento de onda de 1550 nm, cuja intensidade é amplificada. A potência média de incidência para geração de espalhamento Raman utilizada é de 7,3 dBm [4].

### B. Dispositivos ópticos

Os pulsos ópticos de alta potência gerados são enviados a um circulador óptico que opera em alta potência. Esse dispositivo é responsável por inserir os pulsos em uma fibra óptica e captura o feixe retro-espalhado Anti-Stokes (AS) e Stokes (ST). Para a medição da temperatura foi implementado um sistema de filtros de frequência que separa duas regiões de comprimentos de onda distintos.

### C. Receptor-amplificador

O receptor óptico utilizado no DTS é responsável por definir a acurácia na localização da perturbação definida pela resposta em frequência do dispositivo opto-eletrônico e por sua amplificação. Diferentes concepções de circuitos que atenderiam ao requisito de se atingir um metro de resolução espacial mantendo a faixa de operação de 10 quilômetros do interrogador foram investigadas. A configuração final do DTS é apresentada na Figura 2.

Informações sobre o Projeto de P&D: D382 "PA - Sistema óptico para sensoriamento distribuído de temperatura e tensão mecânica de LT aéreas e subterrâneas"; ANEEL PD-382-Programa 2010; 'Proponente: CEMIG D'; 'Executora: Fundação CPqD; '2010/2010'; 'Investimento (R\$ 2.500.000,00)'.

<sup>1</sup> Cemig D (e-mail: caxandre@cemig.com.br).

<sup>2</sup> Fundação CPqD (rosolem@cpqd.com.br).

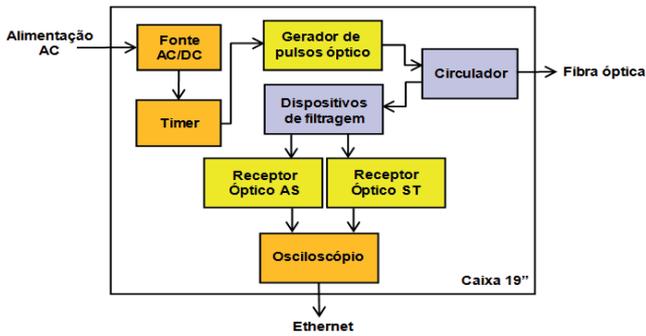


Figura 1. Diagrama do interrogador DTS.

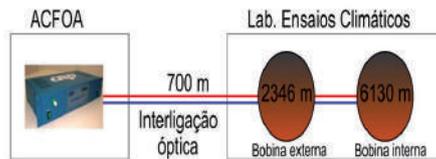


Figura 3. Configuração de ensaio com o protótipo do interrogador DTS alocado em câmara climática no laboratório ACFOA do CPqD.

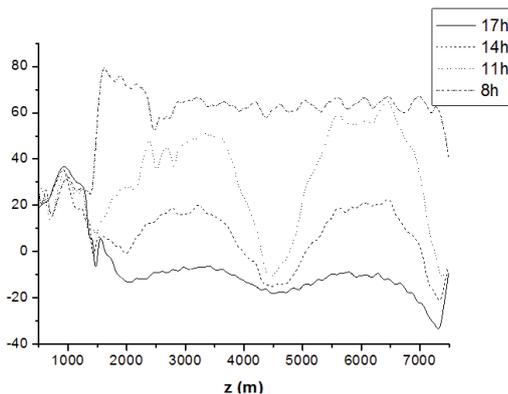


Fig. 4. Mapa de temperatura obtido para o cabo óptico sujeito a variações de -25 °C a +60 °C

#### D. Programa de controle

É parte integrante do interrogador o sistema para aquisição remota dos dados por meio de comunicação Ethernet. O programa de controle do DTS se caracteriza por desempenhar as tarefas de início das leituras, ajuste dos parâmetros do osciloscópio, arquivamento das formas de onda, realização das médias e interface para o usuário.

### III. RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 3 apresenta o site de testes do DTS no CPqD. Os resultados de desempenho do DTS em um cabo óptico sujeito

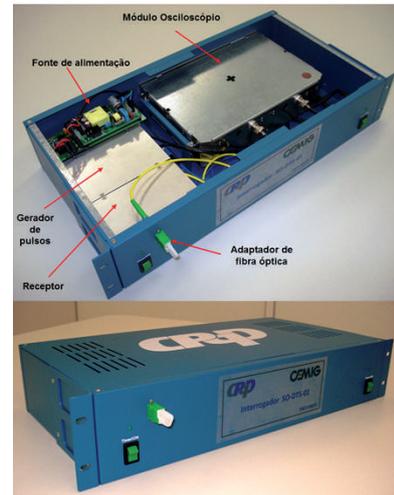


Figura 2. Partes internas do interrogador DTS montadas em caixa de 19" e sua vista de frente.



Fig. 5. Fase central da nova LD BH Adelaide - BH Carlos Prates, 138 kV com as fibras ópticas lançadas.

às variações de temperatura de -20°C a +65°C, durante um dia de ensaio, são apresentadas na Figura 4. As medições para ocasiões em que a temperatura do cabo óptico variava ao longo do dia, simulando uma situação usual de desempenho em campo, foram realizadas.

Os resultados demonstram que o sistema desenvolvido capaz de medir em tempo real a temperatura ao longo de um cabo óptico de até oito quilômetros de comprimento, com temperaturas variando de modo não-uniforme, em um intervalo de -20°C até +65 °C. A Figura 5 mostra a nova LD subterrânea BH Adelaide - BH Carlos Prates, 138 kV, que já opera de forma experimental com o DTS desenvolvido no D382.

### IV. CONCLUSÕES

O desempenho do sensor nos ensaios térmicos foi satisfatório, demonstrando estabilidade necessária para obtenção das medidas de temperatura bem como resposta satisfatória para situações de aquecimento com temperaturas distintas ao longo do cabo. Uma vez que o sistema correspondeu às expectativas, ele foi instalado e está em operação experimental em uma rede subterrânea da Cemig.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HARTOG, A. H.; LEACH, A. P. "Distributed temperature sensing in solid-core fibres," Electronics Letters, vol. 21, Nov. 1985, pp. 1061-1062.
- [2] Dakin, J. P.; PRATT, D. J.; BIBBY, G. W.; ROSS, J. N. "Distributed optical fibre Raman temperature sensor using a semiconductor light source and detector". Electronics Letters, vol. 21, Jun 1985, pp. 569-570,
- [3] HWANG, D.; YOON, D. J.; KWON, I. B.; SEO, D. C.; CHUNG, Y. "Novel auto-correction method in a fiber-optic distributed-temperature sensor using reflected anti-Stokes Raman scattering". Optics Express, vol. 18, Maio 2010, pp. 9747-9754.
- [4] FARAHANI, M. A.; GOGOLLA, T. "Spontaneous Raman scattering in optical fibers with modulated probe light for distributed temperature Raman remote sensing". Journal of Lightwave Technology, vol. 17, No. 8, Ago 1999, pp. 1379 -1391.



CEMIG

## Sistema óptico auxilia avaliação da força de tração em condutores de linhas aéreas

A inspeção periódica dos componentes e da faixa de servidão das linhas de distribuição e das linhas de transmissão é um procedimento executado pelas concessionárias para garantir o fornecimento contínuo de energia elétrica. De modo a reduzir custos e riscos, a Cemig investigou a captação de imagens georreferenciadas e ortorretificadas por veículos aéreos não tripulados (Vants) como ferramenta complementar às inspeções terrestres e aéreas.

O projeto é a continuação de outro desenvolvido pela Cemig com apoio do Programa de P&D da ANEEL, que avaliou a viabilidade do uso de Vant na inspeção de sistemas elétricos de potência. Após os resultados promissores da primeira pesquisa, a distribuidora, com a Fundação para Inovações Tecnológicas (FITec), trabalhou no aprimoramento da geração de imagens aéreas. Os Vant ganharam uma câmera com sensor full frame e passaram a ser operados com aplicativos, dispositivos de hardware e procedimentos para o planejamento das missões, a geração do plano de voo e a orientação via GPS para disparo das fotos.

A validação do projeto ocorreu durante uma inspeção em Sete Lagoas (MG). As fotos capturadas, de qualidade superior às de satélite, foram organizadas em mosaicos que permitiram avaliar a estrutura de torres e isoladores, assim como pontos críticos em faixas de servidão. Segundo os pesquisadores, esta tecnologia também seria útil para análises geográficas, levantamento de curvas de nível, manejo de matas ciliares, estudo de traçados para linhas de transmissão e inspeção de bordas de reservatórios.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição S./A.

Título: Técnicas e ferramentas computacionais para geração de mosaicos georreferenciados a partir de fotogramas obtidos com veículo aéreo não tripulado

Ciclos: 2008/2009

Investimento: R\$ 967.949,40

Execução: Fundação para Inovações Tecnológicas (FITec)

# Sistema óptico para monitoramento em tempo real de linhas aéreas por meio da força mecânica dos condutores

Carlos A. M. Nascimento<sup>1</sup>, Maurissone F. Guimarães<sup>1</sup>, Paulo S. Silva<sup>1</sup>, Claudio A. Hortencio<sup>1</sup>,  
Eduardo F. da Costa<sup>2</sup>, Evandro C. Longui<sup>2</sup>, João B. de M. Ayres Neto<sup>2</sup>, Ricardo Zandonay<sup>2</sup> e Rodrigo Peres<sup>2</sup>

**Resumo** – Neste trabalho é apresentado um sistema óptico pioneiro para monitoramento, em tempo real, da força de tração em condutores de linhas aéreas (SOMLT). O projeto tipo cabeça de série do SOMLT foi realizado com objetivo de construir um sistema óptico inovador para monitoramento de cinco linhas aéreas da Cemig D, situadas na região metropolitana de Belo Horizonte. As cinco células ópticas são monitoradas por meio de um único dispositivo interrogador e que pode ser acessado remotamente via protocolo IP.

**Palavras-chave** – Controle de sistemas elétricos, linhas de transmissão, monitoramento de linhas em tempo real, sistemas computacionais.

**Abstract** – This paper presents a pioneer optical system for monitoring, in real time, the tensile strength of conductors of overhead lines (SOMLT). The SOMLT serial head type project was conducted with the objective of building an innovative optical system for monitoring five Cemig D aerial lines, located in the metropolitan region of Belo Horizonte. The five optical cells are monitored by a single interrogator device and can be accessed remotely via IP protocol.

**Keyword** – Electrical control systems, transmission lines, lines monitoring in real-time, computing systems.

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente a demanda por energia elétrica tem crescido significativamente. Para suprir esta necessidade, as empresas de transmissão e distribuição dispõem de algumas opções para aumentar a oferta de energia. A forma tradicional é a construção de novas linhas, alternativa cujo custo é elevado e o tempo de implantação é longo. Uma opção economicamente viável é otimizar a capacidade de transmissão das linhas existentes por meio da tecnologia de monitoramento das linhas aéreas. Nesse contexto, nos últimos anos, vários sistemas para monitoramento de linhas aéreas têm surgido no mercado [1] e [2]. Este trabalho propõe a apresentação dos resultados obtidos por um sistema de monitoramento puramente óptico para medição de força nos condutores das linhas aéreas. O objetivo é obter a altura do condutor ao solo e, em conjunto com o conceito de ampacidade dinâmica, aumentar significativamente a eficiência das linhas aéreas.

Com a implantação do SOMLT em campo (Nov/2012) foi verificado um aumento médio de até 15% da capacidade nominal de projeto das linhas aéreas. Esse valor de aumento de capacidade já é uma referência internacional [3]. O monitoramento em tempo real possibilita explorar as variações climáticas favoráveis ao resfriamento dos condutores e aumentar o nível de carregamento elétrico das linhas com mais segurança.

## II. DESENVOLVIMENTO DO SENSOR ÓPTICO

A célula de carga óptica desenvolvida tem um caráter inovador por utilizar sensores ópticos ao invés de ponte de Wheatsto-

ne, como são as células convencionais. No SOMLT, os sensores ópticos desenvolvidos com grade de Bragg (Fiber Bragg Grating – FBG) foram fixados mecanicamente utilizando parafusos e cola do tipo epóxi por meio de um transdutor de aço em forma de “U” [4]. O transdutor transfere à FBG a força do condutor resultante das condições de operação da linha aérea.

O sensor FBG é, por natureza, muito sensível à variação de temperatura. Por isso, foi necessário utilizar duas FBGs, sendo que a primeira mede a força e a segunda, a temperatura da estrutura do sensor “U”. Com estas informações, a temperatura é compensada por meio da aplicação de um modelo matemático. A Figura 1 ilustra a célula de carga desenvolvida no P&D-110 e aprimorada no P&D-D264 (cabeça-de-série). O posicionamento da FBG sensor de força no corpo “U” da Figura 1 é selecionado de forma a atender a faixa de operação da mesma. Isto é, dependendo da sua posição no “U”, tem-se uma faixa de operação para a força mecânica. (Ex. de 0 até 4 Toneladas).

## III. PROJETO DO SOMLT

O sistema SOMLT dispõe de uma fonte óptica responsável por enviar uma luz banda larga pela fibra óptica até o sensor óptico de força. Esta luz interage com a FBG que reflete o comprimento de onda de sintonia até um circulador óptico, responsável por redirecionar este sinal para um interrogador FBG. O sinal analisado pelo interrogador é enviado a um computador por meio de um software desenvolvido em LabView®, que calcula e armazena os valores da força exercida pelo condutor. Tanto a fonte óptica quanto o módulo Optical Spectrum Analyzer (OSA) estão embarcados no interrogador. Este esquema de monitoramento está representado na Figura 2. A interligação óptica do conjunto de cinco sensores foi realizada utilizando apenas um link de fibra ótica no OPGW, multiplexado em comprimento de

D264 - Cabeça-de-Série: Desenvolvimento Industrial de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real de Linhas Aéreas; Aneel-4950-022/2007; março 2010 a julho 2012; Proponente: CEMIG D; Executora: CPqD; Investimento R\$ 680.000,00.

<sup>1</sup> CPqD (claudiah@cpqd.com.br)

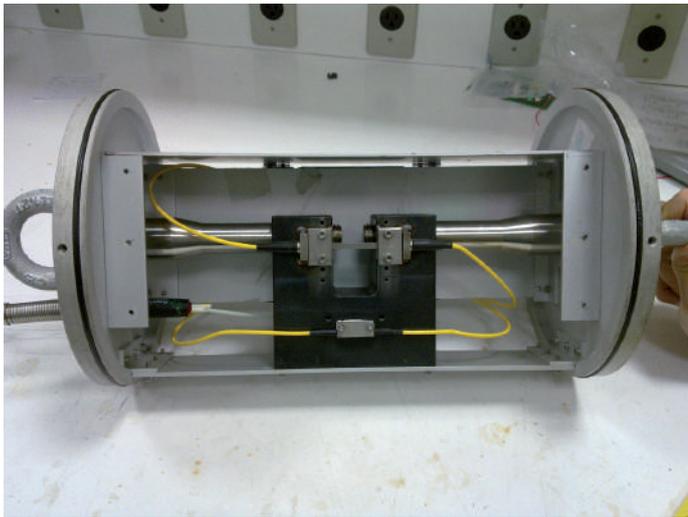


Figura 1 - Vista interna da célula de carga óptica SOMLT.

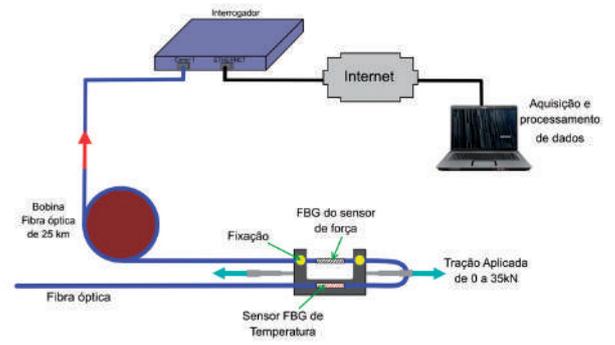


Figura 2 - Esquemático do sistema de medição de força do SOMLT



Figura 3 - Sistema de interrogação óptica das informações em tempo real



Figura 4 - Detalhe da instalação da célula óptica em estrutura de ancoragem de linha aérea tipo 138 kV da Cemig D



Figura 5 - Vão de testes montado no CPqD

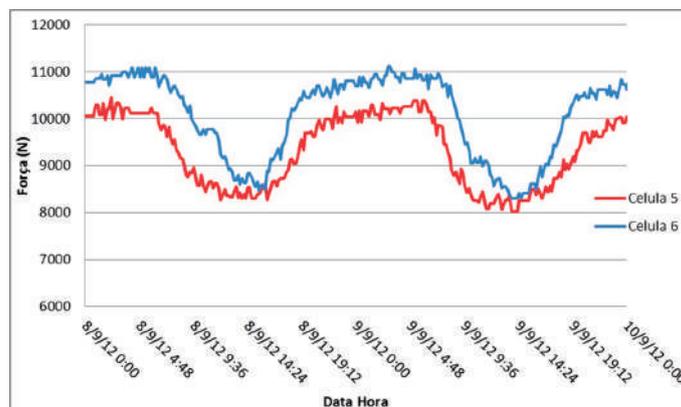


Figura 6 - Primeiros resultados obtidos em linha em operação real.

onda diferentes. A Figura 3 mostra a instalação do sistema de interrogação óptica na SE Bonsucesso, 138 kV da Cemig D.

#### IV. TESTES DE CAMPO

As cinco células de força foram instaladas na região metropolitana de Belo Horizonte. A Figura 4 mostra uma destas células ópticas instalada em linha aérea de 138 kV.

Testes também foram realizados em vão experimental montado no CPqD conforme mostra a Figura 5, que permitiu aprimorar o projeto cabeça-de-serie D264 do SOMLT.

A Figura 6 apresenta os primeiros resultados das forças exercidas pelos condutores decorrente da variação da carga e do clima ao longo do dia em duas linhas distintas. Quando a carga no condutor e/ou a temperatura aumentam, a catenária no cabo aumenta e, conseqüentemente, a força é reduzida.

#### V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou os resultados finais do projeto SOMLT por meio de projeto tipo cabeça-de-série para monitoração de força mecânica em cabos condutores. O desempenho dos cinco sensores ópticos foi amplamente satisfatório e demonstra uma alta qualidade tecnológica atingida com o produto SOMLT. Os resultados dos ensaios de laboratório e em campo validaram esse desenvolvimento. O SOMLT já está em operação experimental em cinco linhas aéreas 138 kV da Cemig D. A partir da aplicação do SOMLT, e associado ao conceito de ampacidade dinâmica, é possível estimar que haverá um aumento médio de até 15% da capacidade atual dessas linhas sem que haja grandes alterações no seu projeto, o que resulta em otimização e gera elevados benefícios econômicos para a concessionária e a sociedade.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NASCIMENTO, C. A. M. "Aplicação de tecnologias de monitoramento em tempo real para aumentar a capacidade de transmissão em LTs aéreas". XVI SNPTEE. Campinas: 2001.
- [2] NASCIMENTO, C. A. M. "Aplicação de tecnologias de monitoramento em tempo real para aumentar a capacidade de transmissão em LTs aéreas," XV SENDI. Salvador: 2002.
- [3] STEPHEN, R.; SEPPA, T.; DOUGLASS, D.; LANCASTER, M.; BIEDENBACH, G.; WATT, G.; LILIE, J. L.; PESTANA, R.; FERRIERES, P.; SCHMALE, M. "Guide for application of direct real-time monitoring systems". Cigre Working Group B2.36.
- [4] NASCIMENTO, C. A. M.; HORTÊNCIO, C. A.; DINI, D. C.; BORIN, F.; NETO, J. B. M. A.; AGUIAR, J. G. D.; LEITE, R. L. "Sistema e dispositivo óptico para monitoração remota da tensão mecânica de esticamento em condutores de redes aéreas de transmissão e distribuição de energia elétrica". PI0704926-9, jun. 2007.



COELBA

## Etiquetagem eletrônica aprimora inspeção de equipamentos em operação

A manutenção de emergência na rede de distribuição, geralmente em consequência de desligamento, é cara para as concessionárias e se reflete em indisponibilidade temporária do fornecimento de energia. Para evitar esse tipo de ocorrência, a inspeção preventiva é fundamental. Mas a eficiência dela requer inovações – algumas distribuidoras ainda fazem o registro dessas verificações em formulário de papel, preenchido pelo técnico de campo. Um projeto da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia S./A. (Coelba) propôs como solução a utilização de etiquetas eletrônicas, com tecnologia de identificação via radiofrequência (Radio Frequency Identification – RFID), associadas a computadores de mão integrados ao sistema corporativo de cadastro e movimentação de equipamentos.

A tecnologia RFID oferece a comunicação em radiofrequência por indução eletromagnética. A etiqueta RFID contém um circuito associado a uma antena interna que permite a troca de dados com um módulo leitor, geralmente a uma pequena distância. Esse leitor, desenvolvido para o projeto, pode até tocar nos cabos aéreos de média e alta tensão sem trazer riscos para o operador. Via tecnologia Bluetooth, o leitor transfere os dados para o computador de mão em posse do técnico, que pode preencher o formulário e enviar as informações para o sistema da concessionária.

Testes simulados e reais comprovaram o bom desempenho do sistema de inspeção. A Coelba, que hoje utiliza o sistema, concebeu uma patente para o coletor de dados.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia S./A. (Coelba)

Título: Equipamento para identificação e cadastro de equipamentos de redes de distribuição de energia elétrica via PDA - cabeça de série

Ciclos: 2010/2012

Investimento: não informado R\$ 808.837,50

Execução: não informado



# Equipamento para identificação e cadastro de equipamentos de redes de distribuição de energia elétrica via PDA – cabeça de série

Maria Angélica<sup>1</sup>, Paulo Junior<sup>1</sup>, Aroldo Osterne<sup>1</sup>, Murilo Pereira<sup>1</sup>, Cleber Ramos<sup>2</sup>, Alan Gramacho<sup>2</sup>, Ingrid Almeida<sup>2</sup>, Igor Sousa<sup>2</sup>, Sérgio Holtz<sup>2</sup>, Luiz Marques<sup>2</sup> e Luiz A. L. Almeida<sup>3</sup>

**Resumo** – O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de etiquetagem eletrônica em equipamentos da rede de distribuição de energia elétrica, usando tecnologia Radio Frequency Identification (RFID) associada com computadores de mão, tipo Personal Data Assistant (PDA), integrados ao sistema corporativo de gestão do cadastro e da movimentação desses equipamentos. O produto desenvolvido alcança um novo patamar de agilidade e confiabilidade no cadastramento e no acompanhamento dos equipamentos da rede de distribuição, reduzindo riscos, custos operacionais e inconsistências em banco de dados, melhorando a qualidade da energia fornecida e a imagem corporativa da empresa de distribuição de energia elétrica perante os seus clientes. O sistema inclui o leitor de etiquetas RFID; o aplicativo em PDA, para a execução das tarefas de leitura; o aplicativo Desktop, como interface entre as tarefas realizadas com o PDA e o sistema de gerenciamento da empresa; e a aplicação web, para gerenciar os usuários do sistema.

**Palavras-chave** – PDA, mapeamento de equipamentos de redes de distribuição elétrica, segurança e confiabilidade de dados, RFID.

**Abstract** – This paper presents the development of a system of electronic tagging equipment in the electricity distribution system, using Radio Frequency Identification (RFID) associated with handhelds, like Personal Data Assistant (PDA), integrated into the corporate system of management of registration and handling of such equipment. The developed product reaches a new level of speed and reliability in the registration and monitoring of equipment for the distribution network, reducing risk, operational costs and inconsistencies in the database, improving the quality of power supplied and the corporate image of the energy distribution electricity to their customers. The system includes RFID tag reader; the PDA application for the reading tasks; desktop application as an interface between the tasks performed with the PDA and the company's management system; and web application for managing the system's users.

**Keyword** – PDA, electric distribution network equipment mapping, data safety and reliability, RFID.

## I. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de operações em sistemas de distribuição requer a instalação, o monitoramento e a substituição de milhares de peças e equipamentos espalhados em uma grande área. Quando um desligamento é reportado, há um deslocamento rapidamente para o local da falha. Este tipo de manutenção de emergência resulta em custo elevado da manutenção e em custo de indisponibilidade do fornecimento, tanto para a concessionária quanto para os consumidores. Para reduzir a probabilidade de falhas inesperadas, a concessionária investe em manutenção planejada ou preventiva. Esta prevenção de falhas nos equipamentos é obtida através da inspeção e da substituição de componentes.

O sucesso e a eficiência deste processo dependem essencialmente de três fatores: meio de registro de informações no corpo do equipamento; confiabilidade na aquisição de dados durante o processo de manutenção; possibilidade do acesso às informações necessárias à mitigação da falha. Em geral, os meios atuais de registro de informações no processo de manutenção e

acompanhamento de equipamentos são a etiqueta de alumínio ou de papel (código de barras) no corpo do equipamento e o formulário de papel na mão do técnico de campo.

Como alternativa ao método usual de controle de movimentação, instalação e manutenção de equipamentos, foi desenvolvido um sistema com etiquetas eletrônicas de identificação por rádio frequência (RFID tags) para aprimorar a leitura das atuais etiquetas e também o formulário de papel, substituído por um computador de mão. O uso de etiquetas de RFID é um método de identificação automática que permite o armazenamento e a recuperação de dados em etiquetas eletrônicas denominadas transponder ou RFID tag [1].

A etiqueta de RFID é um objeto pequeno que contém um circuito eletrônico associado a uma antena interna e permite o envio e a recepção de dados, através da comunicação de radiofrequência por indução eletromagnética com um módulo transceptor, separado deste por uma pequena distância [2] [3]. O sistema de identificação por radiofrequência facilita a identificação, a localização, a prevenção de fraudes e o gerenciamento das informações sem o uso do formulário de papel [4]. O módulo leitor da etiqueta de RFID transfere os dados da etiqueta eletrônica para o PDA via Bluetooth.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Metodologia

RFID é um método de identificação automática que permite o armazenamento e a recuperação de dados em etiquetas ele-

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Equipamentos para identificação e cadastro de equipamentos de rede de distribuição de energia via PDA - Cabeça de série (0047-0027/2009)', 'CEOLBA'; Danitec Engenharia e consultoria Ltda.; '2009 (ciclo aprovado) e 2010-2011 (excusado)'; R\$ 808.837,50'.

<sup>1</sup> 'COELBA' (mhughes@coelba.com.br; apjunior@coelba.com.br; aosterne@coelba.com.br; mcosta@coelba.com.br).

<sup>2</sup> DANITEC' (cleber.ramos@danitec.com.br; alan.santos@danitec.com.br; ingrid.almeida@danitec.com.br; igor.souza@danitec.com.br; sergio.holtz@danitec.com.br; lccm1@terra.com.br).

<sup>3</sup> 'UFBA' (lalberto2008@gmail.com)



Figura 1. Encaixe do leitor na vara de manobra.

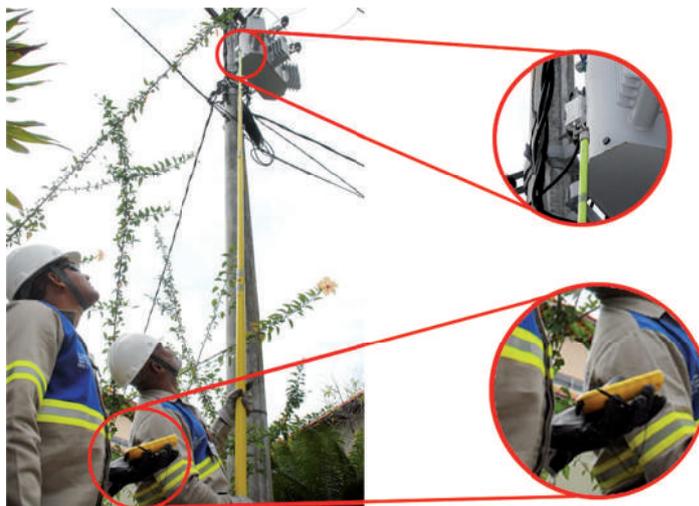


Figura 2. Coletor de dados de RFID

trônicas denominadas transponder ou etiquetas de RFID. Este objeto contém um circuito eletrônico associado a uma antena interna que permite permutação de dados. A comunicação com um módulo transceptor acontece através de radiofrequência por indução eletromagnética, geralmente a uma pequena distância.

O RFID é uma tecnologia amplamente utilizada em várias áreas industriais, como acompanhamento de itens em uma cadeia produtiva, verificação de estoque, entre outras aplicações. Podemos definir a tecnologia RFID como uma tecnologia de comunicação por rádio frequência sem fios para transmitir dados de uma etiqueta acoplada a um objeto através de um leitor.

Na década de 1980, um estudo buscou uma arquitetura que utilizasse os recursos das tecnologias baseadas em radiofrequência para servir como referência ao desenvolvimento de novas aplicações de rastreamento e localização de produtos. A partir disso, o Massachusetts Institute of Technology (MIT), juntamente com outros centros de pesquisa, conceberam o Código Eletrônico de Produtos – Electronic Product Code (EPC). O EPC definiu uma arquitetura de identificação de produtos que utilizava recursos de sinais de radiofrequência, chamada posteriormente de RFID.

O coletor concebido (Figura 1) utiliza uma haste de manobra isolante para realização da leitura e envia a identificação do equipamento via Bluetooth para o PDA em posse do operador (Figura 2). O coletor tem a capacidade de aproximar-se ou até tocar nos cabos aéreos de média e alta tensão do sistema de distribuição sem trazer riscos para o operador. Não foi possível utilizar um “leitor de prateleira”, pois este não possui tais características.

Considerando os processos atuais de movimentação (Figura 3), foram produzidos softwares em três interfaces: desktop, web e PDA.

A aplicação desktop foi desenvolvida para gerenciar os usuários da aplicação PDA e fazer a comunicação via arquivo .txt com o sistema da concessionária.

O aplicativo PDA foi desenvolvido para substituir os formulários de papel, com o objetivo de ter agilidade e confiabilidade no cadastramento e no acompanhamento dos equipamentos, a fim de evitar erros suscetíveis como fraudes, escrita ilegível nos formulários e inconsistências no banco de dados da concessionária. Esse aplicativo também faz a comunicação com o leitor RFID via Bluetooth para obtenção dos dados das etiquetas eletrônicas. Também se comunica via cabo serial com a aplicação desktop para carregar/descarregar dados.

Para gerenciar a aplicação desktop, foi criada a aplicação web, para fazer o gerenciamento de usuários que utilizarão a aplicação desktop e também a própria aplicação web. A aplicação web é importante para o projeto, pois os processos de movimentação de equipamentos estão localizados em regiões distintas e, sendo assim, cada setor da empresa de distribuição possuirá uma aplicação desktop. Portanto, há a necessidade do gerenciamento remoto do sistema.

## B. Resultados

O sistema composto pelo leitor/gravador de etiquetas e softwares foi submetido a testes em campo. O leitor RFID – composto por módulo de comunicação sem fio Bluetooth, módulo transceptor para etiquetas RFID da faixa de frequência UHF, antena do transceptor e placa de circuito impresso que integra os módulos – foi submetido a um transformador em operação. Os testes foram acompanhados por técnicos da concessionária dentro das normas de segurança. A partir de testes simulados e reais, todas as funcionalidades passaram pelos simulados e foram aprovadas sem ressalvas. O sistema é aplicável essencialmente ao setor elétrico, especialmente no controle dos ativos (principalmente equipamentos) da rede de geração e distribuição de energia elétrica. Foi produzido e aprovado um artigo no SENDI 2010 em São Paulo. Além disso, foi concebida uma patente do coletor de dados. Hoje os sistemas estão implantados na Coelba para uso.

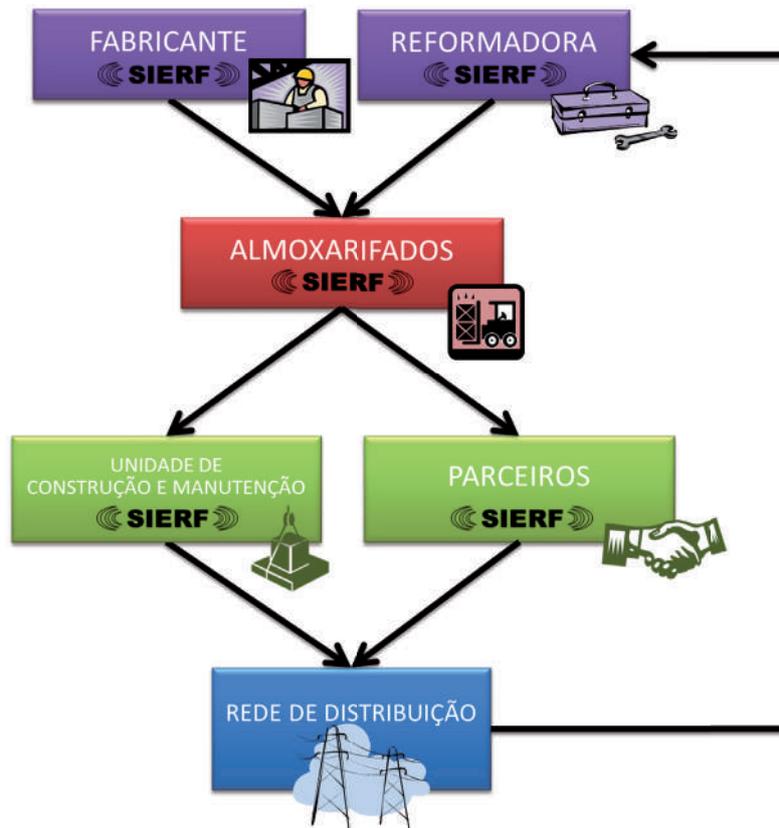


Figura 3. Movimentação de equipamentos de distribuição.

### C. Benefícios

Com os resultados, foi comprovada melhoria da qualidade do serviço a partir da descentralização do armazenamento das informações, da prevenção de fraudes e do gerenciamento das informações sem a propagação de erros e inconformidades no cadastro. Dentre outros benefícios, estão: facilidade na identificação dos equipamentos; segurança dos operadores durante os procedimentos de operação na rede; redução de acidentes de trabalho; localização e monitoramento de peças.

### III. CONCLUSÕES

Não existem comercialmente produtos ou sistemas similares ao apresentado. No entanto, as técnicas de identificação eletrônica são difundidas de forma abrangente, principalmente no varejo, ampliando cada vez mais o uso de PDA's em diversas

áreas, tais como instrumentação e supervisão. A identificação e o gerenciamento por meio eletrônico trazem maior segurança e confiabilidade dos dados, eliminando riscos de falha e redução do tempo de execução das tarefas.

Os resultados obtidos apontam uma melhoria da qualidade do serviço prestado na instalação e na manutenção de equipamentos no sistema de distribuição, referentes à facilidade de identificação, de localização e de monitoração dos equipamentos e peças. Assim, permite a descentralização no armazenamento de informações, a prevenção de fraudes e o gerenciamento das informações sem o uso do formulário de papel.

Finalmente, fica evidente que o produto possibilita a agilidade e confiabilidade no cadastramento e no acompanhamento dos equipamentos da rede de distribuição, com potencial de aplicabilidade em empresas do segmento de distribuição.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FINKENZELLER, K. RFID Handbook 2<sup>o</sup> Edition.
- [2] PINHEIRO, J. M. S. "RFID - Identificação por Radiofrequência". Último acesso em 27/03/2013. Disponível em: <[http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_identificacao\\_por\\_radiofrequencia.php](http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_identificacao_por_radiofrequencia.php)>.
- [3] UPM RAFLATAC. Rafsec 49 x 82 mm tag - Product specification. UPM Raflatac, 2006.
- [4] BERNARDO, C. G. A tecnologia RFID e os benefícios da etiqueta inteligente para os negócios. Último acesso em 27/03/2013. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/56495141/A-Tecnologia-RFID-BSI>>.



COELBA

## Sensor inteligente alerta à concessionária ponto exato de falta de energia

Um produto cabeça de série elaborado pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), com o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec) e o Grupo Sygma, demonstrou ser preciso no auxílio à detecção e à localização de pontos de falta de energia elétrica na rede de distribuição. O sensor de corrente, que realiza a monitoração da rede elétrica em média tensão até 34,5 quilovolts (kV), em modo trifásico, custa metade do preço dos similares internacionais e traz como vantagem sobre eles o cálculo, por comunicação sem fio, da corrente de desequilíbrio de fases.

O núcleo de sensoriamento do produto é formado por três sensores de corrente, um para cada fase da rede de média tensão, e por um IED (Intelligent Electronic Device) que concentra os dados de medição e gerencia o sincronismo de processamento dos três sensores. Esse IED possui modem celular GPRS para comunicação automatizada e em tempo real com o Centro de Operação da Distribuição (COD) da concessionária, e é capaz de emitir alerta em caso de falta de energia. Um programa de configuração dos sensores e do IED permite a escrita e a verificação dos parâmetros do sistema.

Com a transferência de tecnologia para a indústria, foram aprimorados a logística de fabricação, a entrega e o acompanhamento da instalação. Um lote com 30 conjuntos de equipamentos está em operação em Mataripe (BA) e demonstrou notável atuação, com corretas indicações, facilidade de instalação e retirada com a rede energizada e realização da medida trifásica fasorial, entre outros aspectos.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba)

Título: Produção cabeça de série de sensor inteligente

Ciclos: 2010/2012

Investimento: R\$ 824.874,00

Execução: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec) e Grupo Sygma

# Produção cabeça de série de sensor inteligente

Vólidi C Zambenedetti<sup>1</sup>, Francisco J R Santana<sup>2</sup>, Guilherme P de Resende<sup>1</sup>, Wilson R. Mognon<sup>1</sup>, Rafael Wagner<sup>1</sup>

**Resumo** – Este projeto de P&D tratou do processo continuado de desenvolvimento tecnológico, partindo do projeto “Sensores inteligentes para detecção de faltas em linhas aéreas de comunicação via PLC (Power Line Communications)” entre Coelba, Lactec e UFBA. Chegou-se ao estágio do desenvolvimento de cabeça de série, com transferência de tecnologia para a indústria, resultando em aprimoramento da logística de fabricação, entrega e acompanhamento da instalação em campo de um lote destes equipamentos. O produto principal obtido é o equipamento que realiza a monitoração da rede elétrica em média tensão até 34,5kV, trifásico, com registros de eventos de falta e envio automatizado ao Centro de Operação da Distribuição da concessionária. Podemos destacar, neste desenvolvimento, as corretas indicações fornecidas pelos sensores instalados, sua facilidade de instalação e retirada com a rede energizada, o baixo custo e a inovação da realização da medida trifásica fasorial, e a detecção de desequilíbrios de cargas, via comunicação sem fio.

**Palavras-chave** – Detecção de faltas; sensoriamento de corrente; qualidade de energia; qualidade de serviço; redes de distribuição de energia elétrica.

**Abstract** – This R&D project addressed the continuing process of technological development, starting from the project “Intelligent Sensors for Fault Detection in Aerial Communication via PLC (Power Line Communications)” between Coelba, LACTEC and UFBA. It reached the stage of development seeded with technology transfer to industry, resulting in improving the logistics of manufacturing, delivery and monitoring of field installation of a lot of this equipment. The product obtained is the main equipment that performs network monitoring in medium voltage power up to 34.5 kV, three-phase, with records of events of default and automatic delivery to the concessionaire’s Distribution Operation Center. We highlight, in this development, the correct information provided by the sensors installed, its ease of installation and removal with a powered network, its low cost and the innovation on tri-phase phasor measurement, and also the detection of load imbalances, via wireless communication.

**Keyword** – Fault detection; current sensing; power quality; service quality; electricity distribution networks.

## I. INTRODUÇÃO

Quando há a ocorrência de uma falta na rede de distribuição de energia elétrica, a sua detecção e localização, quando feitas de forma ótima, diminuem o impacto nos índices de Qualidade de Serviço em Energia Elétrica. A automatização da detecção do evento presta o auxílio esperado, mediante a precisa detecção e localização da falta e sua comunicação ao Centro de Operação da Distribuição (COD). Os requisitos de baixo custo de fabricação, baixo consumo de energia e facilidade de instalação são prioritários. A instalação e retirada de equipamentos da linha sem o corte do fornecimento é característica fundamental. O sensor inteligente desenvolvido neste projeto, na fase de cabeça de série, atende aos requisitos citados mediante: a aplicação de circuitos eletrônicos de alta tecnologia criteriosamente escolhidos e desenhados; o desenvolvimento de adequado invólucro de sensor; e a aplicação das técnicas, ferramentas e materiais corretos para instalação em campo nas condições da rede elétrica. A comunicação com o COD é feita em tempo real via GPRS e protocolo DNP3. A aplicabilidade às necessidades da concessionária de energia elétrica se mostrou notável. Equipamentos sensores estão instalados e operando na rede há meses, com expectativa de autonomia de mais de três anos.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Metodologia

Aplicaram-se as definições dos termos “detecção de falta” e “localização de falta” segundo IEEE [3]. “Detecção de falta” é o reconhecimento de uma interrupção no fornecimento de energia elétrica devido à atuação de equipamentos de proteção. “Localização de falta” é a informação do local ou do trecho de alimentador onde se encontra a causa da atuação dos equipamentos de proteção.

A Figura 1 ilustra o uso do sensor de sobrecorrente para detecção de uma falta e auxílio na localização. Na ocorrência de falta, há um surto de corrente e a abertura da proteção. Um sensor que tenha detectado ou não um surto poderá ajudar a decidir em qual ramal encontra-se o defeito, uma vez que pode discernir se a causa da interrupção foi a jusante ou a montante da sua posição no alimentador. Algoritmos de localização [1], vistos na Figura 2, podem calcular dois ou mais pontos na rede auxiliados pelo sistema desenvolvido neste trabalho.

### B. Arquitetura

A Figura 3 apresenta a proposta da arquitetura do equipamento. O sistema desenvolvido consiste de um IED (Intelligent Electronic Device) e de um grupo de três sensores de corrente, um para cada fase da rede de média tensão. O IED possui fonte de alimentação que aceita entradas AC e bateria de backup, modem celular GPRS para comunicação com o COD e, durante o andamento do projeto, modem celular GPRS secundário para acompanhamento pelo Lactec.

Na comunicação local entre o IED e os sensores, usam-se rádios de baixa potência, com alcance máximo teórico de 100 metros.

Informações sobre o Projeto de P&D: ‘Produção Cabeça de Série de Sensor Inteligente’, código ANEEL PD-0047-0004/2009; COELBA; LACTEC e Grupo Sygma; ciclo 2010/2012; Investimento de R\$ 824.874,00 aprovado para execução do projeto.

<sup>1</sup> LACTEC (voldi@lactec.org.br; guilherme.resende@lactec.org.br).

<sup>2</sup> COELBA (fsantana@coelba.com.br).

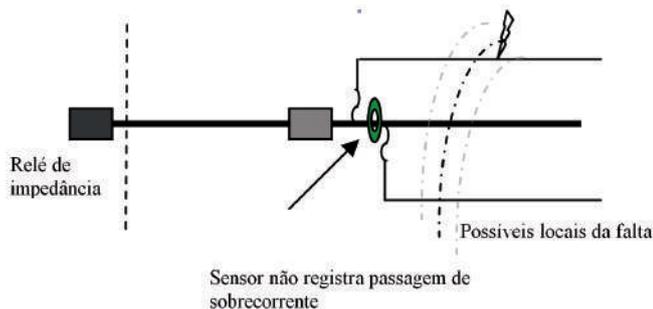


Figura 1. Uso de sensor de passagem de sobrecorrente



Figura 3. Arquitetura do sistema

### C. Desenvolvimento do sensor

O sensor de corrente foi desenvolvido consistindo de núcleo para sensoriamento de corrente, condicionadores de sinal, microprocessador com ADC, um rádio e reguladores de tensão, como mostrado na Figura 4.

Em atendimento ao requisito de baixo consumo, o circuito eletrônico tem consumo médio menor que 14mW. A placa eletrônica, observada na Figura 5, é montada com blindagens às interferências eletromagnéticas.

### D. Desenvolvimento do Intelligent Electronic Device

O IED foi projetado para atender aos requisitos da comunicação com o COD e da coordenação dos sensores de corrente instalados em configuração trifásica. Concentra os dados de medição e gerencia o sincronismo de processamento dos três sensores. A participação do parceiro industrial de projeto garantiu a evolução em qualidade mecânica. A Figura 7 mostra a caixa do IED e componentes internos.

### E. Software de configuração

Foi desenvolvido um software de configuração dos sensores e do IED, para a escrita e a verificação de todos os parâmetros do sistema. A Figura 8 apresenta uma tela de exemplo de configuração de IED (remota).

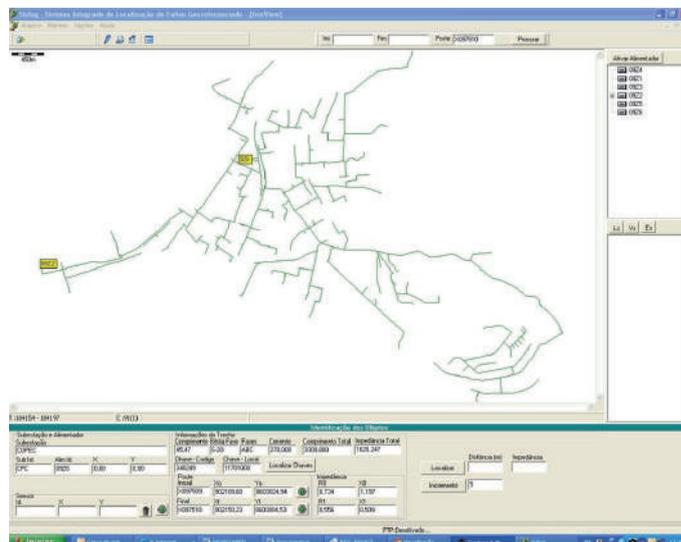


Figura 2. Aplicação visual de localização de faltas – Sislog [1]

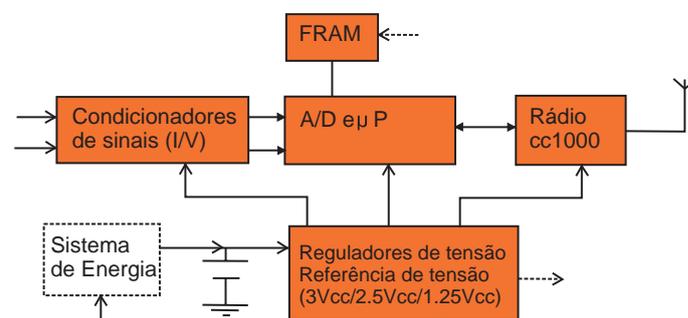


Figura 4. Arquitetura do sensor

A Figura 9 mostra uma tela de sensoriamento em tempo real da rede trifásica.

## III. CONCLUSÕES

O lote cabeça de série contemplou a fabricação e a montagem de 30 conjuntos de equipamentos. As instalações e o acompanhamento em campo ocorreram durante o ciclo do projeto. A aplicabilidade do produto na empresa é grande, uma vez que já está integrado ao sistema de supervisão do COD, com o envio de eventos e alarmes. Também foi desenvolvido um parceiro industrial, o Grupo Sygma. O preço de venda do produto, estimado pelo parceiro industrial, é metade de um similar de mercado, importado, sendo que o último não contempla a inovação do cálculo da corrente de desequilíbrio de fases por comunicação sem fio. Uma foto de um dos equipamentos instalados na rede da concessionária é mostrada na Figura 10. A localidade é Mataripe (BA), e os sensores foram adaptados para funcionamento por painel fotovoltaico de filme flexível.

O treinamento na sede da concessionária, na Figura 11, foi realizado como etapa de projeto.

O avanço da tecnologia pode acontecer pela melhoria do sensoriamento das grandezas de tensão das linhas.

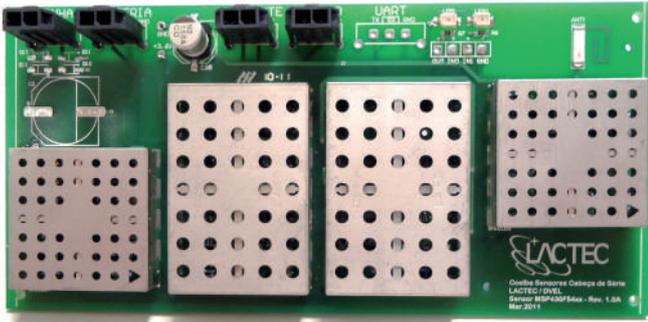


Figura 5. Placa eletrônica do sensor

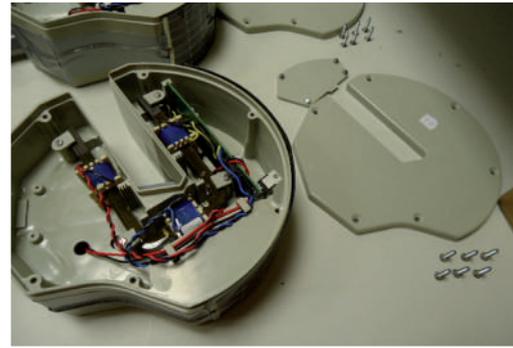


Figura 6. Componentes mecânicos do sensor



Figura 7. Caixa do IED

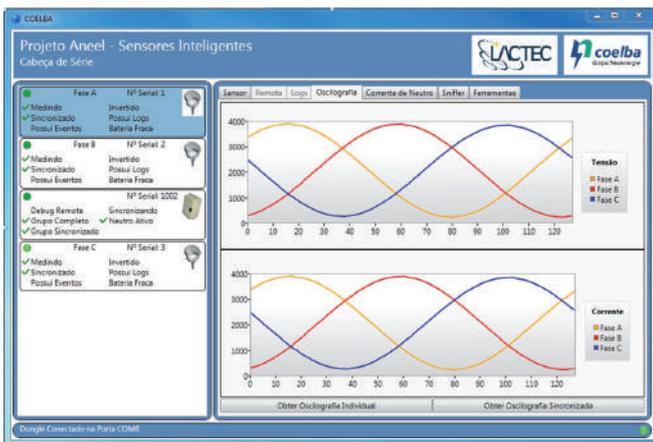


Figura 9. Tela de sensoriamento trifásico

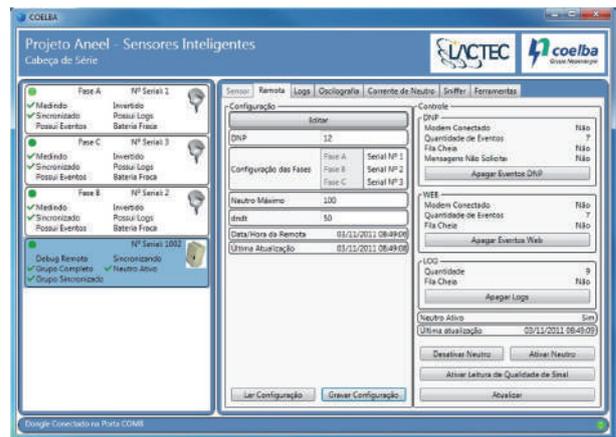


Figura 8. Tela do software de configuração



Figura 11. Treinamento



Figura 10. Equipamento instalado em campo

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. SANTANA, F. J. R., ALMEIDA, L. A. L.; FONTANA, M. "SISLOG - Sistemas de localização de faltas georeferenciada" IV Citenel. Araxá, 2007.
- [2]. SANTANA, F. J. R., ALMEIDA, L. A. L.; ZAMBENEDETTI, V. C.; RESENDE, G. P.; MOGNON, V. R.; WAGNER, R. "Desenvolvimento de sensores inteligentes para detecção de faltas em linhas aéreas com comunicação via PLC (Power Line Communications)". VI Citenel, 2011.
- [3]. IEEE. Guide for determining fault location on AC transmission and distribution lines. IEEE Standard C37.114-2004, Jun. 2005.



COELCE

## Uso de smartphone aumenta eficiência dos procedimentos de corte e religação

A popularização dos dispositivos móveis de comunicação tornou possível uma solução de custo reduzido para o corte e religamento à distância do fornecimento de energia elétrica a unidades consumidoras. O contato remoto com as informações nos medidores é um anseio antigo de técnicos das concessionárias, de modo a realizar uma intervenção discreta em casos de negação ou dificuldades no acesso aos aparelhos. Um produto cabeça de série, com o uso de smartphones, foi desenvolvido pela Companhia Energética do Ceará (Coelce), cujo atendimento mensal é ocupado em 15% a 20% com visitas a unidades consumidoras com histórico de cortes e religações.

O produto prevê a instalação, em um poste, de um dispositivo com interface Bluetooth associado a medidores de múltiplas unidades consumidoras. O dispositivo colhe os dados dos medidores e os transmite, via tecnologia Bluetooth, ao smartphone operado pelo técnico. Um aplicativo no aparelho faz a leitura das informações e as transfere para outro programa, em um servidor central, que valida os dados e controla as operações de religamento e corte. Esse programa transmite ao smartphone relatórios e alertas de ocorrências, como tentativas de violação e de religamento clandestino.

A validação do produto ocorreu com a medição de 540 unidades consumidoras em um bairro de Fortaleza com histórico de autorreligamento. Os resultados motivaram os pesquisadores a sugerirem a produção industrial do produto e a comercialização em escala, gerando as condições para a busca de contratos de licença de direitos.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética do Ceará (Coelce)

Título: Desenvolvimento de cabeça de série do sistema de religamento e corte de unidades consumidoras com tecnologia Bluetooth

Ano: 2009

Investimento: R\$ 1.049.270,00

Execução: KNBS e Identech

# Sistema de religamento e corte de unidades consumidoras com tecnologia Bluetooth

Carlos Alberto Fróes Lima<sup>1</sup>, Jerry Jakson Eloy Santos<sup>2</sup>, José Ricardo Portillo Navas<sup>1</sup>, Dalton Swain Conselvan<sup>3</sup> e André S. Fonseca Sobrinho<sup>3</sup>

**Resumo** – Este trabalho apresenta os resultados obtidos na automatização de operações de religamento e corte à distância, através de smartphones, sem interferências mecânicas/elétricas diretas e garantindo o acesso às unidades de medição na eventualidade de negação e/ou dificuldades no acesso. Foi feita a implantação em campo, em uma fase de cabeça de série de produto, dentro do programa de P&D da Coelce, acoplado aos elementos atualmente existentes no ramal de ligação. O desenvolvimento objetivou oferecer mais segurança e facilidade operacional, contribuindo com o combate à fraude e ao furto de energia elétrica, com uma redução de custos e uma melhoria na imagem da concessionária, além da redução do constrangimento de atuação de equipes de corte.

**Palavras-chave** – Religamento e corte remotos, segurança operacional, tecnologia Bluetooth.

**Abstract** – This paper presents the results obtained in the automation of reclosing and cutting away operations through smartphones without mechanical / electrical interference and ensuring direct access to units of measurement in the event of denial and/or access difficulties. Deployment was made in the field in a phase-head series of product, within the Coelce R&D program coupled to elements currently on the branch connection. The development aimed to provide greater security and operational ease, contributing to the fight against fraud and theft of electricity, with reduction of costs and improvement in the image of the concessionaire, by reducing the embarrassment of performance of the cutting teams.

**Keyword** – Remote re-connection and cutting, operational safety, Bluetooth technology.

## I. INTRODUÇÃO

A solução tecnológica do cabeça de série, validada pelo protótipo do projeto desenvolvido nos ciclos 2005/2007 do Programa de P&D da Coelce [1], é orientada à execução dos procedimentos de religamento e corte de unidades consumidoras (UC) de baixa tensão em rede energizada. Normalmente estas ações são intrusivas e desgastantes no relacionamento com o cliente/consumidor e precisam ser executadas de acordo com a imagem de seriedade da concessionária e as normas estabelecidas na legislação [2], [3], [4].

Com o novo sistema, é necessário apenas um profissional com um smartphone para realizar as operações à distância, evitando-se o uso de equipes convencionais. O dispositivo, empacotado em uma única mecânica padronizada, atende múltiplas UCs (monofásicas, bifásicas e/ou trifásicas) através de uma única interface Bluetooth.

Os resultados do projeto permitem que a concessionária melhore o relacionamento com o cliente, com solução menos constrangedora e onerosa. Outro impacto é no processo de antecipação de soluções de conflitos nas ações de religamento, corte e receitas.

Foram confeccionados equipamentos do cabeça de série para atendimento de 540 unidades consumidoras da região metropolitana de Fortaleza (CE), em um cenário com histórico de autoreligamento. Buscou-se validar e aprimorar o produto preparando-o para uma futura produção industrial e uma disseminação da tecnologia utilizada.

## II. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CABEÇA DE SÉRIE

O desenvolvimento do cabeça de série apresenta múltiplas características inovadoras:

- Uso de dispositivo ativo acoplado à estrutura padrão de derivação de ramais de ligação para UC com a tecnologia Bluetooth [5] e [6], de fácil manuseio, instalação e alta confiabilidade;
- Atendimento de múltiplas UC (monofásicas, bifásicas e/ou trifásicas) com uma única interface Bluetooth;
- Redução de custos operacionais (hora/homem, deslocamento de veículos, equipamentos);
- A carga do *firmware* do dispositivo é realizada através do próprio smartphone;
- Possui capacidade de armazenamento do histórico do número de violações (abertura da tampa do dispositivo) e das operações realizadas.

O dispositivo resultante é direcionado para utilização junto a UC com histórico de cortes/religações sistemáticas. Esta situação atinge um patamar de 15% a 20% do total das operações/mês realizadas na área de concessão da Coelce.

Desenvolvimento de Cabeça-de-Série do Sistema de Religamento e Corte de Unidades Consumidoras com Tecnologia Bluetooth (PD-0039-0005/2009); COELCE; Executores: KNBS e IDENTECH; 2009-2012; Investimento: R\$1.049.270,00.

1 KNBS (e-mail: froes@knbs.com.br, navas@knbs.com.br)

2 Coelce (e-mail: jerryeloy@coelce.com.br)

3 Identech (e-mail: dalton@identech.com.br, sanches@identech.com.br)



Figura 1. Arquitetura funcional do sistema



Figura 2. Tela de login da leitora e suas funcionalidades principais

- Configuração do Dispositivo de Religa & Corte
- Configuração da Unidade Consumidora
- Associação de relés e fases
- Procedimentos de Corte & Religa
- Comando Status da atividade das fases
- Atualização a distância da Versão de firmware do Dispositivo de Religa & Corte

Menu

- Inicial
- Sair

Menu Sistema

- Usuários
- UC
- Disp. Religa & Corte
- Ordem de Serviço
- Upload

Menu Relatório

- Ordem de Serviço
- Alertas
- Dispositivos

Alertas

- Dispositivos violados
- Potencial fraude

Mensagens

- Dispositivos UC (26)

Associar UCs x Relés

No. Série 0000019

Código Poste BT-00019

Endereço RUA AZEVEDO BOLAO 01601

Município FORTALEZA

Estado CE

CEP 13050000

Violado NAO

No. de Aberturas 0

Relé	UC	Fase	Relé Presente	Status	Linção	Editar	Excluir
1	4299545	A	●	●	●	✎	✖
2	2641519	A	●	●	●	✎	✖
3	279957	B	●	●	●	✎	✖
4	279959	B	●	●	●	✎	✖
5	2730692	C	●	●	●	✎	✖
6	vazio	C	●	●	●	✎	✖

Adicionar UC

Figura 3. Configuração de um dispositivo de Religa &amp; Corte com associação de UC aos relés físicos do dispositivo

### III. ARQUITETURA DO SISTEMA

A solução tecnológica está composta pelos seguintes elementos sistêmicos, apresentados na figura 1:

1. Medidor: existente nas instalações do usuário;
2. Dispositivo de religamento e corte: integrado com uma interface Bluetooth, e associado a múltiplas UC, instalado em poste da rede de distribuição para permitir as operações à distância de religamento e corte. Cada unidade tem capacidade de alojar até seis relés;
3. Leitora (smartphone): com recursos de comunicação via Bluetooth e carregada com um software aplicativo que executa e controla as operações à distância de religamento e corte sobre as UC;
4. Servidor central: software aplicativo no qual são centralizadas, organizadas e controladas as operações de religamento e corte. Permite o controle das informações a serem processadas pelas leitoras (smartphones) e sua organização operacional. Possui interface para log de alertas de ocorrências (como tentativas de violação e religamento clandestino) e relatórios gerenciais.

### IV. CARACTERÍSTICAS DA LEITORA

A leitora consiste em um equipamento portátil apropriado para uso manual (tipo smartphone), destinado a executar os coman-

dos sobre o dispositivo de Religa & Corte associado ao medidor da UC.

Realizadas as ações nas UC da rota estabelecida, as informações armazenadas na leitora são transferidas para o servidor central para validação e geração de alarmes operacionais. A comunicação da ação de religamento ou corte pode, opcionalmente, ser encaminhada em tempo real para o servidor da concessionária, para garantia da integridade de sua base de relacionamentos.

A Figura 2 mostra as funções integradas ao aplicativo da leitora, e a Figura 3, a configuração do dispositivo no sistema central.

### V. CARACTERÍSTICAS DO DISPOSITIVO DE RELIGA & CORTE

As placas de circuito impresso são empacotadas em caixas de derivação atualmente utilizadas pela Coelce. A escolha desta caixa para o uso no protótipo garantiu o reconhecimento técnico e a eliminação de diversos testes para garantias de vida útil, insolação, salinidade etc. Entre os ensaios em laboratórios especializados que foram realizados, estão:

- compatibilidade eletromagnética;
- tensão suportável sob impulso atmosférico;
- metrologia;
- climáticos;



Figura 4. Dispositivo versão predial na cidade de Fortaleza (à esquerda), o dispositivo na sua versão predial com capacidade de 12 relés (ao centro) e o processo de instalação do equipamento centro de medição do condomínio (à direita).

- vibração;
- penetração prejudicial de água;
- névoa salina.

O *hardware* do dispositivo de Religa & Corte possui um sensor para controle de abertura da tampa. Esta informação é armazenada pelo *firmware* do dispositivo e coletada pela leitora para posterior transferência ao servidor do sistema. A informação de abertura da tampa poderá ser utilizada para análise de potenciais fraudes nas instalações dos clientes residenciais.

## VI. IMPLANTAÇÃO EM CAMPO

### A. Implantação do dispositivo - versão predial:

A Figura 4 mostra o condomínio residencial escolhido pela Coelce para a implantação em campo do dispositivo de Religa & Corte em conjuntos residenciais com múltiplas UC, em Fortaleza (CE).

### B. Implantação do dispositivo - versão poste

Os dispositivos do cabeça de série (versão poste) foram instalados em postes da rede de distribuição do bairro São Gerardo, em Fortaleza.

A Figura 5 mostra um dispositivo de Religa & Corte instalado em poste da concessionária para atendimento, neste caso, de cinco UC monofásicas, interligado aos cabos da rede de distribuição secundária e com os cabos de alimentação de UC.



Figura 5. Protótipo instalado no poste da rede de distribuição para atendimento de cinco UC monofásicas

Os dispositivos instalados em campo continuam sendo acompanhados pela Coelce, com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema quando submetido aos procedimentos de operação comercial, às intempéries e aos riscos de vandalismo característicos da região.

## VII. CONCLUSÕES

A contribuição dessa nova forma de serviço à distância inaugura uma fase de relacionamento com os clientes, disponibilizando uma tecnologia que agrega valor aos processos da Coelce. Traz, sobretudo, benefícios à empresa e a seu maior bem, que são os clientes consumidores. Possibilita uma nova forma de relacionamento com o cliente consumidor e um serviço de religamento e corte mais confiável, mais seguro e mais rápido.

O sistema permite também maior controle na execução das operações de religamento e corte, através do fornecimento do status das conexões ligadas à residência do consumidor, permitindo que o electricista possa verificar o estado de energização dos condutores de alimentação da UC, identificar a existência de energia de terceiros, a dupla ligação ou potenciais fraudes.

Com os resultados do cabeça-de-série, qualifica-se, então, seu potencial de mercado, visando à produção industrial e à comercialização em escala, gerando as condições para a busca de contratos de licença de direitos conforme legislação vigente.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FRÔES, C.; SANTOS, J. J. E.; NAVAS, J. R. P.; CARVALHO, T.; CONSELVAN, D. S.; FONSECA, A. S. "Sistema de Religamento & Corte de unidades consumidoras com tecnologia Bluetooth". XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Olinda, out. 2008.
- [2] ANEEL. Resolução Normativa N.º 414, DE 15 DE SETEMBRO DE 2010.
- [3] COELCE. "Serviços de ligação, corte e religação de unidades consumidoras de baixa tensão". Documento PEX-002/2004 R04.
- [4] COELCE. "Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição". NT-001/2001 Norma de Baixa Tensão, 15/01/2001.
- [5] Site oficial da tecnologia Bluetooth. Disponível em: [www.bluetooth.com.org](http://www.bluetooth.com.org). Último acesso em 28/03/2013.
- [6] E. E. Site Tutorials Report [www.tutorial-reports.com/wireless/blue-tooth/tutorial.php](http://www.tutorial-reports.com/wireless/blue-tooth/tutorial.php). Último acesso em dez/2007.



COELCE

## Máquina automatizada troca recicláveis por créditos na conta de energia

Um dos projetos de P&D mais famosos da Companhia Energética do Ceará (Coelce), o Ecoelce, está em vias de automatizar o atendimento aos consumidores. A concessionária criou uma máquina para recepção, identificação, pesagem e separação dos resíduos recicláveis – e também para troca desses itens por créditos na conta de energia dos clientes, intercâmbio que caracteriza o projeto. Chamado de Auto Ecoelce, o terminal de autosserviço está instalado em dois pontos de Fortaleza (CE).

O Auto Ecoelce faz a coleta de 17 tipos de resíduos, com sensores para papel, metal (com diferenciação entre latinhas de alumínio ou aço), plástico (com recipiente exclusivo para embalagens PET) e vidro. O cliente informa no painel touchscreen o número de sua unidade consumidora e seleciona o tipo de resíduo que deseja depositar. O terminal habilita a entrega e os sensores verificam a compatibilidade do resíduo com a informação dada pelo cliente. Se o material for aceito, é pesado e o crédito equivalente é enviado via GPRS à área de faturamento da Coelce, com a emissão de um comprovante. Os resíduos são separados em sacolas, facilitando o encaminhamento para reciclagem.

Em operação na área nobre de Fortaleza, um protótipo recebe contribuições até de clientes que, sem desejar os bônus, os doam para instituições beneficentes. Numa fase de cabeça de série, a Coelce pretende instalar 15 terminais em 2013, em pontos de grande circulação. Desde 2007, o Ecoelce atendeu a aproximadamente 400 mil famílias e evitou o descarte no meio ambiente de mais de 12 mil toneladas de resíduos.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética do Ceará (Coelce)

Título: Máquina autônoma de coleta e tratamento de resíduos recicláveis para o programa Ecoelce

Ano: 2010

Investimento: R\$ 1.063.646,00

Execução: Nunes e Neri

# Máquina autônoma de coleta e tratamento de resíduos recicláveis para o Programa Ecoelce

Odailton S. de Arruda<sup>1</sup>, Anfrimar Nunes da Silva<sup>2</sup> e Cauê Milhomem Gonçalves<sup>3</sup>

**Resumo** – A Coelce está usando um equipamento inédito no país, o Auto Ecoelce, que consiste em uma máquina de autoatendimento para coleta de resíduos recicláveis com retorno financeiro para o usuário, através de bônus na conta de energia. Esse autosserviço é controlado por sistema de gerenciamento online e estará disponível em locais de fácil acesso, ampliando os canais de atendimento aos clientes do Ecoelce. A máquina possui subsistema de separação de resíduos, depósito acumulador para garantir armazenagem e viabilizar a coleta dos resíduos por empresa recicladora, além de software interligado ao sistema de faturamento da empresa.

**Palavras-chave** – Bônus, Ecoelce, reciclagem, resíduos recicláveis.

**Abstract** – Coelce is using unprecedented equipment in the country, the Auto Ecoelce, which consists of a self-service machine to collect recyclable waste with financial return to the user through bonds in the energy bill. This service is self-controlled by an online management system and will be available in easily accessible locations, expanding channels of Ecoelce's customer service. The machine has a waste separation subsystem, a storage tank to enable secure storage, the collection of waste by a recycling company and a software connected to the company's billing system.

**Keyword** – Bonus, Ecoelce, recycling, recyclable waste.

## I. INTRODUÇÃO

Desde 2007, o Ecoelce beneficia a população cearense, proporcionando a oportunidade de trocar resíduos recicláveis por bônus na conta de energia. Hoje com cerca de 55 pontos de coleta, o programa atende a aproximadamente 400 mil famílias, tendo evitado o descarte no meio ambiente de mais de 12 mil toneladas de resíduos.

O Ecoelce se firmou como fator para exercício de cidadania e inclusão social ao possibilitar que muitas famílias reduzissem suas contas de energia com a reciclagem de materiais. O programa vem atraindo não apenas o público de baixo poder aquisitivo, mas participantes que, apesar de não terem interesse direto no valor do bônus, efetuam a coleta seletiva como forma de contribuir com a preservação ambiental e exercer sua cidadania, doando o valor do bônus obtido a instituições filantrópicas.

Assim, para estimular a adesão e a participação desta parcela da população, a Coelce desenvolveu uma máquina de autosserviço, destinada a recepção, identificação, pesagem e separação automática dos resíduos recicláveis, chamada de Auto Ecoelce. Atualmente instalada em caráter experimental em dois pontos do município de Fortaleza (CE), o Auto Ecoelce vem atraindo a participação de clientes com renda mais elevada, que contribuem com a reciclagem de resíduos em benefício próprio ou de terceiros.

## II. DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO

O desenvolvimento do protótipo tomou como premissa receber o maior número de resíduos possível, de forma automática e com reconhecimento eficaz de tipo, peso e características do resíduo.

O Auto Ecoelce faz a coleta de 17 (dezesete) diferentes tipos de resíduos. A integração de diferentes tipos de sensores permite o reconhecimento de resíduos nas seguintes categorias: papel, metal (com diferenciação entre latinhas de alumínio ou aço), plástico (com recipiente exclusivo para embalagens PET) e vidro.

O protótipo do equipamento conta com a comunicação simultânea de diversos tipos de sensores que, além de identificar as características dos resíduos, permite análise de fraudes, tais como a entrega de materiais com peso distintos dos verificados em mercado. Os resíduos entregues são pesados e separados por um conjunto de acionamento de esteiras que levam o material para sacolas pré-instaladas, facilitando a coleta do material para reciclagem.

Para operação autônoma, a máquina foi equipada com *software* desenvolvido de acordo com as Melhores Práticas do Software Brasileiro (MPSBr). O sistema identifica a conta de energia a ser creditada, processa o bônus a ser concedido ao cliente e envia as informações online para a área de faturamento da Coelce, emitindo comprovante impresso da operação realizada. Para garantir a aplicabilidade do equipamento, a comunicação do protótipo foi integrada ao processo atual do Programa Ecoelce, facilitando a entrada em operação e os testes de funcionalidade em condições reais de operação.

Para operar o equipamento, o cliente informa no painel *touchscreen* o número de sua unidade consumidora e seleciona

Máquina Autônoma de Coleta e Tratamento de Resíduos Recicláveis para o Programa Ecoelce (PD-0039-0026/2010); COELCE; Executores: NUNES e NERI, PC4; 2010-2012; Investimento: R\$1.063.646,00.

<sup>1</sup> Coelce (e-mail: odailton@coelce.com.br).

<sup>2</sup> Nunes e Neri (e-mail: anfrimar@hotmail.com).

<sup>3</sup> PC4 (e-mail: caue@pc4.com.br).



Figura 1. Interface do Auto Ecoelce.



Figura 3. Auto Ecoelce instalado na sede da Coelce.



Figura 2. Utilização do Auto Ecoelce na recepção de resíduos.



Figura 4. Auto Ecoelce instalado na sede do Sebrae/CE.

o tipo de resíduo que irá depositar. A máquina habilita, então, a entrega do resíduo do compartimento apropriado.

Depois de finalizada a operação, o conjunto de sensores identifica o material coletado e verifica sua compatibilidade com a informação dada pelo cliente. Caso haja divergência, a máquina devolve o resíduo e informa o motivo da não recepção. Do contrário, procede-se à pesagem do material, ao cálculo do valor do bônus, ao envio do crédito via GPRS à área de faturamento da Coelce e ao transporte do resíduo para o recipiente apropriado na máquina. O valor do bônus pode ainda ser doado para instituição beneficente caso o cliente assim desejar.

### III. INSTALAÇÃO EM CAMPO

A instalação em campo do Auto Ecoelce foi efetuada em três etapas. Inicialmente, foi construído um protótipo experimental para testes de bancada. Nesta fase, corrigiram-se diversos problemas de sensoriamento e movimentação das partes mecânicas da máquina. Em seguida, foi construída uma unidade piloto, instalada na sede da Coelce para uso entre os funcionários da empresa. Nesta fase de operação assistida, foram corrigidas falhas de identificação de materiais, robustez a fraudes e integração do equipamento ao sistema de gerenciamento do Programa Ecoelce.

O equipamento foi testado durante três meses, possibilitando a identificação de melhorias no hardware e no software. A partir de então, foi construído um segundo protótipo funcional para instalação em campo, atendendo a clientes residentes no bairro Iracema, área nobre de Fortaleza. A área para instalação

do equipamento foi cedida mediante parceria com o Sebrae/CE. O protótipo instalado se encontra atualmente em operação e atende a clientes de classes sociais distintas, recebendo boa aceitação do público.

### IV. CONCLUSÕES

O Auto Ecoelce é uma inovação por possibilitar o redesenho do Ecoelce através de um sistema de simples replicação para diversos locais, disponibilizando mais opções de pontos de coleta de resíduos recicláveis, operando de forma autônoma e com menor custo do que a implantação de ponto fixo convencional.

A máquina proposta processa vários tipos de resíduos recicláveis, criando e validando o conceito de autosserviço para a reciclagem urbana. Engloba tudo o que é necessário no processo Ecoelce e ainda é gerenciada online por um sistema que permite gerar relatórios de quantidade de resíduos por máquina, tipos de resíduos recebidos e transações efetivadas.

Dentro dessa aplicação de reciclagem urbana por autosserviço, a Coelce tem como perspectiva implementar em 2013 mais 15 unidades do Auto Ecoelce, distribuídas em escolas, unidades governamentais, shopping centers e supermercados. Esta expansão está prevista numa fase de cabeça de série, na qual o aprendizado acumulado durante o desenvolvimento possibilitará melhorias de interatividade, redução de custo de componentes elétricos e eletrônicos e produção de dispositivos mecânicos de forma industrial.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CALDERONI, Sabetai. Os bilhões perdidos no lixo. São Paulo: Humanitas Editora/FFLCH/USP, 1998.



COELCE

## Religador automático evita desarme de chave fusível após problema temporário

Amplamente utilizada na distribuição de energia elétrica, em linhas de a chave fusível apresenta uma fragilidade: sempre que é acionada, precisa ser religada por pessoal especializado, ainda que o defeito tenha sido transitório – o que ocorre em 90% dos casos. Empenhada em resolver a questão, a Companhia Energética do Ceará (Coelce) elaborou um produto cabeça de série de um religador automático para chave fusível, aplicável a linhas de 13,8 quilovolts (kV), que não demanda obras adicionais nem a substituição urgente dos componentes após a utilização. O equipamento foi considerado tão pertinente que sua criação resultou em um depósito de patente no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI).

O dispositivo eletromecânico utiliza dois fusíveis por fase em uma mesma chave fusível, colocados em cartuchos porta-fusíveis convencionais. Quando uma falta provoca o rompimento do primeiro elo-fusível, é acionado um dispositivo de temporização, com intervalo ajustável entre dois segundos e um minuto. Após esse período, o segundo elo-fusível é acionado – o suficiente para restabelecer o fornecimento caso o problema seja temporário. Se o defeito for permanente, o segundo elo-fusível será queimado e os cartuchos porta-fusíveis se desprenderão da parte superior da chave-fusível, indicando que o circuito foi aberto.

O equipamento demonstrou confiabilidade durante os testes de ensaio de tensão aplicada e de curto-circuito temporário e permanente. Os pesquisadores julgam ter chegado a uma solução eficiente e de baixo custo.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética do Ceará (Coelce)

Título: Cabeça de série da chave fusível com religamento automático

Ano: 2010

Investimento: R\$1.093.600,28

Execução: Instituto Federal do Ceará e ACC Tecnologia

# Cabeça de série da chave fusível com religamento automático

Antonio Themoteo Varela<sup>1</sup>, André Luiz Carneiro de Araújo<sup>1</sup>, Valdiberto Carvalho de Castro<sup>2</sup> e Eudes Barbosa de Medeiros<sup>3</sup>

**Resumo** – A chave fusível é atualmente um dispositivo amplamente utilizado no sistema de distribuição de energia elétrica. Um inconveniente deste equipamento é a necessidade do deslocamento de pessoal para efetuar seu religamento, mesmo quando o evento que ocasionou sua atuação tenha sido transitório. Este trabalho descreve o desenvolvimento do cabeça de série do religador automático para chave fusível, apresentando as modificações que foram realizadas durante esta fase da implementação do plano piloto.

**Palavras-chave** – Chave fusível, religamento automático

**Abstract** – The switch fuse is currently a device widely used in the distribution system of electricity. One inconvenient of this equipment is the need to shift personnel to perform their reclosing, even when the event that caused his performance was transient. This paper describes the development of the serial head of the automatic reconstructor for the fuse switch, showing the changes that were made during this phase of the implementation of the master plan.

**Keyword** – Fuse switch, automatic re-connection.

## I. INTRODUÇÃO

Estudos estatísticos mostram que cerca de 90% dos defeitos ocorridos em alimentadores são transitórios. Por conta disso, a utilização de dispositivos dotados de religamento automático oferece ganhos significativos ao sistema de distribuição de energia, com consequente ganho nos índices de qualidade.

A busca de uma solução de fácil adaptação à estrutura física no sistema e à recomposição automática foi a motivação para o desenvolvimento deste projeto. A prototipagem realizada no Programa de P&D da Coelce – Ciclo 1998/1999, validou a aplicação da solução proposta, com vantagens técnicas e econômicas para as soluções convencionais existentes.

A chave fusível proposta inova com a inserção de religamento automático sem necessidade de obras adicionais para sua instalação, e incorpora dispositivo de temporização para ajustar o intervalo de religamento entre dois segundos e um minuto. A inserção deste dispositivo de temporização proporciona maior segurança no momento do religamento, haja vista que a maioria das falhas transitórias recompõe-se espontaneamente. O equipamento resultou em depósito de patente junto ao INPI.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A chave fusível é um dispositivo de proteção já bastante difundido, mas apresenta o inconveniente de precisar ter seu cartucho trocado em caso de operação. No sistema proposto neste projeto, o cartucho fusível continuará em utilização, sendo usados dois por chave.

Durante o início do projeto, foi pesquisado e desenvolvido um dispositivo eletromecânico que utiliza dois fusíveis por fase em uma mesma chave fusível (Figura 1). Estes fusíveis são colocados em cartuchos porta-fusíveis convencionais. Quando da ocorrência de uma falta que provoque o rompimento do primeiro elo-fusível, é acionado um dispositivo de temporização, que dura em média 30 segundos. Após esse intervalo de tempo, um segundo elo-fusível é acionado, restabelecendo o sistema. Se o defeito for transitório, haverá o restabelecimento do circuito. Se o defeito for permanente, haverá a queima do segundo elo-fusível e os cartuchos porta-fusíveis se desprenderão da parte superior da chave-fusível, indicando que o circuito foi aberto.

Na Figura 2, pode ser observado um diagrama demonstrativo da chave em funcionamento normal (com o segundo elo fusível aberto) e após a ocorrência do defeito transitório. Observa-se que o sistema continua em operação mesmo na ocorrência de uma falha transitória. Caso se trate de uma ocorrência permanente, o segundo elo se romperá e o sistema será desligado.

## III. ENSAIOS REALIZADOS

### A. Ensaio de tensão aplicada

O equipamento foi submetido a tensão nominal de 15 kV durante cinco minutos sem os fusíveis, não apresentando fuga, conforme estabelece as normas aplicáveis.

### B. Ensaio de curto-circuito I

O equipamento foi submetido ao teste de corrente cujo valor foi superior 20 vezes à corrente nominal dos fusíveis 5K, 6K e 10K. Foi realizada primeiramente a simulação da queima do primeiro elo-fusível e o defeito foi normalizado. Nesse ensaio, após a abertura do primeiro elo-fusível, a chave religou automaticamente após 30 segundos, aceitando a corrente nominal do fusível especificada para o segundo cartucho (simulação de defeito temporário).

Cabeça de Série da Chave Fusível com Religamento Automático (PD-0039-0004/2009); CO-ELCE; Executores: IFCE e ACC; 2010-2012; Investimento: R\$1.093.600,28.

<sup>1</sup>Instituto Federal do Ceará (e-mails: themoteo@ifce.edu.br, andre Luiz@ifce.edu.br).

<sup>2</sup>ACC Tecnologia (e-mail: v.castro@hotmail.com).

<sup>3</sup>Coelce (email: eudes@coelce.com.br).

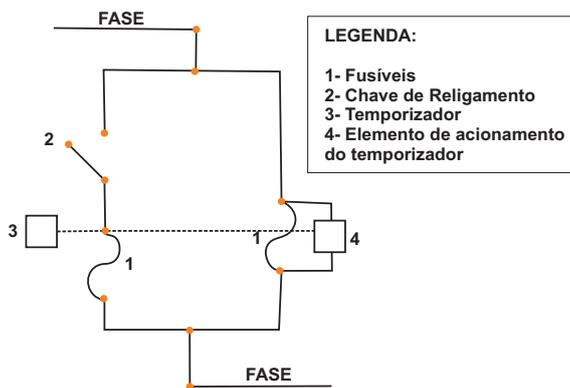


Figura 1. Diagrama esquemático da operação do protótipo.



Figura 2.

Figura 2. Protótipo em operação normal (à esquerda) e após a ocorrência de defeito transitório (à direita).

Figura 3. Cabeça de série da chave fusível com religamento



Figura 3.

### C. Ensaio de curto-circuito II

Em seguida, foi simulado um defeito permanente. Houve o rompimento do primeiro elo-fusível e a chave fez o religamento automático após 30 segundos. Ocorreu então o rompimento do segundo elo-fusível, com o desprendimento dos cartuchos da parte superior da chave fusível, indicando que o defeito foi permanente. Destaca-se que tais ensaios foram realizados no laboratório do CEPEL.

### IV. MELHORIAS NO CABEÇA DE SÉRIE

Os estudos das normas apontaram para a necessidade de algumas alterações no protótipo inicial. A primeira seria a troca do cartucho porta-fusível confeccionado em resina fenólica por um à base de fibra de vidro.

Para verificar a consistência dos materiais utilizados com as normas, foram realizados alguns testes. Inicialmente, foram realizados testes de manuseio mecânico, inserção dos cartuchos e aplicação de tensão elétrica. O protótipo também foi submetido a esforços mecânicos compatíveis com seu uso rotineiro, bem como a testes de exaustão. Durante os testes, foi observado um comprometimento da liga de bronze fundida. Desta forma, foram confeccionadas novas chaves com ferragens de bronze fosforoso, que aponta para uma maior resistência, principalmente em aplicações que necessitam do efeito mola, como é o caso.

Foram realizados testes de rearme com aplicação de tensão até 15 kV. Estes testes demonstraram o bom funcionamento do GAP como elemento de rearme, mas existe o inconveniente de o mesmo ser projetado para o ambiente e resultar em uma pequena poluição, uma vez que seu material é de longa duração. Assim, o modelo do GAP foi revisto e foi implementada uma nova forma de rearme, que não apresenta um resíduo para o ambiente.

Para solucionar esse problema, foi pesquisada uma forma de desenvolver um dispositivo responsável pelo religamento que ficasse confinado em uma câmara hermética, evitando que os resíduos fossem lançados para o ambiente. Essa câmara foi confeccionada em resina e trouxe ainda a vantagem de evitar que os agentes poluentes oxidem seus contatos, dando mais confiabilidade ao equipamento e, ao mesmo tempo, prolongando sua vida útil. A Figura 3 apresenta a nova versão da chave desenvolvida na fase de cabeça de série.

### V. CONCLUSÕES

Com os aperfeiçoamentos realizados durante a fase inicial do projeto de cabeça de série, foi possível definir a forma final de produção para instalação em campo. Os ensaios realizados mostraram ótima confiabilidade, tornando a chave proposta uma solução bastante eficiente e de baixo custo para resolver problemas de desligamentos por falhas temporárias na linha de 13,8 kV.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MASON, C. Russel. El arte y la ciencia de la proteccion por relevadores. México, D.F.: Ed. C.E.C.S.A., 1978. 6ª ed.
- [2] GIGUER, Sérgio. Proteção de sistemas de distribuição. Porto Alegre: Sagra, 1988. 1ª ed.
- [3] ELETROBRÁS. Coleção distribuição de energia elétrica, Vol. 2. Proteção de sistemas aéreos de distribuição. Rio de Janeiro: Campus, 1982. 1ª ed.
- [4] ROBBIA, Ernesto João. Introdução a sistemas elétricos de potência: componentes simétricas. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.
- [5] STEVENSON JR., William D. Elementos de análise de sistemas de potência. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1976. - 2ª impressão.



COELCE

## Dispositivo em radiofrequência verifica o uso de equipamentos de proteção

A Companhia Energética do Ceará (Coelce), em parceria com a Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, lançou mão da tecnologia para assegurar que seus técnicos utilizam corretamente os equipamentos de proteção individual (EPI). Por meio de recursos de radiofrequência (Radio Frequency Identification – RFID), a concessionária fiscaliza as operações em campo e informa ao usuário a ausência ou o uso inadequado de equipamento, por meio de sinais de alerta. O sistema elaborado pelos pesquisadores controla também o uso de equipamentos de proteção coletiva (EPC) e de ferramentas consideradas vitais para a segurança.

Cada equipamento de proteção ou ferramenta é dotado de uma tag de radiofrequência com um código de identificação único, e o sistema inspeciona o uso deles em dois momentos. No primeiro, a verificação é feita por um leitor portátil, no ato de liberação da viatura para trabalhos de campo. No segundo, um módulo leitor de radiofrequência desenvolvido no projeto identifica os equipamentos no corpo do técnico. Tal módulo, com interface de comunicação sem fio via Bluetooth, pode ser configurado por um Personal Digital Assistant (PDA) ou um telefone celular. As informações de uso dos equipamentos são controladas por software e armazenadas.

Testes em Fortaleza (CE) comprovaram a eficácia da inspeção e a boa aceitação das equipes de campo. Futuramente, a Coelce pretende aprimorar a geração de relatórios e de indicadores, como o levantamento da vida útil dos equipamentos de proteção.

### Ficha técnica

Empresa: Companhia Energética do Ceará (Coelce)

Título: Sistema de verificação do uso de equipamentos de proteção individual em trabalhos de campo

Ano: 2010

Investimento: R\$ 785.695,95

Execução: Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações

# Sistema de verificação do uso de equipamentos de proteção individual em trabalhos de campo

Alberto L. Pacifico<sup>1</sup>, Harley Albuquerque<sup>2</sup>, Leandro R. Sergio<sup>1</sup>, Michel H. Alves<sup>1</sup>, Mike K. Nobre<sup>2</sup>, Paulo B. Ribeiro<sup>1</sup>, Ricardo H. Minoda

**Resumo** – Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma solução eficiente para a realização da verificação do uso de equipamentos de proteção em trabalhos de campo, através de um projeto de P&D entre a Fundação CPqD [1] e a Coelce [2]. Trata-se de uma ferramenta de monitoração aplicada na supervisão e na fiscalização das operações em campo, que, através da tecnologia Radio Frequency Identification (RFID), informa ao usuário a ausência ou o uso inadequado de equipamento de proteção por meio de sinais de alerta. A descrição funcional da solução, a sua implementação e os testes em campo com as equipes da concessionária são apresentados neste artigo.

**Palavras-chave** – Equipamentos de proteção, radiofrequência, RFID, segurança do trabalho.

**Abstract** – This paper presents the development of an efficient solution to perform the verification of the use of protective equipment for field work through a R&D project between Foundation CPqD [1] and Coelce [2]. It is a monitoring tool applied in the supervision and oversight of field operations, through which Radio Frequency Identification (RFID) tells the user the absence or inadequate use of protective equipment by means of warning signs. The functional description of the solution, its implementation and field testing with the dealer's teams are presented in this article.

**Keyword** – Protective Equipment, radiofrequency, RFID, labor safety.

## I. INTRODUÇÃO

A preocupação com o tema “segurança do trabalho” é global entre empresas, concessionárias, prestadoras de serviço, órgãos reguladores do setor elétrico e instituições de P&D, devido ao desenvolvimento de atividades que envolvem altos níveis de periculosidade.

Nessa esfera, uma visibilidade maior e a possibilidade da gestão da utilização dos equipamentos de proteção em trabalhos de campo podem afetar consideravelmente processos, planejamentos, resultados e até mesmo a imagem da empresa.

Nesses termos, a solução desenvolvida buscou atender, de forma preventiva, as necessidades de verificação do uso de equipamentos de proteção em trabalhos de campo.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Descrição funcional da solução

A princípio, a solução seria aplicada em operações realizadas em situações em que se exige o uso de EPI's e exista a necessidade da gestão da utilização destes. Porém, devido ao potencial vislumbrado para o sistema, este foi preparado também para o controle de EPC's (equipamentos de proteção coletiva) e de algumas ferramentas vitais para a segurança durante as atividades em campo.

O objetivo principal do sistema é alertar ao usuário em caso de inconsistências entre a lista obrigatória de itens (equipamentos de proteção e ferramentas) relacionados a cada ordem de trabalho e os itens carregados na viatura ou utilizados no momento da verificação.

A arquitetura do sistema (Figura 1) apresenta a verificação de itens de duas formas ou níveis de inspeção, utilizando a tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID):

- Verificação veicular: primeiro nível de verificação dos EPI's, dos EPC's e das ferramentas, realizada no momento da liberação da viatura para exercer trabalhos de campo;
- Verificação em campo: segundo nível de verificação, realizada somente para os EPI's presentes no corpo do usuário.

A fim de possibilitar a realização das verificações, cada equipamento de proteção ou ferramenta é dotado de uma tag RFID UHF Class1 Gen2 (RFID passivo) [3], que opera na faixa de frequência de 900 megahertz (MHz) e possui um código de identificação único.

A leitura e a identificação de cada item na verificação veicular são realizadas por um leitor portátil (handheld), enquanto que, na verificação em campo, são realizadas por um módulo leitor RFID UHF Class1 Gen2, desenvolvido no projeto, conectado a antenas desenvolvidas especificamente para confinar o sinal de leitura próximo ao corpo do usuário. Sua utilização é demonstrada na Figura 4.

O módulo leitor desenvolvido é portátil, alimentado com baterias e possui interface de comunicação sem fio via Bluetooth, o que permite ser configurado e comandado por dispositivo externo. No caso deste projeto, o controle é realizado através de um Personal Digital Assistant (PDA) / telefone celular.

Sistema de Verificação do Uso de Equipamentos de Proteção Individual em Trabalhos de Campo (PD-0039-0019/2010); COELCE; Executor: CPqD; 2010-2012; Investimento: R\$785.695,95.

1 Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (e-mails: albertol@cpqd.com.br; lsergio@cpqd.com.br; mhalves@cpqd.com.br; pborges@cpqd.com.br; rminoda@cpqd.com.br).

2 COELCE – Companhia Energética do Ceará (e-mail: harley.albuquerque@endesa.es; mi-kenobre@endesabr.com.br).

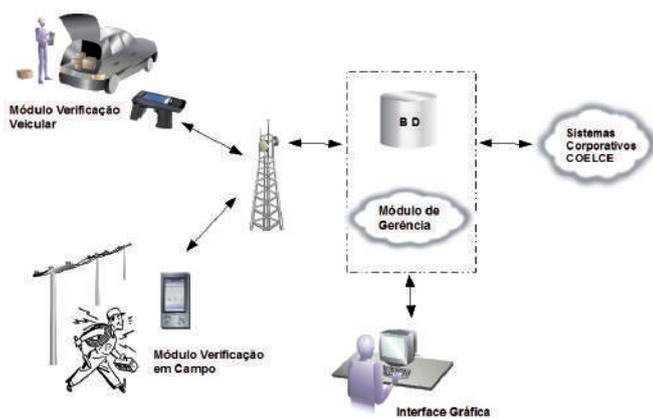


Figura 1. Cabeça de série da chave fusível com religamento



Figura 2. Interface do módulo de gerência.

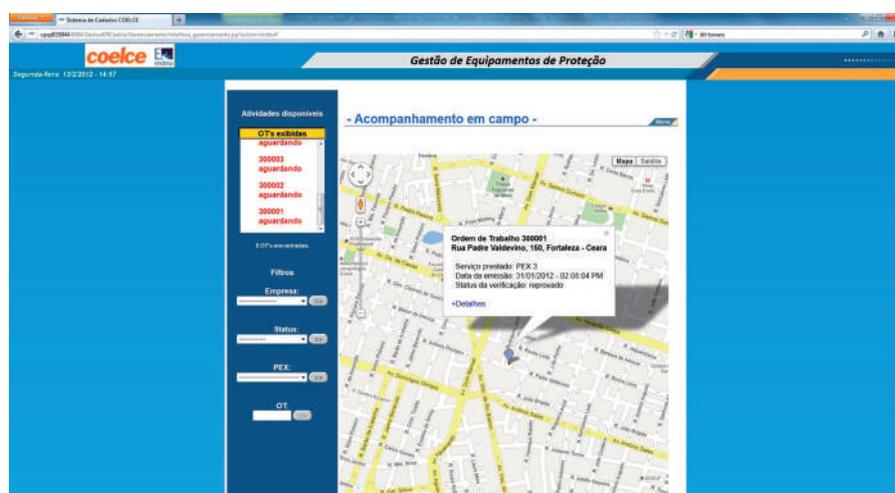


Figura 3. Interface acompanhamento OT's em campo.



Figura 4. Testes em campo com equipes da concessionária.

As informações para a configuração tanto do *handheld* quanto do módulo leitor RFID são geradas e controladas por um software de gerência denominado “Sistema de Gestão de Equipamentos de Proteção”. Em contrapartida, as informações coletadas nas verificações são armazenadas no banco de dados do sistema.

Este sistema possui interação com sistemas corporativos da Coelce para o provimento de informações no seu banco de dados.

Através desta arquitetura, foi possível atingir uma maior visibilidade da utilização dos equipamentos de proteção e das ferramentas, promovendo tomadas de decisões mais rápidas dos responsáveis da área de Segurança do Trabalho da Coelce.

## B. Implementação da solução

A implementação do sistema envolveu desenvolvimentos de hardware e software, sendo estes detalhados nos itens a seguir:

- Módulo leitor RFID: dimensionamento e desenvolvimento de hardware baseado em testes funcionais e de desempenho, realizados em kit de desenvolvimento;

- Antena específica: desenvolvimento de hardware baseado em ferramenta de simulação computacional, utilizando métodos numéricos de propagação de campo;

- Sistema de gestão: interface web desenvolvida em multilínguas de programação incluindo Java, JSP, Servlets, Javascript, entre outras;

- Aplicativos embarcados em handhelds e PDA's: interfaces desenvolvidas em linguagem de programação C#.

## C. Testes em campo

A avaliação efetiva do potencial de aplicação da solução proveniente deste projeto foi realizada em teste piloto em Fortaleza (CE) com participação de colaboradores da Coelce. As equipes de campo utilizaram o sistema durante suas atividades normais de trabalho, gerando assim indicadores de efetividade do sistema.

Durante os testes de campo, os colaboradores foram treinados para que pudessem: explorar todas as funcionalidades da solução; opinar sobre o nível de dificuldade de sua utilização; e propor melhorias a serem implementadas em projeto futuro.

## III. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um sistema de verificação de uso de equipamentos de proteção e seu conceito atendem a demanda de empresas de diversos setores que desempenham atividades em cenários de alta periculosidade. Este sistema tornou-se não apenas uma ferramenta de segurança do trabalho, mas também uma ferramenta de planejamento estratégico para as empresas com relação a questões financeiras e legais.

Os testes em campo demonstraram que a solução desenvolvida foi eficaz na verificação do uso dos equipamentos de proteção e que agregou à política de segurança da concessionária Coelce, tendo boa aceitação das equipes de campo e reforçando aos envolvidos os cuidados necessários em cada tipo de operação.

Devido à arquitetura do sistema, a qual permite a coleta e a armazenagem de diversas informações relativas às operações em campo, propõem-se algumas evoluções para enriquecê-lo evoluí-lo – por exemplo, a geração de relatórios em modelos gerenciais ou estatísticos das operações em campo e a geração de indicadores exclusivos, como o de ciclo de vida útil dos equipamentos de proteção. Estas evoluções serão tratadas com a Coelce em um projeto futuro.

---

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Fundação CPQD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. [Online]. Disponível em: <http://www.cpqd.com.br>. Último acesso em 01/04/2013.

[2] Companhia Energética do Ceará – Coelce. [Online]. Disponível em: <http://www.coelce.com.br>. Último acesso em 01/04/2013.

[3] ISO/IEC 18000-6C - Information technology - Radio frequency identification for item management - Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz. Jun.2006.



DMED

## Sensores em fibra óptica ajudam a prevenir o rompimento de barragens

Uma iniciativa da DME Distribuição (DMED), com a Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, pesquisou o uso da fibra óptica para o monitoramento de barragens de terra e a prevenção de possíveis rompimentos. O projeto estruturou um sistema de sensores capaz de oferecer, remotamente, dados em tempo real sobre o nível de água na barragem sob análise.

O monitoramento de barragem por fibra óptica se dá pela medição da intensidade de pulsos ópticos temporais refletidos, ou Optical Time Division Reflectometry (OTDR). O subsistema desenvolvido é composto pelo medidor OTDR desenvolvido no projeto, por um divisor óptico e por um cabo de 12 fibras ópticas, instalado ao longo da barragem. Enviados para os sensores ópticos pelo medidor OTDR, os pulsos ópticos são refletidos pelos sensores, instalados dentro dos tubos de coluna d'água ao longo da barragem. O sinal de retorno dos sensores é atenuado à medida que aumenta o nível de pressão sobre eles, ou seja, quanto maior for a altura da coluna de água acima dos sensores. A curva de resposta de atenuação é registrada em um software que permite o monitoramento.

O teste de campo foi realizado na Barragem do Cipó, em Minas Gerais, com envio dos sinais via rádio por 20 quilômetros até a sede da DMED, em Poços das Caldas (MG). De acordo com os pesquisadores, o sistema de monitoramento óptico apresentou estabilidade e precisão, permitindo um acompanhamento remoto e eficiente do estado da barragem.

### Ficha técnica

Empresa: DME Distribuição (DMED)

Título: Sistema de monitoramento de barragens de terra

Ano: 2010

Investimento: R\$ 811.810,00

Execução: Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações

# Sistema de monitoramento de barragens de terra usando tecnologia de fibras ópticas

Marcelo D. Loichate, Anderson S. Durelli<sup>1</sup>, João B. Rosolem, Danilo C. Dini, Rivaél S. Penze, Livia R. Alves, Claudio Florida, Ariovaldo A. Leonardi, Eduardo F. da Costa, Cláudio A. Hortencio<sup>2</sup>

**Resumo** – Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de parâmetros físicos de barragens de terra. Neste desenvolvimento, foram pesquisadas e desenvolvidas técnicas de sensoriamento baseadas na tecnologia de fibras ópticas, que apresentam grandes vantagens para esta aplicação, tais como simplicidade, imunidade a descargas atmosféricas devido a sua passividade elétrica e capacidade de formar uma rede de sensores distribuídos. O sistema possibilitará uma redução dos riscos de rompimento, por fornecer dados antecipados e em tempo real do estado das barragens.

**Palavras-chave** – Barragens, percolação, fibras ópticas, sensores ópticos, curvatura de fibras.

**Abstract** – This paper describes the development of a system for monitoring physical parameters of earth dams. In this development, sensing techniques have been researched and developed based on optical fiber technology, which has great advantages for this application, such as simplicity, immunity to lightning due to their electrical passivity and ability to form a network of distributed sensors. The system will allow a reduction of the risk of disruption by providing advance data and real-time status of the dams.

**Keyword** – Dams, percolation, optical fibers, optical sensors, bending of fibers.

## I. INTRODUÇÃO

O objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real para aplicações na monitoração de parâmetros físicos de barragens de terra. A monitoração de barragens possui papel importante durante todo o período de operação das barragens [1].

Para realizar este objetivo foram pesquisadas e desenvolvidas técnicas de sensoriamento baseadas na tecnologia de sensores de fibras ópticas, que apresentam grandes vantagens para esta aplicação, tais como simplicidade, imunidade a descargas atmosféricas devido a sua passividade elétrica e capacidade formar uma rede de sensores distribuídos.

## II. SISTEMA DE MONITORAMENTO DE BARRAGENS DE TERRA

O sistema de monitoramento de barragens de terra proposto é composto por vários tipos de sensores, mas o principal deles é o subsistema de sensoriamento óptico, que é a inovação deste projeto. Esses sensores irão monitorar o nível de água nos tubos piezométricos e também na barragem. Um diagrama simplificado do sistema de monitoramento de barragens de terra desenvolvido para a DMED (Departamento Municipal de Eletricidade – Distribuição) pelo CPqD é mostrado na Figura 1. O sinal de saída Ethernet do sistema de sensoriamento é transmitido da Barragem do Cipó para a sede da DMED em Poços da Caldas (MG) via rádio.

O subsistema de sensoriamento óptico para monitoramento de barragens de terra é baseado na medição da intensidade de pulsos ópticos temporais refletidos, técnica esta conhecida como Optical Time Division Reflectometry (OTDR). Estes pulsos são enviados para os sensores ópticos pelo equipamento OTDR e refletidos pelos sensores. A pressão da água atua dentro de cada sensor fazendo com que um anel de fibras ópticas seja curvado, provocando atenuação do sinal.

O esquema do subsistema de sensoriamento óptico desenvolvido é mostrado na Figura 2. O subsistema é composto pelo OTDR desenvolvido no projeto, que opera no comprimento de onda de 1310 nanômetros (nm), por um divisor óptico (splitter) e por um cabo de 12 fibras ópticas que foi instalado ao longo da barragem. No subsistema desenvolvido, foram testados sete sensores, mas o subsistema permite a monitoração de até 32 sensores separados por, no mínimo, 25 metros.

O sinal de retorno dos sensores é detectado no equipamento OTDR (Figura 3) por um receptor óptico. Este sinal, uma vez detectado, é amplificado e levado a um módulo osciloscópio que processa o sinal com as informações de amplitude de cada sensor (Figura 4). Como cada sensor ocupa uma posição espacial diferente entre si, no osciloscópio é possível observar individualmente o pulso de reflexão de cada sensor.

A concepção final do sensor óptico de curvatura é ilustrada na Figura 5. O sensor opera dentro dos tubos de coluna d'água instalados ao longo da barragem. O sensor é constituído basicamente de algumas voltas de fibra óptica monomodo. A amplitude da reflexão detectada no OTDR está relacionada com o nível de pressão exercida sobre o sensor e, portanto, com a altura da coluna de água acima do sensor. Quando se tem fibras ópticas enroladas com raio de curvaturas além de um raio crítico, a potência óptica é fortemente reduzida. A faixa de operação dos

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Sistema de Monitoramento de Barragens de Terra, código de identificação ANEEL PD-0051-0000/2010'; 'Proponente: DMED'; 'Executora: Fundação CPqD'; 'ciclo no qual o projeto foi aprovado e executado'; 'Investimento (R\$ 811.810,00)'.  
1 'DME Distribuição' (e-mails: mloichate@dme-pc.com.br).

2 'Fundação CPqD' (rosolem@cpqd.com.br).

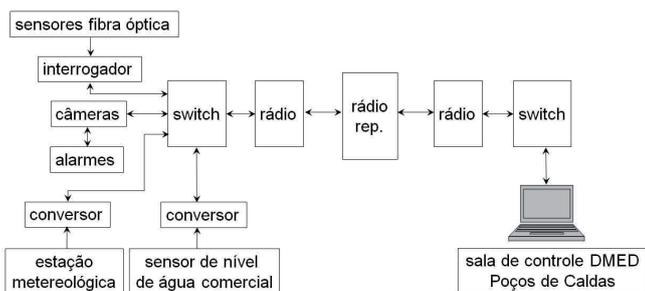


Figura 1. Diagrama do sistema de monitoramento de barragens de terra.

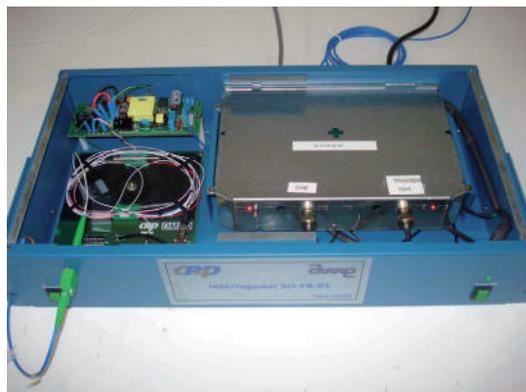


Figura 3. Interrogador OTDR do sistema de sensoriamento.

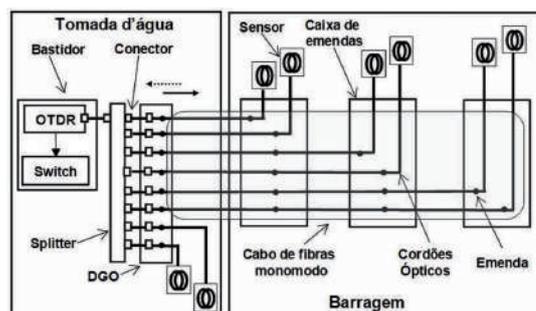


Figura 2. Diagrama do subsistema óptico de monitoramento de barragens de terra.

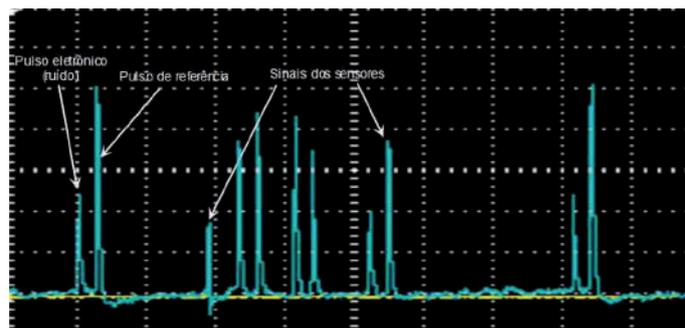


Figura 4. Sinais dos sensores ópticos medidos pelo OTDR.

sensores é de 0 até 15 metros de profundidade, podendo ser adaptados para outras faixas mudando-se a membrana que separa o sensor da água.

### III. RESULTADOS DOS TESTES LABORATORIAIS

Para testar o sensor óptico em condições reais de operação, foi utilizado um tubo com água similar ao que é utilizado nas barragens de terra. Diversas configurações de sensores foram testadas exaustivamente nesse tubo.

O principal parâmetro avaliado foi a reflexão ou a perda de retorno em função do comprimento de onda de operação, do tipo e as dimensões da membrana elastomérica e do número de voltas (V) do anel de fibras do sensor. Na Figura 6, são apresentados alguns resultados destes testes.

Cada sensor tem uma curva de resposta de atenuação (variação da perda de retorno) em relação à altura de água na qual se encontra (Figura 7). Esta curva é carregada no software de aquisição de dados, que converte os valores lidos de atenuação para altura de água.

### IV. RESULTADOS DA OPERAÇÃO EM CAMPO

No teste de campo, os sensores ópticos foram instalados dentro dos tubos piezômetros ao longo da barragem (Figuras

8(a) e (b)) e um no fundo do lago, próximo à estrutura de tomada d'água da barragem (Figura 8(c)). O interrogador OTDR e outros equipamentos foram instalados na casa de abrigo de equipamentos da tomada d'água da barragem (Figura 9).

Os resultados de altura de água na barragem dos sensores ópticos e de um comercial, até a finalização deste artigo, são mostrados no gráfico da Figura 10.

A Figura 11 mostra a tela principal do software desenvolvido em LabView. Os dados dos sensores ópticos e dos outros sensores auxiliares (não mostrados) são integrados na mesma plataforma de aquisição de dados.

### V. CONCLUSÕES

O sistema de monitoramento óptico para barragens de terra apresenta robustez, estabilidade e precisão compatíveis com as necessidades do projeto. Os sensores ópticos substituem as medições manuais feitas na barragem, que eram realizadas com baixa frequência. As medições são feitas agora em tempo real e remotamente, o que permite um acompanhamento muito eficiente do estado da barragem.

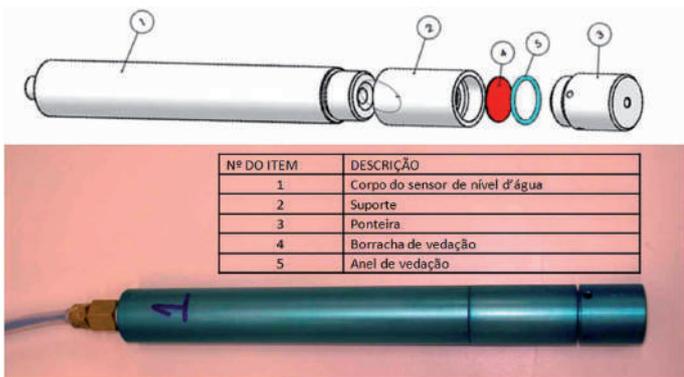


Figura 5. Representação esquemática do sensor óptico e uma foto de um protótipo.

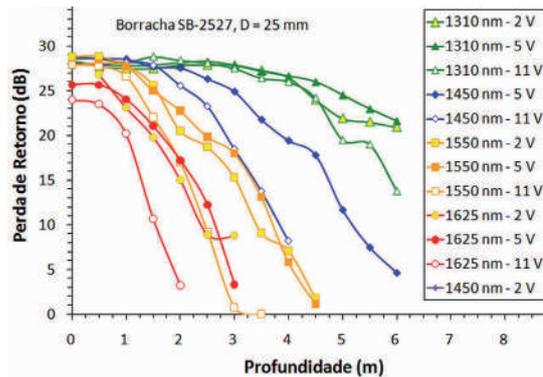


Figura 6. Resultados de testes no sensor óptico de nível de água em laboratório.

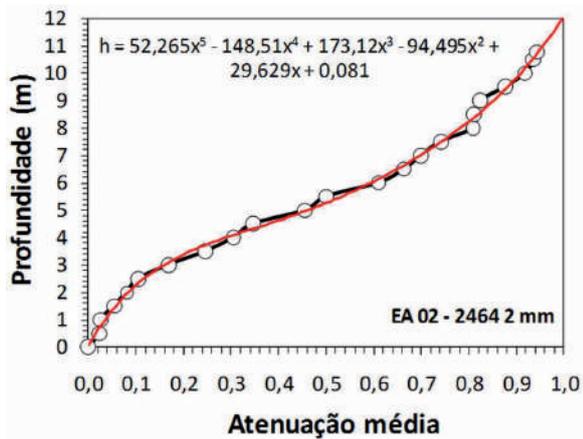


Figura 7. Curva de resposta de atenuação de um sensor em relação à altura de água.



(a)



(b)

(c)

Figura 8. (a) Instalação dos sensores na barragem do Cipó, (b) pontos de instalação dos sensores na barragem e (c) no lago da barragem.



Figura 9. Interrogador OTDR e outros equipamentos instalados na tomada d'água da barragem.



Figura 11. Tela principal do software do sistema de monitoramento de barragens de terra.

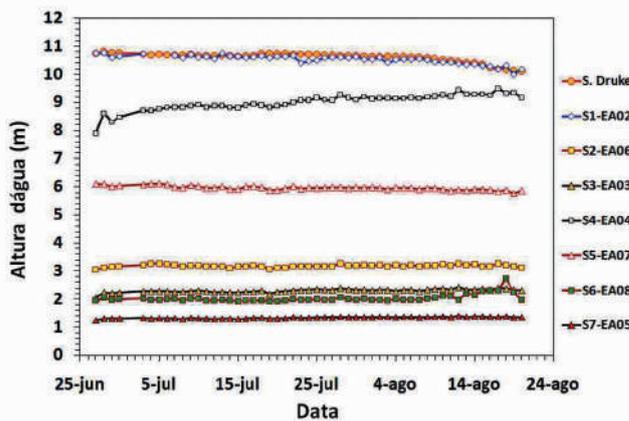


Figura 10. Gráfico mostrando os resultados de medição de altura d'água.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CASTRO, Leandro Vida Pinheiros de. "Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alterada a montante". Tese de Mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2008.



# EDP BANDEIRANTE

## Metodologia ODIN é alternativa para o planejamento da operação energética

O planejamento de despachos e de mobilização dos recursos energéticos do Sistema Interligado Nacional (SIN) demanda uma série de cálculos complexos, com o objetivo de encontrar a máxima eficiência no aproveitamento. O Operador Nacional do Sistema (ONS) inicia a cadeia de análise por meio do modelo NEWAVE, um método baseado em programação dinâmica dual estocástica (PDDE), com resultados individualizados determinados pelo modelo SUISHI-O. Um projeto da EDP Bandeirante, em parceria com a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), propõe uma nova abordagem de planejamento, por meio de um modelo de controle preditivo (MCP), que concilia métodos de otimização determinísticos e modelos de previsão de vazões.

Denominada metodologia ODIN, a alternativa apresentada considera a atribuição de valores previstos às vazões, possibilitando a obtenção da melhor solução possível a partir de um modelo de otimização determinístico não linear a usinas individualizadas. Para avaliar a performance do ODIN, os pesquisadores o utilizaram para a análise dos dados referentes ao Programa Mensal de Operação Energética (PMO) de março de 2011, considerando simulações em 74 cenários hidrológicos históricos.

Em comparação com a abordagem NEWAVE-SUISHI, a simulação do planejamento com a metodologia ODIN demonstrou um custo esperado de operação 6,5% menor e deixou o SIN com 37,4% mais energia armazenada ao final de 58 meses. Os pesquisadores concluíram que o ODIN agrega à operação mais eficiência, segurança e modicidade tarifária que a metodologia em vigor.

### Ficha técnica

Empresa: EDP Bandeirante

Título: Modelo de otimização do despacho hidrotérmico

Ciclo: 2009

Investimento: R\$ 6.117.489,37

Execução: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

# ODIN: Metodologia para a otimização do despacho interligado nacional

Mônica S. Zambelli<sup>1</sup>, André E. Toscano<sup>1</sup>, Elma P. Santos<sup>1</sup>, Secundino Soares Filho<sup>1</sup>,  
Donato da Silva Filho<sup>2</sup> e Dyogenes Rosi<sup>2</sup>

**Resumo** – Este trabalho apresenta a metodologia ODIN para determinação do despacho hidrotérmico ótimo do Sistema Interligado Nacional (SIN). A metodologia baseia-se em um modelo de controle preditivo, no qual as decisões ótimas são determinadas por um modelo de otimização não linear determinístico a usinas individualizadas, considerando séries de vazões previstas. A avaliação da metodologia ODIN foi feita em um ambiente de simulação com cenários históricos de vazões para um horizonte de planejamento composto de 58 meses e um parque gerador dinâmico, conforme informado no deck de dados do PMO de março de 2011. Os resultados foram comparados àqueles fornecidos pela metodologia estocástica em vigor, o modelo NEWAVE, com resultados individualizados determinados pelo modelo SUISHI-O. A análise comparativa mostra que a abordagem proposta agrega à operação mais eficiência, segurança e modicidade tarifária.

**Palavras-chave** – Despacho hidrotérmico, ODIN, otimização, simulação, Sistema Interligado Nacional.

**Abstract** – This paper presents the ODIN methodology for determining the great hydrothermal dispatch of the National Interconnected System (SIN). The methodology is based on predictive control model, where optimal decisions are determined by a deterministic non-linear optimization model to individualized plants, considering the series of planned discharges. The assessment of the ODIN methodology was done in a simulation environment with historical streamflow scenarios for a planning horizon of 58 months and comprised a dynamic generating complex, as reported on the deck of the PMO data March 2011. The results were compared to those provided by stochastic methodology in place, the model NEWAVE, with results determined by the individualized model SUISHI-O. The comparative analysis shows that the proposed approach combines the operation more efficiency, safety and low tariffs.

**Keyword** – Hydrothermal dispatch, ODIN, optimization, simulation, National Interconnected System.

## I. INTRODUÇÃO

A abordagem atualmente em uso no Brasil para a otimização do planejamento da operação energética é constituída por uma cadeia de modelos [1] que se inicia com o modelo NEWAVE, um método baseado em Programação Dinâmica Dual Estocástica (PDDE) [2]. O método resolve o problema através da técnica de decomposição de Benders, buscando determinar estratégias ótimas para os subsistemas interligados, utilizando uma modelagem agregada das usinas hidrelétricas baseado em representação a sistema equivalente [3].

Como abordagem alternativa, métodos de otimização determinísticos têm sido propostos integrados a modelos de previsão de vazões, num esquema denominado modelo de controle preditivo (MCP)[4][5]. Com a hipótese de afluências determinísticas, o problema resultante pode ser formulado como um problema de otimização não linear e resolvido por algoritmos especializados.

Este trabalho apresenta o resultados do projeto de P&D estratégico “Modelo de Otimização do Despacho Hidrotérmico”, código ANEEL PE-0391-0108/2009, cujo objetivo foi implementar

e testar o modelo ODIN para a operação energética de médio prazo do SIN [6].

A avaliação do desempenho do modelo foi feita sobre um caso de estudo baseado no planejamento mensal da operação (PMO) de março de 2011, considerando simulações em 74 cenários hidrológicos históricos. Os resultados obtidos foram comparados com aqueles fornecidos pelo modelo NEWAVE, utilizando o modelo SUISHI-O para determinação da operação a usinas individualizada.

Na Seção II, descreve-se a metodologia proposta. Na Seção III, apresenta-se um caso de estudo com o deck do PMO de março de 2011. Finalmente, na Seção IV, resumem-se as principais contribuições do trabalho.

## II. METODOLOGIA

O modelo ODIN corresponde a uma política de malha aberta que resulta da atribuição de valores previstos às variáveis aleatórias (vazões) do problema, possibilitando a obtenção da solução ótima com um modelo de otimização determinístico não linear a usinas individualizadas [6]. Um esquema da simulação da operação baseada em MCP pode ser visto na Figura 1, para um dado estágio de tempo  $t$ .

Para cada estágio  $t$  de planejamento, o estado do sistema,  $x_{t-1}$ , é observado e utilizado como condição inicial para a resolução de um problema de otimização determinística, para um horizonte de otimização  $[t, T^*]$ . Essa otimização tem como base os valores

Projeto estratégico do Tema 1 intitulado “Modelo de Otimização do Despacho Hidrotérmico”, código ANEEL PE-0391-0108/2009, financiado pela proponente EDP Bandeirante e cooperadas EDP Escelsa, ENERPEIXE, CDSA, CGTF, BAESA, ENERCAN, CERAN, CPFL Piratininga, CPFL Paulista, RGE, DUKE, AES Tietê, AES Eletropaulo, AES Uruguaiana, CESP, CEMIG, TRACTEBEL e COPEL, e tendo como entidade executora a UNICAMP.

1M. Zambelli, A. Toscano, E. Pereira e S. Soares fazem parte da equipe executora (e-mails: monica (atoscano)(elma)(dino)@cose.fee.unicamp.br).

2D. da Silva Filho e D. Rosi representam a empresa proponente EDP (e-mail: (donato.filho)(dyogenes)@edpbr.com.br).

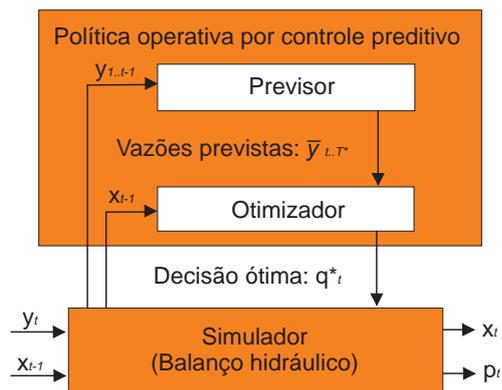


Figura 1. Diagrama esquemático do modelo ODIN.

esperados das vazões ao longo do horizonte de otimização, e apenas a turbinagem ótima do primeiro estágio,  $q^*_t$ , é selecionada para atuar no sistema.

Na etapa da simulação o balanço hidráulico é consistido à luz das vazões de simulação,  $y_t$ , sendo também verificado o atendimento às demais restrições operativas e o balanço energético de acordo com a geração hidráulica  $p_t$ .

No estágio seguinte,  $t+1$ , o novo estado de armazenamento do sistema,  $x_t$ , é observado, e a previsão das vazões é atualizada com base nas últimas informações disponíveis, ou seja, o volume atual dos reservatórios e a vazão do estágio anterior. Esse procedimento de previsão/otimização/atualização é repetido até o fim do horizonte de planejamento.

### III. ESTUDO DE CASO

O modelo ODIN proposto foi comparado ao modelo NEWA-VE desagregado pelo modelo SUIISHI-O para o deck de dados referente ao PMO de março de 2011 (NW201103). Nos itens seguintes, os resultados de simulação do planejamento segundo a metodologia ODIN serão apresentados sob a ótica do SIN, dos subsistemas e de algumas usinas hidrelétricas individualmente.

Na abordagem ODIN, foram consideradas previsões de vazões fornecidas por um modelo de redes neurais nebulosas em base anual [5] e a etapa de otimização foi realizada por um modelo de fluxo em redes [7]. Despacho termoeletrico de mérito, fluxos de intercâmbio e balanço energético considerando os subsistemas foram determinados em tempo de simulação[8].

#### A. Resultados para o SIN

Na Tabela 1 encontra-se um resumo dos resultados da simulação das abordagens NW-SUIISHI e ODIN para o SIN. São apresentados os valores médios de geração hidrelétrica, energia armazenada final e custo da operação, atualizado a uma taxa de desconto de 12% ao ano.

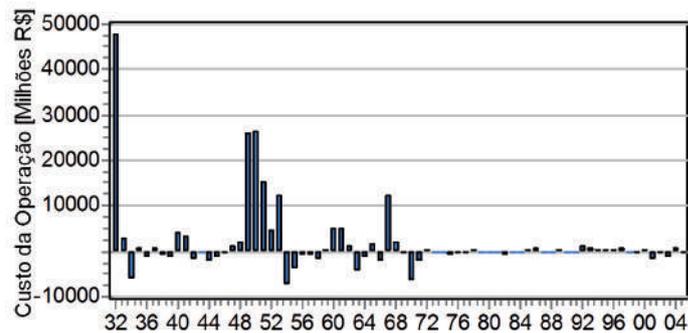


Figura 2. Custo atualizado da operação por cenário.

Tabela I. Resultados Estatísticos Gerais das Simulações.

	<b>Custo (Milhões R\$)</b>	<b>Geração Hidrelétrica (MWmédio)</b>	<b>EArm Final (MWmês)</b>
NW-SUIISHI	26.075,00	51.555,5	102.745,4
ODIN	24.386,72	51.475,4	141.121,5

Os resultados indicam que a abordagem ODIN obteve um custo esperado de operação 6,5% menor, deixou o SIN com 37,4% mais energia armazenada ao final do período de planejamento de 58 meses em relação à abordagem NW-SUIISHI. A geração hidrelétrica média foi levemente superior (80,1 MW-mês) com a abordagem em vigor, dado que esta utilizou-se de um maior volume de água dos reservatórios.

Esse resultado é decorrente de uma operação mais eficiente das usinas hidrelétricas, que em geral operaram com maior armazenamento, sobretudo as usinas de jusante nas cachoeiras. Assim, o modelo ODIN consegue alcançar uma maior produtividade nas usinas hidrelétricas e, conseqüentemente, atender à demanda gastando menos água dos reservatórios, o que também proporciona uma operação mais segura do SIN.

Para fornecer uma ideia dos benefícios da abordagem ODIN em cada cenário, no gráfico da Figura 2 apresentam-se as diferenças em custo (NW-SUIISHI menos ODIN) por cenário simulado. As diferenças na energia armazenada do sistema ao final do período de planejamento não foram contabilizadas, porém deve-se mencionar que a abordagem ODIN possibilita um aumento médio de 38,3 GW na energia armazenada, sendo esta superior àquela do NW-SUIISHI em todos os cenários simulados, exceto nos cenários iniciados nos anos de 1977 a 1980 (séries hidrológicas favoráveis).

Como pode ser observado, os custos totais atualizados dos dois modelos são muito próximos na maioria dos cenários hi-

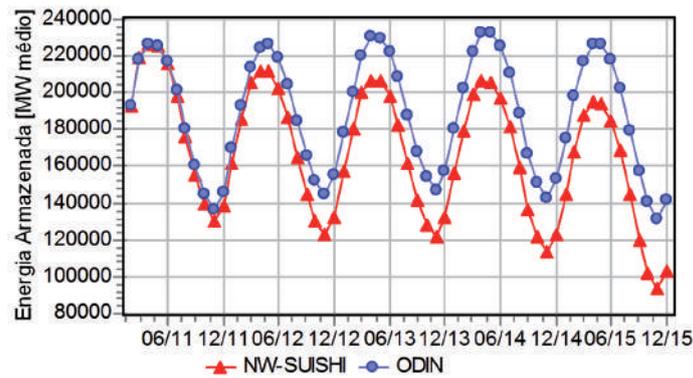


Figura 3. Energia armazenada média.

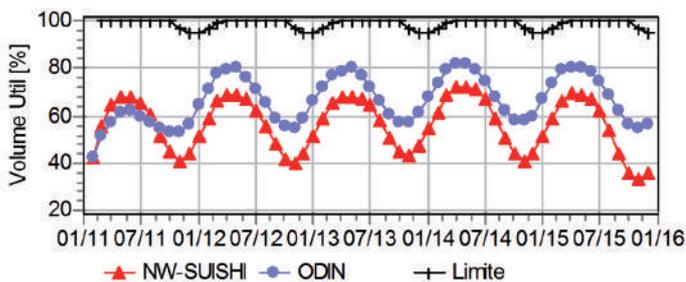


Figura 4. Armazenamento médio da UHE Emborcação.

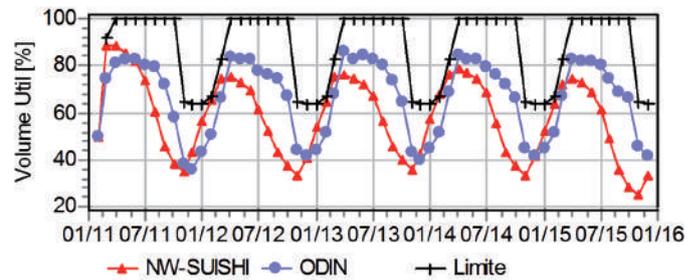


Figura 5. Armazenamento médio da UHE São Simão.

drológicos simulados. Contudo, nos cenários de afluências críticas, o modelo ODIN fornece uma operação mais econômica, com diferenças muito mais elevadas do que as apresentadas quando a abordagem NW-SUISHI se mostra mais econômica. Vale lembrar que tal economia se dá em detrimento dos armazenamentos do sistema, portanto, podendo comprometer a segurança operativa no futuro.

Na Figura 3, é apresentado o gráfico de evolução da energia armazenada média do SIN resultante da operação com as duas metodologias.

Observando-se as trajetórias de energia armazenada, verifica-se que o modelo ODIN mantém um estoque de energia armazenada superior ao modelo NEWAVE ao longo de todo o período de planejamento, assegurando maior produtividade nas usinas hidrelétricas. Pode-se ainda observar que a operação com o modelo ODIN é capaz de recuperar a energia armazenada anualmente, ao final do período de seca (mês de maio), enquanto a operação com o modelo NW-SUISHI reduz sistematicamente o estoque de energia do sistema a cada ano, indicando uma política operativa que não se sustenta a longo prazo.

## B. Resultados por subsistema

Nas Tabelas II e III, média e desvio padrão do custo marginal da operação (CMO) por subsistema, respectivamente, são apresentadas. Pode-se observar que a metodologia ODIN fornece menor CMO em média para os subsistemas SE/CO (28%), S (26%) e N (13%), assim como um desvio padrão aproximadamente 40% menor, proporcionando significativa redução de volatilidade.

Tabela II. Valor esperado do custo marginal da operação por subsistema

	SE/CO (R\$/MWh)	S (R\$/MWh)	NE (R\$/MWh)	N (R\$/MWh)
NW-SUISHI	158,06	155,17	102,32	134,26
ODIN	113,73	114,31	111,47	116,50

Tabela III. Desvio padrão do custo marginal da operação por subsistema

	SE/CO (R\$/MWh)	S (R\$/MWh)	NE (R\$/MWh)	N (R\$/MWh)
NW-SUISHI	63,15	60,78	21,00	61,17
ODIN	37,35	37,38	29,74	38,18

## C. Resultados por usina

Para ilustrar os resultados das simulações por usina, foram escolhidas quatro UHEs – Emborcação, São Simão, Foz do Areia e Sobradinho. Nas Figuras 4 a 7, apresentam-se os gráficos das trajetórias médias de volume armazenado nos reservatórios dessas UHEs, resultantes da simulação com ambas as abordagens consideradas.

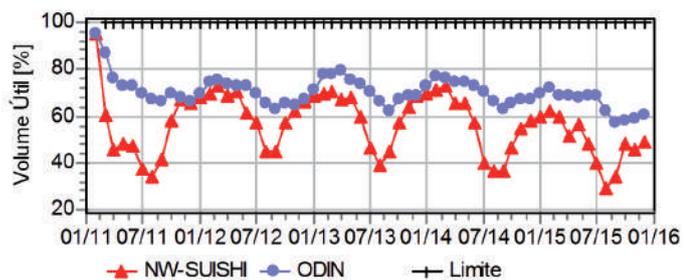


Figura 6. Armazenamento médio da UHE Foz do Areia.

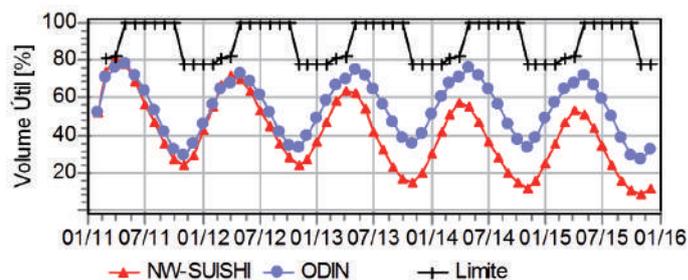


Figura 7. Armazenamento médio da UHE Sobradinho.

De uma maneira geral, pode-se concluir que, relativamente ao modelo NW-SUISHI, o modelo ODIN opera as usinas hidrelétricas com mais água armazenada em seus reservatórios e trajetórias que favorecem o aumento da produtividade nas UHE, sobretudo em Foz do Areia e em usinas mais à jusante nas cascatas. Dessa forma, valorizam-se os recursos hídricos e favorece-se a segurança operativa do sistema.

#### IV. CONCLUSÕES

Esse artigo apresentou a metodologia ODIN para o planejamento da operação energética do SIN. A avaliação da abordagem foi feita comparativamente a metodologia em vigor, representada pelo modelo NEWAVE, utilizando-se o modelo SUISHI-O para determinação da solução a usinas individualizadas.

Os testes se deram num ambiente de simulação, considerando os 74 cenários contidos nos registros históricos de vazões afluentes, para o deck de dados referente ao PMO de março de 2011 (NW201103).

O modelo ODIN mostrou-se mais eficiente e seguro que a metodologia em vigor, proporcionando mais segurança ao sistema na medida em que mantém os reservatórios mais cheios, o que acarreta um aproveitamento mais eficiente dos recursos hídricos. Isso se refletiu num custo esperado de operação 6,5% menor e em cerca de 37,4% a mais de energia armazenada ao final do período de planejamento.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MACEIRA, M.E.P.; TERRY, L.A.; COSTA, F.S.; DAMÁZIO, J.M.; MELO, A.C.G. "Chain of optimization models for setting the energy dispatch and spot price in the Brazilian system". In: 14th PSCC Proceedings, Spain, June 2002. Pp. 1-7.
- [2] PEREIRA, M.V.; PINTO, L.M.V.G. "Stochastic optimization of a multireservoir hydroelectric system: a decomposition approach", *Water Resources Research*, 21(6): 1985, pp. 779-792.
- [3] Arvanitidis, N.V. and Rosing, J. "Composite Representation of Multireservoir Hydroelectric Power System", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-99(2): 319-326, 1970.
- [4] FINDEISEN, R.; Allgöwer, F. "An introduction to nonlinear model predictive control". 21st Benelux Meeting on Systems and Control, Veidhoven, 2002, pp.1-23.
- [5] ZAMBELLI, M.; LUNA, I.; SOARES, S. "Long-term hydropower scheduling based on deterministic nonlinear optimization and annual inflow forecasting models". *IEEE 2009 PowerTech Conference*, Bucharest, 2009, pp1-8.
- [6] "Modelo de otimização do despacho hidrotérmico". Projeto Estratégico código ANEEL PE-0391-0108/2009.
- [7] OLIVEIRA, G.G.; SOARES, S. "A second-order network flow algorithm for hydrothermal scheduling". *IEEE Transactions on Power Systems*, 10(3): 1635-1641, 1995.
- [8] ZAMBELLI, M.S. "Planejamento da operação energética do Sistema Interligado Nacional baseado em modelo de controle preditivo". Tese de doutorado. FEEC/UNICAMP, dezembro 2009.



ELFSM

## Estudo avalia desempenho de medidores eletrônicos frente a descargas atmosféricas

Em um cenário de gradual substituição dos medidores eletromecânicos pelos eletrônicos, com cerca de 60 milhões de novos aparelhos no país, o setor elétrico expressa preocupação com a falta de testes adequados para comprovar a integridade deles frente à alta incidência de descargas elétricas no Brasil, devido às limitações dos laboratórios de alta tensão. Um projeto da Empresa Luz e Força Santa Maria S./A. (ELFSM) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) conseguiu avanços nessa avaliação ao utilizar dados da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT) associados ao georreferenciamento.

A partir do monitoramento da BrasilDAT, lançada pelo Inpe em 2011, os pesquisadores localizaram com precisão os pontos geográficos de incidência das descargas que ocorrem na área de concessão da ELFSM, no Espírito Santo. Um software georreferenciado foi criado para armazenar, em torno das coordenadas de cada medidor instalado, as descargas que ocorreram para diferentes distâncias do medidor.

Diante das estatísticas de descargas para 30 medidores eletrônicos que não sofreram avarias entre junho e dezembro de 2011, verificou-se uma boa resistência desses aparelhos para o fenômeno, dada a amostra analisada. Para confirmação dessa conclusão, os pesquisadores indicam que o projeto deve ser estendido. A ELFSM implantou a metodologia, com expectativa de gerar novos resultados em breve.

### Ficha técnica

Empresa: Empresa Luz e Força Santa Maria S./A. (ELFSM)

Título: Avaliação do impacto das descargas atmosféricas sobre medidores eletrônicos

Ano: 2009

Investimento: R\$ 482.560,00

Execução: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)

# Avaliação do impacto das descargas atmosféricas sobre medidores eletrônicos

Marcelo Lauredan Pires<sup>1</sup>, Paulo Arpini<sup>1</sup> e Osmar Pinto Junior<sup>2</sup>

**Resumo** – Este artigo descreve os resultados do projeto de P&D realizado pela Empresa Luz e Força Santa Maria S./A. (ELFSM) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), com a finalidade de avaliar a suportabilidade de medidores eletrônicos frente às descargas atmosféricas. O estudo utilizou dados da nova rede brasileira de monitoramento de descargas atmosféricas (BrasilDAT) e uma metodologia inovadora. Os resultados indicaram, para a amostra de dados disponível, uma boa resistência dos medidores eletrônicos frente às descargas. Sugere-se que o estudo seja estendido para um período mais longo e para uma amostra maior de medidores, de modo a confirmar os resultados obtidos.

**Palavras-chave** – descargas atmosféricas; medidores eletrônicos.

**Abstract** – This article describes the results of the R&D project done by the company Empresa Luz e Força Santa Maria S./A. (ELFSM) and by the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), with the purpose of evaluating the supportability of electronic meters to lightning. The study used data from the new Brazilian lightning monitoring network (BrasilDat) and an innovative methodology. The results showed, for the sample of data available, good re-sistance of electronic meters to discharges. It is suggested that the study be extended for a longer period and a larger sample of meters to confirm the results.

**Keyword** – lightning; electronic meters.

## I. INTRODUÇÃO

A medição eletrônica no Brasil tende a se expandir nos próximos anos, com a substituição dos medidores convencionais ou eletromecânicos por medidores eletrônicos.

Medidores de energia elétrica são equipamentos responsáveis por registrar, armazenar e indicar a energia elétrica utilizada em unidades consumidoras. Basicamente, existem duas tecnologias para medição de energia: os medidores de indução, conhecidos como eletromecânicos, mais antigos e formados por partes elétricas e mecânicas; e os medidores eletrônicos ou digitais, mais recentes e formados por circuitos eletrônicos sem partes móveis ou mecânicas. A Figura 1 ilustra exemplos de ambos medidores utilizados pela ELFSM. Na ELFSM, cerca de 45% dos medidores instalados são eletrônicos.

A medição eletrônica é um dos grandes desafios atuais do setor elétrico brasileiro. Desde 2009, tem-se trabalhado na gradual substituição dos medidores eletromecânicos por medidores eletrônicos no sistema de distribuição nacional. No país, o parque de medidores consiste de cerca de 60 milhões de aparelhos.

Embora os medidores eletrônicos venham a trazer diversas vantagens, tais como a possibilidade de tarifas diferenciadas e a redução das perdas não técnicas, tais medidores, em sua gran-

de maioria, provêm de fabricantes formados por multinacionais, cujos modelos existentes não são adequados às características das descargas atmosféricas de nosso país. Em particular, tais medidores muitas vezes não são adequadamente testados frente às características das descargas atmosféricas observadas em nosso país, devido às limitações dos laboratórios de alta tensão nele existentes. Tal aspecto, em função da alta incidência de descargas atmosféricas no Brasil [1], requer atenção por parte do setor.

O objetivo principal deste projeto foi desenvolver uma metodologia para avaliar o desempenho de medidores eletrônicos instalados na rede de distribuição frente a descargas atmosféricas e aplicá-la a um conjunto de medidores instalados na rede de distribuição. Os resultados do projeto visam dar subsídios para o aprimoramento destes dispositivos, através da definição de novos parâmetros de corrente impulsiva e contínua das descargas atmosféricas para ensaios de medidores eletrônicos, contribuindo para a redução das perdas técnicas existentes na rede de distribuição.

Nenhuma pesquisa de P&D do programa ANEEL tem abordado os efeitos das descargas atmosféricas sobre medidores eletrônicos ligados a clientes da rede de distribuição, dando ao projeto alto grau de originalidade e com alto potencial de inovação. Levando-se em conta a tendência verificada no Brasil e no mundo da substituição de medidores convencionais eletromecânicos por medidores eletrônicos na rede de distribuição e a falta de estudos relativos ao desempenho dos medidores eletrônicos frente às descargas atmosféricas, o projeto tem grande importância para o setor elétrico.

Informações sobre o Projeto de P&D: "Avaliação do Impacto das Descargas Atmosféricas sobre Medidores Eletrônicos", PD-0381-0004/2009 -; ELFSM; INPE; '2009/2010'; 'R\$ 482.560,00'.

<sup>1</sup> Empresa Luz e Força Santa Maria (e-mails: mpires@elfsm.com.br; pcarpini@elfsm.com.br).

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (e-mail: osmar@dge.inpe.br).



(a)



(b)

Figura 1. Exemplos de (a) medidor eletromecânico e (b) eletrônico, utilizados pela ELFSM em sua rede de distribuição.

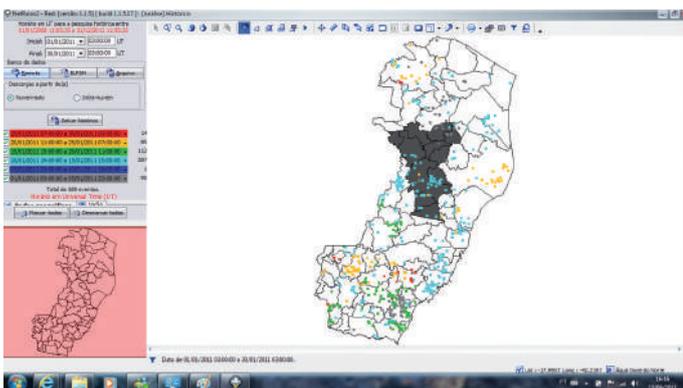


Figura 2. Interface com localização de descargas em relação à área de atuação da empresa.

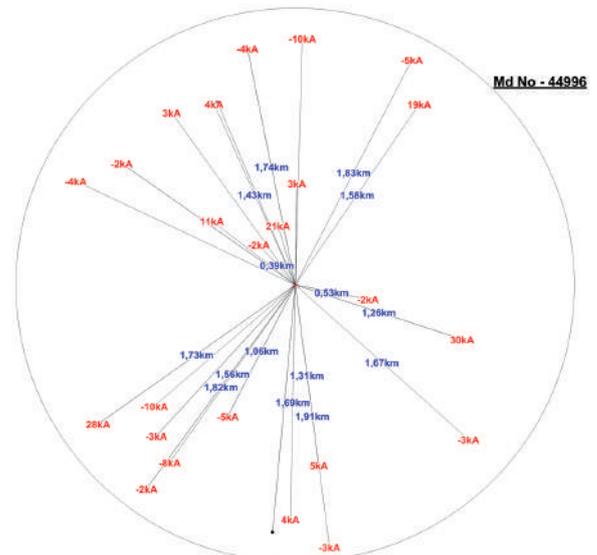


Figura 3. Registro de descargas ocorridas entre junho e dezembro de 2011 ao redor de um medidor eletrônico que não sofreu avarias no período.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A metodologia do projeto consistiu inicialmente na melhora da rede de monitoramento de descargas no estado do Espírito Santo, em particular na área de atuação da ELFSM, de modo a localizar com alta eficiência de detecção e precisão os pontos geográficos de incidência das descargas que ocorrem na área de concessão da ELFSM. Para tal, foi empregada uma nova tecnologia de detecção, utilizando o estado da arte na detecção de descargas atmosféricas, pertencente à nova Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT), lançada pelo INPE em 2011 [2]. Com esta rede, descargas atmosféricas foram registradas com precisão de localização de cerca de 100 metros nas vizinhanças de medidores instalados na área de concessão da empresa. Além disso, estima-

tivas mostraram que a eficiência de detecção da nova rede na região é superior a 90%.

Adicionalmente, a metodologia contemplou o desenvolvimento de um software georreferenciado que permitisse armazenar, em torno das coordenadas de cada medidor instalado, as descargas que ocorreram para diferentes distâncias do medidor. A Figura 2 ilustra a interface de visualização do software desenvolvido.

Os resultados obtidos pelo projeto são ilustrados pela Figura 3 e pela Tabela 1. Na Figura 3, é mostrado o conjunto de descargas incidentes ao redor de um medidor eletrônico para um dado período, enquanto que, na Tabela 1, são apresentadas as estatísticas de descargas para 30 medidores eletrônicos que não sofreram avarias entre junho e dezembro de 2011.

Tabela I. Estatística de descargas negativas ocorridas entre junho e dezembro de 2011 próximas a medidores eletrônicos

Faixa de Pico de corrente (kA)	Nº. Eventos para distâncias menores que 2 km	Nº. Eventos para distâncias menores que 1 km
10-20	32	4
20-30	11	1
>30	23	4

Nos resultados mostrados na Tabela 1, nota-se que ocorreram quatro casos de descargas acima de 30 quiloampères (kA) em distâncias inferiores a um quilômetro (km) dos medidores (-31 kA a 0,5 km e 0,1 km; -53 kA a 0,6 km e -41 kA a 0,8 km), sendo que um caso está no limite de precisão do sistema (0,1 km). Os dados mostram uma boa suportabilidade dos medidores, embora um período mais longo de observação seja necessário, pois, na amostra utilizada, não ocorreram descargas maiores que -60 kA ou descargas de polaridade positivas, estas últimas normalmente acompanhadas de correntes contínuas mais intensas e mais longas que as descargas de polaridade negativa.

Quanto aos benefícios auferidos pelo projeto, além de disponibilizar para o setor uma metodologia capaz de avaliar o desempenho de medidores eletrônicos frente a descargas atmosféricas, ele permitiu à empresa acompanhar eventuais falhas de todos os seus medidores, diminuindo com isto as perdas comerciais.

### III. CONCLUSÕES

Com a instalação dos novos sensores de descargas no estado do Espírito Santo, um deles com recursos do projeto, e com a metodologia de análise desenvolvida, pode-se, pela primeira vez no país, avaliar o nível de suportabilidade à queima de medidores eletrônicos frente às descargas atmosféricas. Tal avaliação é de extrema importância dado que observações preliminares feitas pelo Inpe [3] sugerem que as descargas atmosféricas no Brasil apresentam correntes de longa duração mais intensas e mais longas que em regiões fora dos trópicos, sendo que estas últimas são utilizadas pelas normas de proteção em geral. Os resultados obtidos, embora precisem ser estendidos para um maior período de tempo, sugerem uma boa suportabilidade dos medidores às descargas atmosféricas.

A partir da metodologia desenvolvida pelo projeto, no futuro será possível analisar casos de queima de medidores eletrônicos buscando avaliar com precisão o nível de suportabilidade destes medidores às descargas atmosféricas. A partir de uma amostra razoável de casos, valores médios de intensidade das descargas negativas e positivas observadas nos períodos associados à queima dos medidores permitirá definir com significância estatística o nível de suportabilidade destes medidores.

Finalmente, cabe destacar que a metodologia desenvolvida neste projeto encontra-se implantada na ELFSM [4], devendo dar origem a novos resultados num futuro breve.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

#### Livros:

- [1] PINTO JR., O. *Lightning in the tropics: from a source of fire to a monitor-ing system of climate changes*. Nova Science Publishers, 2009. 109 pp.

#### Artigos apresentados em conferências (publicados):

- [2] NACCARATO, K. P., e PINTO JR., O. "Lightning detection in Southeastern Brazil from the new Brazilian Total Lightning Network (BrasilDAT)", apresentado na Int. Conf. on Lightning Protection (ICLP), Viena, Áustria, 2012.

#### Periódicos:

- [3] SABA, M. M. F.; BALLAROTTI, M. G.; PINTO JR., O. "Negative cloud-to-ground lightning properties from high-speed video observations", *J. Geophys. Res.*, 111, D03101, doi:10.1029/2005JD006415, 2006.

#### Artigos em anais de conferências (não publicados):

- [4] PINTO JR., O.; NACCARATO, K. P.; PINTO, I. R. C. A.; GARCIA, S. A. M.; ABDO, R. F.; GARDIMEN, V. L. G.; CHAGAS, E. H. C.; FRANCO, J. J. J. P.; SOUZA, D. M. B. S. de; MAMEDE, J. P.; BELLAN, J.; PIRES, M. L.; ARPINI, P. "New lightning data applications for power utilities". V Int. Conf. on Lightning Physics and Effects, Bonito, MS, Brazil, 2012.



LIGHT

## Estudo propõe cálculo do índice de atividade econômica mensal para os municípios

As concessionárias de energia elétrica, assim como vários setores da economia, precisam conhecer o estado atual da economia e prever possíveis recessões para planejarem os próximos passos de sua operação. Empenhados nesse esforço, pesquisadores da Light Serviços de Eletricidade S./A. e da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) desenvolveram um indicador mensal, considerado inédito, de atividade econômica para os municípios da área de concessão da distribuidora. O grupo também criou modelos de previsão de carga e de faturamento, com base nos índices de atividade econômica calculados, e um sistema para combinação dos diversos modelos utilizados.

O indicador mensal de atividade (IMA) é construído com base em diversas variáveis econômicas observadas mensalmente em cada município. Os modelos de previsão de carga e de faturamento são baseados tanto em especificações lineares quanto não lineares, e a estimação dos parâmetros considera técnicas de vanguarda na literatura de econometria. Os pesquisadores estruturaram ainda modelos para previsão de variáveis macroeconômicas, como Produto Interno Bruto (PIB), índice de produção industrial, taxa de juros, câmbio, inflação e gastos públicos. Uma interface gráfica foi elaborada para o gerenciamento dos diversos módulos do sistema.

A metodologia de cálculo apresentou resultados muito promissores na previsão do consumo e de faturamento mensal da Light, segundo os autores do projeto, e trouxe grandes ganhos para as projeções de mercado feitas pela concessionária. A avaliação é de que ela pode ser generalizada para todos os municípios do Brasil, com potencial de grandes benefícios para as concessionárias que a adotarem.

### Ficha técnica

Empresa: Light Serviços de Eletricidade S./A.

Título: Avaliação do impacto das descargas atmosféricas sobre medidores eletrônicos

Ano: 2011

Investimento: R\$ 549.320,04

Execução: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

# Indicadores de atividade econômica para área de concessão da LIGHT: indicadores coincidentes e antecedentes e previsão de carga

Marcelo C. Medeiros<sup>1</sup>, Priscilla Burity<sup>1</sup>, Fernando Roriz<sup>1</sup>, Luciano Grosso<sup>2</sup> e Brisne Céspedes<sup>2</sup>

**Resumo** – Este projeto teve por objetivo a construção de índices mensais de atividade econômica para os municípios que formam a área de concessão da Light. Além disso, foram desenvolvidos modelos, de previsão de carga e de faturamento, que utilizarão os índices estimados como variáveis explicativas. Uma interface gráfica para gerenciamento dos diversos módulos do projeto foi implementada.

**Palavras-chave** – Previsão, índices antecedentes, atividade econômica.

**Abstract** – This project aimed to construct monthly indices of economic activity for the municipalities that form Light concession area. In addition, models were developed, to predict load and billing, that will use the estimated indexes as explanatory variables. A graphical interface for managing the various modules of the project was implemented.

**Keyword** – Forecast, background rates, economic activity.

## I. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre o estado atual da economia, assim como a previsão de possíveis recessões, é fundamental não só para o planejamento operacional das concessionárias de energia elétrica, assim como para vários setores da economia [1, 6, 7]. Modelos de previsão de carga e de faturamento podem ser aprimorados caso haja, como variável explicativa, alguma medida de atividade econômica.

O objetivo principal deste projeto foi a construção de um índice de atividade econômica em frequência mensal para os municípios que formam a área de concessão da Light. Vale ressaltar que não há nenhum índice de atividade econômica municipal em frequência mensal [2, 3, 5]. Esta é, portanto, a principal inovação do projeto. Também foram desenvolvidos modelos de previsão de carga e de faturamento com base nos índices de atividade econômica calculados. Um sistema para combinação de diversos modelos de previsão também foi criado. Os modelos de previsão de carga e de faturamento são baseados tanto em especificações lineares quanto não lineares e a estimativa dos parâmetros foi feita com base em técnicas de vanguarda na literatura de econometria (Lasso e regularização Bayesiana). Adicionalmente, foram estimados modelos para previsão de variáveis macroeconômicas. As seguintes variáveis foram consideradas: PIB, índice de produção industrial, taxa de juros, câmbio, inflação e gastos públicos.

Os modelos foram todos implementados em MATLAB e foi construída uma interface gráfica para o gerenciamento dos diversos módulos do sistema.

## II. METODOLOGIA

### A. Indicador Mensal de Atividade (IMA)

A construção do indicador mensal de atividade (IMA) dos municípios da área de concessão da Light é baseada na informação de diversas variáveis econômicas observadas mensalmente para cada município

Seja  $\mathbf{y}_{m,t} = (y_{1,m,t}, \dots, y_{n,m,t})'$  um vetor composto por  $n$  variáveis econômicas do município  $m$  no instante  $t$  (observações mensais), tal que cada elemento  $i$ ,  $i=1, \dots, n$ , do vetor  $\mathbf{y}_{m,t}$  possa ser decomposto em dois termos: tendência ( $\tau_{i,m,t}$ ) e ciclo ( $C_{i,m,t}$ ),

$$\mathbf{y}_{1,m,t} = \mathbf{T}_{i,m,t} + \mathbf{C}_{i,m,t}$$

A partir da decomposição acima, o vetor  $\mathbf{C}_{m,t} = (C_{1,m,t}, \dots, C_{n,m,t})'$  composto pelos componentes cíclicos é construído. Além disso, as diversas medidas mensais de atividade, apesar de terem dinâmicas próprias relacionadas ao setor em que se inserem, possuem um componente comum que retrata o ciclo da economia municipal como um todo, ou seja:

$$\mathbf{C}_{m,t} = \mathbf{r} \mathbf{f}_{m,t} + \mathbf{V}_{m,t}$$

onde  $\mathbf{f}_{m,t}$  é um vetor de dimensão  $k$  muito menor do que  $n$ , composto de fatores comuns aos diversos indicadores econômicos do município  $m$ , e  $\mathbf{V}_{m,t}$  é um termo idiossincrático não correlacionado aos fatores. O número de fatores é escolhido por critérios de informação. No caso do presente estudo, todos os critérios utilizados apontaram para apenas um fator.

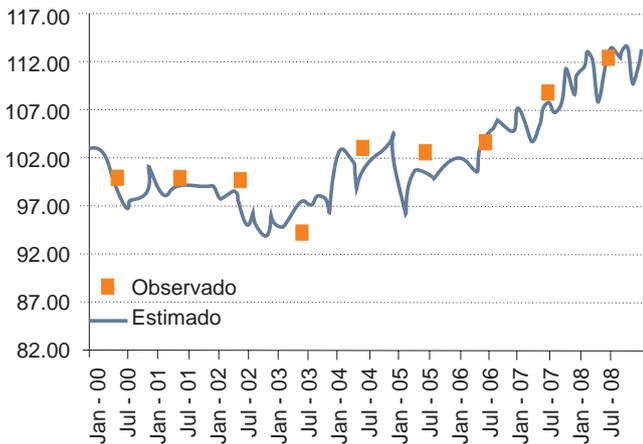


Figura 1: IMA estimado para área de concessão.

Uma vez encontrados os fatores comuns, a seguinte equação pode ser estimada:

$$PIB_{m,a} = \beta_{0,m}^{(a)} + \beta_{1,m}^{(a)} TEND_a + \beta_{2,m}^{(a)} TEND_a^2 + \beta_{3,m}^{(a)} D2004_a + \beta_{3,m}^{(a)} f_{m,a}^{(a)} + \epsilon_{m,a}$$

onde  $a$  representa anos,  $PIB_{m,a}$  é o PIB do município  $m$  no ano  $a$ ,  $D2004_a$  é uma variável indicadora do ano 2004,  $\epsilon_{m,a}$  é o termo de erro e

$$f_{m,a}^{(a)} = \sum_{l \in a} f_{m,l},$$

$$TEND_a = \sum_{t \in a} t$$

são os fatores e a tendência anualizados. A inclusão da variável indicadora para 2004 se faz necessária para o tratamento, no caso de alguns municípios, de um valor aberrante observado no PIB.

Por fim, para o município  $m$ ,  $m = 1, \dots, M$ , no instante  $t$  (observação mensal),  $t = 1, 2, 3, \dots, T$ , é construída a seguinte variável:

$$\widetilde{IMA}_{m,t} = \beta_{0,m} + \beta_{1,m} t + \beta_{2,m} t^2 + \beta_{3,m} D2004_t + \beta_{4,m} f_{m,t}$$

$$\beta_{0,m} = \frac{\beta_{0,m}^{(a)}}{12}, \beta_{3,m} = \frac{\beta_{3,m}^{(a)}}{12} \text{ e } \beta_{j,m} = \beta_{j,m}^{(a)}$$

onde,

para  $j = 1, 2, \text{ e } 4$ .  $D2004_t$  é uma variável indicadora para o ano de 2004.

Uma forma alternativa de cálculo do IMA é por meio do Filtro de Kalman. No sistema em MATLAB, ambas as metodologias estão implementadas.

A decomposição tendência-ciclo de cada variável é feita por meio do filtro Hodrick-Prescott e os fatores são estimados via análise de componentes principais.

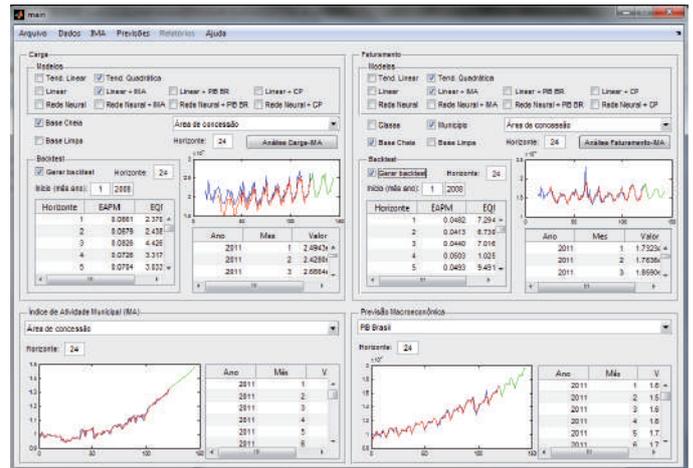


Figura 2: Interface gráfica

As previsões  $h$  passos à frente do IMA são calculadas a partir de um modelo ARMA(p,q).

A Figura 1 apresenta o IMA estimado para área de concessão. Os pontos em vermelho são agregados anuais calculados com base no PIB municipal anual divulgado pelo IBGE.

## B. Previsão de Carga e Faturamento

### B.1 Modelo de Previsão de Carga

Os modelos de previsão de carga foram estimados com base na seguinte equação geral:

$$X_{it+k} = \underbrace{\beta_{ij,0} + \beta_{i,1}(t+k) + \beta_{i,2}(t+k)^2}_{\text{tendência quadrática}} + \underbrace{\beta_{i,3} \text{temp}_{it+k} + 0FEV06_{t+k}}_{\text{temperatura}} + \underbrace{S^i \text{calendario}_{t+k} = \emptyset' S_{t+k}}_{\text{efeitos de calendário e sazonalidade}} + k_i \text{ECO}_{it+k} + \underbrace{\sum_{n=1}^p = 1 y_{i,n} X_{it+k-n}}_{\text{perda de energia}} + \underbrace{\lambda_{ij,1} \text{perda}_{it+k-1} + \lambda_{ij,2} \text{perda}_{it+k-2}}_{\text{perda de energia}} + \underbrace{p_{i,1} y_{it+k} + p_{i,2} y_{it+k-1} + \epsilon_{it+k}}_{\text{carga}}$$

onde  $X_{it}$  é a medida de energia faturada por município (ou categoria)  $i$  no mês  $t$ ,  $y_{it}$  é definida como na equação anterior,  $FEV06_t$  é uma variável indicadora para o mês de fevereiro de 2006, mês em que parece ter havido um fator que elevou o faturamento de energia pontualmente, e

$$\text{perda}_{it} = \frac{\text{faturamento}}{\text{carga}} = \frac{x_{it}}{y_{it}}$$

Nos modelos de previsão de carga e faturamento, os parâmetros são estimados por Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (Lasso) [8]. Lasso é uma técnica utilizada em situa-

ções onde há um grande número de regressores e o tamanho da amostra é pequeno.

Também são considerados modelos não lineares. Para previsão de carga, a especificação abaixo é estimada:

$$\begin{aligned}
 y_{ijt+k} &= \underbrace{\beta_{ij,0} + \beta_{ij,1}(t+k) + \beta_2(t+k)^2}_{\text{tendência quadrática}} \\
 &+ \underbrace{S_{ij}^3 \text{calendario}_{t+k} = \emptyset^3_{ij} S_{t+k}}_{\text{efeitos calendário e sazonalidade}} \\
 &+ \underbrace{g(\text{temp}_{it+k}, \text{ECO}_{it+k}, y_{ijt+k-1}, \dots, y_{ijt+k-p})}_{\text{função não linear}} \\
 &+ \epsilon_{ijt+k}
 \end{aligned}$$

onde  $g$  é uma função logística da temperatura, do indicador econômico e de valores defasados de carga. O modelo em questão é uma rede neural do tipo "feed-forward" com  $M$  neurônios. Para o caso de faturamento, um modelo similar é considerado.

Finalmente, é estimada a combinação simples dos modelos de previsão. A literatura recente aponta na direção da combi-

nação de especificações, ou seja, é mais promissor calcular a média das previsões feitas a partir de diversas alternativas do que confiar em apenas um modelo [4].

### Interface gráfica

Os diversos módulos do projeto estão acoplados em uma interface gráfica. Os módulos de previsão de carga e faturamento também geram um teste retroativo com o intuito de verificar a qualidade dos modelos estimados. A interface está ilustrada na Figura 2.

### IV. CONCLUSÕES

Este projeto teve por objetivo desenvolver uma metodologia para construção de um indicador de atividade econômica em frequência mensal para os municípios da área de concessão da Light. Os índices foram utilizados para previsão do consumo e de faturamento mensal e os resultados foram muito promissores. O trabalho é inovador e trará grandes ganhos para as projeções de mercado feitas pela Light. Finalmente, a metodologia aqui descrita pode ser utilizada por outras concessionárias de energia e pode ser facilmente generalizada para todos os municípios do Brasil.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CHAUVET, M. "An Econometric Characterization of Business Cycle Dynamics with Factor Structure and Regime Switching." *International Economic Review*, 39, 1998, pp. 969-996.
- [2] CHAUVET, M. "A Monthly Indicator of Brazilian PIB." *Brazilian Review of Econometrics*, 21, 2001, pp. 1-48.
- [3] CHAUVET, M. "The Brazilian Business Cycle and Growth Cycles." *Revista Brasileira de Economia*, 56, 2002, pp. 75-106.
- [4] ELLIOT, G.; TIMMERMAN, A. *Economic Forecasting*. Journal of Economic Literature, 46, 2008, pp. 3-56.
- [5] ISSLER, J.V.; NOTINI, H.H.; RODRIGUES, C.F. "Constructing Coincident and Leading Indices of Economic Activity for the Brazilian Economy." *Ensaio Econômicos EPGE*, 2009.
- [6] STOCK, J; WATSON, M. "New Indexes of Coincident and Leading Economic Indicators." *Macroeconomics Annual*, 4, M.I.T. Press, 1989.
- [7] STOCK, J; WATSON, M. "Macroeconomic Forecasting Using Diffusion Indexes." *Journal of Business and Economic Statistics*, 20, 2002, pp. 147-162.
- [8] TIBSHIRANI, R. *Regression Shrinkage and Selection Via the Lasso*. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 58, 1996, pp. 267-288.





*AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA*

SGAN - Quadra 603 / Módulos "I" e "J"  
Brasília - DF - 70830-110  
TEL. 55 (61) 2192-8600 Ouvidoria: 167  
[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)