

Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL

# P&D

Nº 3, junho de 2009 • ISSN 1981-9803

## **Setor elétrico no caminho da inovação**

Confira os resultados de algumas iniciativas  
do programa de P&D regulado pela ANEEL





# Editorial

A terceira edição da Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, lançada durante o V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (Citenel) e o I Seminário de Eficiência Energética no Setor Elétrico, em Belém (PA), apresenta à sociedade resultados do programa de P&D coordenado pela Agência. Dos 83 projetos encaminhados pelos agentes do setor ao Comitê Técnico do órgão regulador para compor esta publicação, 30 foram selecionados pela relevância e pelos resultados alcançados. Desses, 60% foram desenvolvidos no segmento da distribuição e os 40% restantes estão igualmente divididos entre transmissão e geração. Juntas, essas iniciativas representaram investimentos da ordem de R\$ 21 milhões com importantes resultados ao setor e ao País.

Entre os temas das pesquisas, destaca-se o de supervisão, controle e proteção, com um terço dos projetos divulgados nesta edição. As soluções tecnológicas desenvolvidas contribuem para aumentar a confiabilidade do funcionamento do sistema elétrico, com mais precisão nos diagnósticos das falhas e, conseqüentemente, mais eficácia operacional e menos perdas econômicas para os agentes e consumidores.

Iniciativas para aprimorar a medição, estimar o faturamento e auxiliar o combate às perdas comerciais (furtos) também marcaram presença entre os artigos eleitos. Sabe-se que o roubo de energia acarreta danos ao País. Estima-se um prejuízo anual de R\$ 7,3 bilhões, dos quais R\$ 5,5 bilhões são imputados, em grande parte, a distribuidoras e consumidores adimplentes, pois um determinado percentual das perdas comerciais causa impacto tarifário. Outros R\$ 1,8 bilhão, equivalentes a impostos e encargos, deixam de ser recolhidos aos cofres de estados e municípios e da União.

Ênfase também foi dispensada à qualidade e à confiabilidade dos serviços de energia elétrica, dadas as características do sistema elétrico brasileiro, que exige o transporte da energia por longas distâncias. Os projetos aqui apresentados demonstram esforços no combate a fenômenos que reduzem a qualidade do fornecimento, como as variações e distorções de tensão e distúrbios na corrente elétrica, que, além de grandes incômodos e prejuízos aos consumidores, podem gerar perdas econômicas ao prestador do serviço, com reflexo tarifário posterior. Outros projetos priorizaram soluções de eficiência energética, uso de fontes alternativas para geração de energia e iniciativas de proteção ambiental.

Nesta edição, os artigos técnicos foram publicados em formato científico, a fim de assegurar a precisão do conteúdo de cada projeto. Entretanto, para evitar a assimetria de informações entre os mais diversos segmentos da sociedade, os artigos foram precedidos de uma apresentação geral, de forma a atrair o leitor comum, que não pertence à comunidade científica nem ao setor elétrico. Este número apresenta também a visão de áreas técnicas da ANEEL sobre desafios e perspectivas da inovação tecnológica nos segmentos de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

A publicação da primeira Revista aconteceu em agosto de 2006, com uma amostra de 51 projetos de P&D elaborados em oito anos (1998 a 2006). No segundo número, impresso em novembro de 2007, foram divulgadas outras 24 iniciativas de diversos ciclos desde 2000. Com mais essa edição, a ANEEL reafirma seu compromisso com a publicidade e a transparência de suas ações, princípios básicos pelos quais é possível demonstrar ao País os avanços tecnológicos conquistados com os investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

Ao regular e fiscalizar os programas de P&D, a ANEEL exerce sua missão de zelar pela qualidade do serviço público de energia elétrica e contribui para a redução da dependência tecnológica do País.

# P&D

Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL - P&D  
Nº 3 – Junho de 2009

Diretoria

**Nelson José Hubner Moreira**

Diretor-geral

**Edvaldo Alves Santana**

**Joísa Campanher Dutra Saraiva**

**José Guilherme Silva de Menezes Senna**

**Romeu Donizete Rufino**

Diretores

Jornalista responsável (edição e texto)

**Gabriela Leal**

MTB nº. 5245 MG

Assessoria de Comunicação e Imprensa (ACI)

Produção

**Carolina Araújo Lima (SPE)**

**Clélia Fabiana Bueno Guedes (SPE)**

Revisão

**Paulo Roberto Gomes Pato (ACI)**

**Vlândia Pavlovna Déroulède (ACI)**

**Patrícia Barbosa Pinto (ACI)**

Projeto gráfico e diagramação

**Christian Dantas (ACI)**

Supervisão técnica

Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e  
Eficiência Energética (SPE)

**Máximo Luiz Pompermayer**

Superintendente

**Aurélio Calheiros de Melo Junior**

Assessor

Comitê técnico de avaliação

**Luciana Reginaldo Soares (SPE)**

Coordenadora

**André Meister (SRT)**

**Antenor Lopes de Jesus Filho (SPE)**

**Aurélio Calheiros de Melo Junior (SPE)**

**Carlos Eduardo Barreira Firmeza de Brito (SPE)**

**Fernando Colli Munhoz (SRG)**

**Gabriel de Jesus Azevedo Barja (SRG)**

**Igor Alexandre Walter (SEM)**

**João Marcelo Cavalcante de Albuquerque (SRD)**

**Júlio César Rezende Ferraz (SRT)**

**Leonardo Mendonça Oliveira de Queiroz (SRD)**

**Márcio Venício Pilar Alcântara (SPE)**

**Marco Aurélio Lenzi Castro (SRD)**

**Rafael Lourenço dos Santos (SPE)**

**Renato Braga de Lima Guedes (SRD)**

**Sheyla Maria das Neves Damasceno (SPE)**

Impressão

**Gráfica Renascer**

Tiragem

2.000 exemplares

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**

Endereço - SGAN 603 Módulos I e J

Brasília (DF)

CEP 70.830-030

CNPJ 02.270.669/0001-29

Telefone geral: 055 XX 61 2192-8600

Endereço eletrônico: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)

Dúvidas, sugestões e comentários:

[revistapd@aneel.gov.br](mailto:revistapd@aneel.gov.br)

ISSN 1981-9803

**E ANEEL**  
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

# Mensagem da Diretoria

A produção de conhecimento impulsiona a economia e melhora os indicadores sociais de um país. A independência tecnológica é alcançada quando os investimentos em pesquisa passam a ser uma decisão estratégica de Governo. Inovações permitem processos produtivos de maior eficiência, com insumos e produtos mais baratos para todos. No setor elétrico, esse ciclo virtuoso está ligado a um dos objetivos principais do modelo: o equilíbrio necessário entre confiabilidade do fornecimento e modicidade de tarifas e preços de energia elétrica.

Observa-se, entretanto, que esses investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) muitas vezes não geram retorno econômico na velocidade típica de empreendimentos do setor de energia elétrica. Por esse motivo, deixa de ser razoável esperar desses agentes somente aportes espontâneos e elevados na geração de conhecimento relevante ao setor. A presença do Estado, nesse momento, como indutor de investimentos em P&D, garante aumento de esforços nessa direção.

A exigência legal para que as empresas destinem parte de suas receitas para P&D, apesar de ter sido o marco para impulsionar a pesquisa no setor, mostra-se, como iniciativa isolada, insuficiente. Nesse contexto, compete ao órgão regulador estabelecer as regras desses investimentos, orientando ações prioritárias e fiscalizando uma aplicação adequada e racional dos recursos. Nesse sentido tem sido pautada a atuação da ANEEL ao longo do tempo, sempre pronta para promover os aprimoramentos necessários de modo a adequar a utilização dos recursos à maximização dos resultados dessa política de P&D.

Os efeitos desse esforço setorial podem ser observados por alguns indicadores, como, por exemplo, o crescente número de pedidos de patente apresentados pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas de energia. Evidencia-se, desse modo, a transformação dos recursos que a lei destina para P&D em novos e relevantes conhecimentos. Tanto é assim que os agentes, diante das possibilidades de aplicações práticas e obtenção de ganhos com essas inovações, anteveem oportunidades de obtenção de receita a partir do licenciamento. Para as empresas, um avanço tecnológico se traduz em ganhos de produtividade e competitividade.

Muito além dos benefícios econômicos, e igualmente importantes, estão as consequências de uma trajetória tecnologicamente sustentável, do ponto de vista ambiental, com redução dos impactos inerentes à geração, transmissão e distribuição de energia.

No setor elétrico, os resultados dos investimentos em P&D podem ser observados pela redução de custos de operação e de manutenção, pelo aumento da segurança e qualidade no abastecimento e por iniciativas de mitigação de impacto ambiental. O desafio da Agência é coordenar o esforço de um grande número de concessionários, de forma a concentrar iniciativas em áreas estratégicas e prioritárias. A maturidade do programa dá sinais de que a aplicação dos recursos tem deixado de ser percebida apenas como uma obrigação legal para ser vista como oportunidade irreversível de crescimento sustentável.



# Sumário



## Capa

<b>Novas regras estimulam investimentos</b>	08
---	----



## Artigos

<b>Desafios e perspectivas para inovação tecnológica no setor de energia elétrica</b>	10
---	----

Máximo Luiz Pompermayer

<b>Desafios e perspectivas de P&amp;D na geração de energia elétrica</b>	11
--	----

Aymoré de Castro Alvim Filho

<b>Desafios e perspectivas de P&amp;D na transmissão de energia elétrica</b>	12
--	----

André Meister

Júlio César Rezende Ferraz

<b>Novos tempos na distribuição de energia elétrica no Brasil</b>	13
---	----

Jaconias de Aguiar

<b>Pesquisa e Desenvolvimento contra o furto de energia</b>	14
---	----

Gustavo Alexandre Lopes Nery

Ricardo Vídinich

<b>A pesquisa e o desenvolvimento sob a ótica do mercado de energia elétrica</b>	15
--	----

Fábio Stacke Silva

Frederico Rodrigues

Ricardo Takemitsu Simabuku



## Projetos de geradoras

<b>CEMIG</b> Sistema controla eficiência de termelétrica	17
---	----

<b>CESP</b> Programa aumenta vida útil de componentes de hidrogerador	20
--	----

<b>CGTEE</b> Tecnologia permite detectar falhas de motores em tempo real	24
---	----

<b>TRACTEBEL</b> Uso de cerâmicas reduz efeitos de erosão em caldeiras	28
---	----

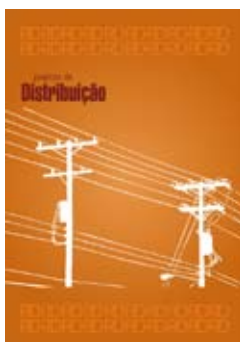
<b>ENGUIA GEN LTDA.</b> Empresa consolida tecnologia de produção de biodiesel	32
--	----

<b>TRACTEBEL</b> Estudo da biomassa florestal melhora uso do insumo na geração	35
---	----



## Projetos de transmissoras

<b>CTEEP</b> Vigilância evita vandalismo em faixas de servidão	39
<b>ETEP</b> Sensor monitora afrouxamento de cabos de sustentação de torres	43
<b>FURNAS</b> Comunicação sem fio permite integração com equipes de linhas de transmissão	47
<b>TRANSLESTE</b> Aplicativo auxilia redução de parcela variável de receita de transmissora	51
<b>CTEEP</b> Pesquisa permite estimar vida útil de cabos	55
<b>FURNAS</b> Medição de fator solar garante uso eficiente de vidros e janelas	59



## Projetos de distribuidoras

<b>AMPLA</b> Distribuidora aposta no carro elétrico	64
<b>LIGHT</b> Ferramenta revela impactos de mudanças de regras de mercado	67
<b>COELCE</b> Empresa cria alternativas à inspeção visual de isoladores e conexões	71
<b>COELBA</b> Conjunto de equipamentos possibilita troca de condutor sem desligar rede	75
<b>AMPLA</b> Técnicas ambientais recuperam entorno de reservatório de usina	78
<b>CELPE</b> Novas soluções de aterramento na transmissão podem evitar furto de cabos	81
<b>BANDEIRANTE</b> Filtro ativo com controladores síncronos tem desempenho efetivo contra distúrbios	85
<b>CELPE</b> Estudo avalia interferências eletromagnéticas em subestações	89
<b>AMPLA</b> Equipamento faz inspeção de medidores com precisão e rapidez	93
<b>CELPA</b> Ferramenta de gestão permite simulação de demanda por energia	97
<b>BANDEIRANTE</b> Sistema aumenta confiabilidade de ações contra raios	100
<b>CELESC</b> Sistema acoplado a analisador de gás permite avaliação remota de transformadores	103
<b>CELPE</b> Sensor atua na prevenção de falhas em isolamentos elétricos	106
<b>COELCE</b> Ferramenta mostra incidência de raios no Brasil e América Latina	110
<b>COELCE</b> Companhia estimula troca de lixo por bônus na conta de luz	114
<b>COELCE</b> Ferramenta diagnostica falhas em sistemas de transmissão e subestações	118
<b>ENERSUL</b> Sensor detecta gases dissolvidos em óleo de transformadores	121
<b>ENERSUL</b> Inteligência artificial ajuda combater furto de energia	125



# Novas regras estimulam a inovação tecnológica

Desde a edição da Lei nº. 9.991, de 24 de julho de 2000, empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas à produção independente de energia elétrica são obrigadas a realizar investimentos mínimos em Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (P&D) e Eficiência Energética. Estão isentas dessa obrigatoriedade empresas que geram energia elétrica exclusivamente a partir de biomassa, pequenas centrais hidrelétricas, co-geração qualificada e usinas eólicas ou solares. Para algumas empresas, essa obrigatoriedade já existia desde a assinatura do contrato de concessão com a ANEEL.

Parte desses aportes deve ser destinada a projetos de P&D realizados pelas próprias empresas, segundo regulamentos e supervisão da ANEEL, que estabelece as diretrizes para aplicação dos recursos por meio de resoluções específicas e de manuais. A última resolução e o respectivo manual foram publicados em maio de 2008.

Desde o primeiro ciclo de P&D (1998/1999) até 2006/2007, foram desenvolvidos 4.487 projetos, com investimento total de R\$ 1,44 bilhão, segundo balanço realizado pela Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (SPE) em abril de 2009.

Entre os resultados alcançados, destaca-se a produção de softwares, com 25% dos aportes, seguida da concepção de metodologias, com 21,3%, e criação de equipamentos, com 11,2%. Também merecem destaque o desenvolvimento de processos, com 8,3%, e a implantação de sistemas, com 8,1%. O número de patentes requeridas por empresas do setor junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) cresceu cerca de 25% desde a instituição do programa de P&D da ANEEL. Entre 1980 e 1997, foram depositados 82 pedidos, contra 103 solicitações no período de 1998 a 2006. Nesse último período, merecem destaque a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), com 40 pedidos de patentes, e a Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (ELETRONORTE), com 19. Outro aspecto relevante é a capacitação profissional realizada no âmbito desses projetos. Dos quase 7.000 profissionais envolvidos nos projetos, 2.134 formaram-se mestres, 946 tornaram-se doutores e 771 obtiveram título de especialista.

Em termos institucionais, tem-se observado um crescimento significativo do número de empresas de energia elétrica sujeitas à Lei nº. 9.991/2000. No início, havia menos de 100 empresas e, até março de 2009, contávamos com 289, das quais 72 produtores independentes, 64 concessionárias de distribuição, 63 concessionárias de geração, 63 concessionárias de transmissão, 14 autoprodutores e 13 permissionárias de distribuição.

Balanco dos Investimentos de P&D		
CICLO	Nº PROJETOS	RECURSOS (R\$)
1998/1999	83	12.599.198 00
1998/2000	164	29.774.579 18
2000/2001	439	113.304.680 35
2001/2002	536	156.226.500 86
2002/2003	672	198.801.240 00
2003/2004	602	160.974.737 70
2004/2005	600	191.801.200 67
2005/2006	917	352.135.205 86
2006/2007*	435	199.339.875 40
TOTAL	4487	1.441.107.006 02

\*Dados parciais de 02/04/2009 Fonte: ANEEL/SPE

## Principais mudanças na regulamentação do programa de P&D

Uma das principais alterações na regra para aplicação dos recursos foi o fim dos ciclos anuais de investimento, o que permite o início dos projetos a qualquer tempo. Outra mudança importante foi efetuada na sistemática e nos critérios de avaliação, com ênfase em resultados e flexibilidade para adaptações e ajustes durante a execução dos projetos. Para isso, a avaliação inicial passou a ser simplificada e opcional.

Merece destaque, também, a definição de regras para compartilhamento de receitas provenientes da comercialização de produtos e serviços gerados, o que contribui para estimular o desenvolvimento de projetos com maior potencial de inserção no mercado. Destaca-se, ainda, o estímulo ao desenvolvimento de projetos em parceria com empresas ou instituições de pesquisa sediadas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do País, em conformidade com as diretrizes da Lei nº. 9.991/2000.

Por fim, outro marco importante da nova regulamentação foi o estabelecimento de prioridades para a aplicação dos

recursos em P&D. Além de exigir das empresas um plano plurianual de investimento, foram definidos temas prioritários, que sinalizam áreas ou tópicos de maior relevância para o setor, segundo a visão do órgão regulador, e podem orientar os agentes na definição de suas estratégias de investimento em P&D. Ainda em relação a isso, criou-se o conceito de projeto estratégico e definiram-se critérios para a participação dos agentes em projetos dessa natureza.

No último semestre de 2008, foram publicadas dez chamadas para elaboração de projetos estratégicos. A lista de temas e o conteúdo das chamadas estão disponíveis na página de P&D, no portal da ANEEL (<http://www.aneel.gov.br>). Até o fechamento desta edição, dez propostas de projeto estratégico haviam sido submetidas à avaliação da ANEEL.

Além dos projetos estratégicos, foram cadastrados no sistema de gestão de P&D da ANEEL, depois da publicação das novas regras para aplicação dos recursos, 80 projetos, que totalizam investimentos previstos de aproximadamente R\$ 115 milhões.

R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D  
R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D

# Artigos



R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D  
R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D

# Desafios e perspectivas para a inovação tecnológica no setor de energia elétrica

Máximo Luiz Pompermayer\*

A energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico de um país ou região. De alguma forma, está presente em toda a cadeia de produção, distribuição e uso final de bens e serviços. Igualmente importante é o papel da tecnologia no desenvolvimento equilibrado e sustentável dos vários setores da economia, principalmente o de energia elétrica.

Quanto mais se agrega conhecimento e tecnologia a um produto ou serviço, maior seu valor de mercado e seu benefício para a sociedade. Geram-se empregos qualificados, melhoram-se a distribuição de renda e a qualidade de vida das pessoas, dinamiza-se a economia e aumenta-se a soberania do país.

Responder a essas demandas tem sido um desafio constante para muitos países, notadamente para os menos desenvolvidos. Ciente disso, o Brasil investiu vultosos recursos na criação de infraestrutura de suprimento de energia elétrica e desenvolveu tecnologia importante em segmentos específicos, como a geração hidrelétrica, a transmissão em longas distâncias e a integração de sistemas elétricos. Essa liderança foi e continuará sendo fundamental para o País, mas é preciso ir além.

A abertura do mercado à concorrência internacional e a privatização de segmentos importantes da economia brasileira deram origem a novos paradigmas e desafios, entre os quais o aumento substancial da dependência tecnológica do setor de energia elétrica. Nesse novo ambiente de negócios, prover serviços de energia com qualidade, segurança, sustentabilidade ambiental e modicidade tarifária requer mais que liderança em segmentos específicos. É preciso amplo domínio da base tecnológica da cadeia de suprimento do setor, que inclui componentes eletrônicos e materiais nanoestruturados, entre outros itens cujo domínio tecnológico tem sido privilégio de poucos países.

Diante desse quadro, foi instituída a Lei n.º 9.991, de 24 de julho de 2000, que obriga as empresas de energia elétrica a destinarem parte da receita operacional líquida para projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Apesar das dificuldades naturais na implantação desse mecanismo, foram criadas as bases para a capacitação tecnológica do setor e para a redução de sua dependência de tecnologia produzida no exterior.

Ao longo desses quase dez anos do novo modelo de investimento em P&D, cerca de um bilhão e meio de reais foram investidos, milhares de projetos foram desenvolvidos e centenas de instituições de pesquisa e profissionais altamente qualificados estiveram envolvidos nesse processo. Além de formação profissional e capacitação tecnológica, novos materiais, equipamentos e sistemas foram desenvolvidos e aplicados em diversas áreas do setor, reduzindo custos, gerando receitas, melhorando a qualidade dos serviços prestados e contribuindo para a modicidade tarifária.

Uma vez superadas as dificuldades iniciais do novo modelo de investimento em P&D no setor de energia elétrica, e considerando o volume de investimento já realizado e o vasto acervo de conhecimento gerado, tornam-se imprescindíveis esforços na elaboração de projetos com maior aplicabilidade e impacto técnico-econômico para o setor. Essa mudança ou evolução já vinha ocorrendo, naturalmente, mas ganhou

impulso com as novas diretrizes da ANEEL para aplicação dos recursos. Além de ênfase nos resultados e flexibilidade na execução dos projetos, foram criados mecanismos de incentivo à geração de produtos com maior potencial de inserção no mercado e/ou efeito prático para o consumidor final de energia. Espera-se, assim, que os novos projetos de P&D tenham maior contribuição no desenvolvimento tecnológico do setor de energia elétrica, reduzindo sua dependência de conhecimento e tecnologia produzidos no exterior.

Para isso, entretanto, é necessário superar a visão equivocada de que se trata do mero cumprimento de um mecanismo legal ou regulatório. É preciso encará-lo como uma oportunidade ímpar para geração de novos negócios, redução de custos e melhoria substancial da qualidade dos serviços prestados. Oportunidade única para acelerar a aproximação entre o setor acadêmico e o produtivo e para formar alianças estratégicas entre fabricantes de tecnologia e empresas de energia elétrica, instituições de pesquisa e empresas de base tecnológica. Pode-se, ainda, mitigar e compartilhar riscos inerentes ao desenvolvimento de novos produtos e sua inserção no mercado.

É necessário, também, reconhecer o papel da tecnologia nesse novo ambiente de negócios, inserindo o desenvolvimento tecnológico no planejamento estratégico da empresa e a inovação tecnológica em seu cotidiano. É preciso adotar uma postura mais favorável à experimentação dirigida e incorporar os resultados desse processo no dia-a-dia das atividades corporativas ou empresariais.

É indispensável, portanto, que os dirigentes das empresas de energia elétrica encarem esse mecanismo como um recurso estratégico para fazer frente aos desafios tecnológicos e organizacionais do setor, estimulando a criação de uma estrutura permanente de gestão dos recursos previstos em lei e do processo de inovação tecnológica de suas atividades.

Igualmente importante é a coordenação de esforços para atuação conjunta de empresas de energia e instituições de pesquisa em temas de grande relevância ou complexidade, como se verificou na elaboração de projetos estratégicos para o setor. A pulverização dos investimentos em projetos isolados, sem planejamento ou definição de prioridades, gera redundâncias e restringe o potencial de avanço tecnológico em segmentos essenciais.

Nesse contexto, tornam-se indispensáveis à consolidação e ao aprimoramento desse importante mecanismo de suporte ao desenvolvimento tecnológico e de estímulo à inovação no setor de energia elétrica os seguintes elementos: planejamento estratégico, parcerias institucionais, gestão permanente e compromisso com resultados.

Conjugado com outros instrumentos de apoio à inovação tecnológica, como os fundos setoriais e a Lei de Inovação (Lei n.º 10.973/2004), esse mecanismo poderá se tornar um paradigma para outros setores da economia. Para tanto, é preciso assimilar bem o conhecimento gerado, preservar as conquistas alcançadas e empreender esforços conjuntos e coordenados para intensificar ações que irão assegurar a aplicação racional dos recursos previstos em lei e promover a emancipação tecnológica do setor.

# Desafios e perspectivas de P&D na geração de energia elétrica

Aymoré de Castro Alvim Filho\*

Muito embora a água ainda permaneça por muito tempo como a principal fonte para a geração de energia elétrica no Brasil, a construção de usinas hidrelétricas com reservatórios, de qualquer porte, tem se tornado cada vez mais difícil diante das restrições impostas pelo atual marco regulatório de preservação do meio ambiente.

Assim, os grandes reservatórios com capacidade de regularização plurianual que foram, até a década 1980, o principal recurso para a expansão do parque gerador, deixaram de ser uma opção factível para o planejamento do setor elétrico. Quebrou-se, assim, um dos principais paradigmas para a política energética do país.

Este fato provoca uma expectativa de alterações bastante significativas no segmento de geração de energia elétrica, principalmente no que concerne à adequação do planejamento e, ainda mais, da operação do sistema elétrico frente à diminuição da capacidade de armazenamento do recurso hídrico concomitantemente à participação cada vez mais importante de fontes de energia alternativas, renováveis ou não renováveis, na matriz elétrica.

Dessa tendência surgem dois grandes desafios para o segmento de geração. Um deles é a utilização apropriada, da conversão ao despacho da energia elétrica, dos diversos recursos que, devido a seu potencial, de alternativos podem passar a ser cada vez mais importantes na formação da matriz elétrica. Outro desafio é ter um planejamento eficaz que promova a evolução da matriz elétrica da forma mais eficiente possível, tanto do ponto de vista estritamente econômico quanto do aspecto sócio-ambiental, a fim de garantir a segurança no abastecimento de forma sustentável.

Neste momento é quase certo um aumento significativo na participação do gás natural e das fontes alternativas renováveis, como o vento e a biomassa, recursos que requerem soluções nas mais diversas fases do processo de geração de energia elétrica, da exploração ao despacho da energia.

No caso do aproveitamento do gás natural, há um vasto campo a ser pesquisado na consideração das incertezas intrínsecas à utilização desse combustível, principalmente na forma de Gás Natural Liquefeito (GNL), no planejamento e na programação eletroenergética. Os modelos atuais ainda se encontram direcionados à utilização quase que exclusiva do recurso hídrico, sem considerar características de outros recursos que, ao aumentarem sua participação

na matriz elétrica, podem alterar seriamente a eficiência desses modelos. Ainda em relação ao gás natural, esperam-se, também, demandas de P&D para o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologia nacional no processo de conversão da energia, seja no aumento do desempenho das turbinas, seja nos procedimentos de manutenção preditiva para redução das taxas de indisponibilidade.

No âmbito do aproveitamento de fontes alternativas renováveis, citam-se desafios ao melhor aproveitamento da biomassa, como, por exemplo, o desenvolvimento de tecnologias eficientes para a gaseificação da biomassa associada a plantas geradoras de ciclo combinado. Há também procura por soluções eficientes para o uso de rejeitos urbanos para produção de energia elétrica.

Ainda no âmbito da energia renovável, ressalta-se que um aumento significativo na participação da energia eólica suscitará demanda por projetos de P&D em relação ao desenvolvimento de tecnologia nacional para o sistema de conversão de energia, do gerador ao rotor da turbina, passando, inclusive, pelos sistemas de controle. Há também expectativas de demanda de P&D no tratamento da incerteza na disponibilidade do recurso eólico, tanto no despacho quanto na programação dessas usinas.

Não se pode deixar de citar a busca por aprimoramentos ou mesmo por alternativas ao modelo de planejamento eletroenergético atualmente utilizado pelo setor. Sobre esse assunto, há alguns estudos patrocinados por diferentes agentes do setor, o que demonstra essa necessidade.

Outra fonte de demanda importante para projetos de P&D é o aumento da participação da energia nuclear, sinalizado publicamente pelo Governo federal e em discussão nos diversos segmentos da sociedade.

Por fim, o entendimento é de que, independentemente das opções a serem escolhidas para a composição da matriz elétrica, a partir de agora, é certo que a respectiva evolução será realizada com a substituição das hidrelétricas de grandes reservatórios por outras tecnologias, cujas especificidades, mesmo no caso de usinas a fio d'água, suscitam grandes alterações na maneira de operar e planejar o sistema. Isso é suficiente para criar muita expectativa quanto à necessidade de inovação tecnológica no segmento de geração do setor elétrico brasileiro.

\*Especialista em Regulação da Superintendência de Regulação dos Serviços de Geração da Aneel

# Desafios e perspectivas de P&D na transmissão de energia elétrica

André Meister\*  
Júlio César Rezende Ferraz \*

O setor de transmissão de energia tem importância estratégica para o País, pois proporciona acesso aos agentes do setor elétrico, interligação dos submercados de energia e promove o desenvolvimento dos diversos setores produtivos. A ampliação do sistema de transmissão tem por objetivo atender com confiabilidade o aumento da oferta e da demanda por energia. Dada a relevância do tema, o Governo federal prevê investimentos da ordem de R\$ 280 bilhões em infraestrutura energética até 2010. O objetivo é estimular, prioritariamente, a eficiência produtiva dos principais setores da economia, impulsionar a modernização tecnológica, acelerar o crescimento nas áreas em expansão e ativar atividades deprimidas.

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017 tem entre suas metas construir, no âmbito da Rede Básica, aproximadamente 37 mil km de linhas de transmissão e adicionar capacidade de transformação da ordem de 70 mil MVA. A ANEEL tem papel preponderante na viabilização destes projetos por meio da realização dos leilões de transmissão e pela regulamentação das políticas públicas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

As atividades de P&D no âmbito da transmissão têm sido focadas em algumas áreas. Uma delas é a otimização de equipamentos elétricos, cuja ação permite ampliar a capacidade de transmissão e aumentar a confiabilidade, o que resulta em acesso a diversas opções de controle de emergências e redução de custos de operação e manutenção. Outro destaque é o desenvolvimento de novos materiais. Isso contribui para que as instalações tenham maior durabilidade e sejam menos suscetíveis a defeitos, o que reduz falhas do sistema de transmissão e a incidência de blecautes.

O desenvolvimento de novas configurações e equipamentos modulares que permitam rápida recomposição do sistema em caso de falha sistêmica também tem sido alvo dos projetos de P&D, assim como a criação de ferramentas computacionais para melhorar a operação e o planejamento do sistema. Os resultados desses trabalhos permitem a detecção e respostas mais rápidas a falhas sistêmicas e distúrbios, a melhoria das rotinas de operação, o aumento da estabilidade sistêmica local e regional e a identificação de benefícios econômicos e de limitações na operação do sistema.

Outros projetos têm sido dedicados ao aumento da qualidade e disponibilidade de dados em tempo real, por meio do desenvolvimento de novos sensores de estado para coletar dados essenciais de corrente nos circuitos, tensões de barras, dentre outros, o que melhora a identificação e o tratamento de problemas na rede. Finalmente, algumas empresas têm se dedicado à formulação de práticas para reduzir impactos ambientais, tais como os de natureza visual, o excesso de ruído em instalações urbanas ou mesmo a destruição da flora e fauna em faixas de passagem de linhas de transmissão.

De modo geral, os benefícios destas atividades de pesquisa e desenvolvimento vão do aumento da confiabilidade do sistema elétrico à diminuição dos custos da transmissão e incluem itens como melhoria da segurança das instalações elétricas e de seus usuários, além da redução de impactos ambientais.

A ANEEL procura reconhecer as eventuais lacunas nas atividades de P&D. Esse processo inclui a identificação das necessidades de curto e longo prazo, a revisão do conjunto das atividades de pesquisa e desenvolvimento atuais e as considerações sobre os potenciais cenários do setor elétrico em relação à pesquisa científica. Para tanto, a Agência avaliou temas estratégicos cujo desenvolvimento tem interesse

nacional, além de grande relevância para o setor elétrico por envolverem elevada complexidade em termos científicos e tecnológicos e baixa atratividade para investimento como estratégia empresarial isolada ou individual. Além disso, esses temas podem necessitar de esforços conjuntos e coordenados de várias empresas e entidades executoras e de grande aporte de recursos financeiros. Assim, foram propostos os seguintes temas na área de transmissão:

- **Metodologia para Alocação dos Custos do Sistema de Transmissão** – A definição de tarifas para os serviços de transmissão requer o desenvolvimento e a validação de metodologias e o aperfeiçoamento permanente dos aspectos de valoração dos custos de transmissão, pela importância dos seus sinais econômicos ao mercado.

- **Ensaio de Transmissão de Energia em Linha de Pouco Mais de Meio Comprimento de Onda** – Estudos indicam que, para linhas de transmissão de mesmo comprimento, a estimativa de custo, por unidade de potência transmitida, de um sistema de transmissão baseado em troncos distantes de pouco mais de meio comprimento de onda é da ordem de 25% dos custos de um sistema de transmissão em corrente alternada tradicional e da ordem de 75% dos custos de um sistema de transmissão em corrente contínua.

- **Alternativas Não Convencionais para Transmissão de Energia Elétrica em Longas Distâncias** – O desenvolvimento de novas alternativas que permitam aumentar a capacidade de transporte e a confiabilidade do sistema elétrico é um fator imprescindível para o desenvolvimento tecnológico do setor elétrico. Isso pode ser obtido por meio de tecnologias otimizadas de transmissão.

- **Aplicações de Novas Tecnologias em Sistemas de Transmissão** – O uso de equipamentos baseados em novas tecnologias que permitam aumentar a capacidade de transporte, a confiabilidade e a eficiência do sistema elétrico é um fator imprescindível para o desenvolvimento tecnológico do setor elétrico. Isso pode ser alcançado por meio de novos materiais ou componentes, bem como pelo desenvolvimento de tecnologias otimizadas de transmissão.

É importante destacar que a própria atividade de regulação muitas vezes impacta o desenvolvimento de atividades de P&D. Como exemplo, pode-se citar a Resolução Normativa ANEEL nº. 270/2007, que trata da qualidade do serviço público de transmissão de energia elétrica associada à disponibilidade das instalações integrantes da Rede Básica que compõem o Sistema Interligado Nacional. Essa resolução prevê que o pagamento base de uma “Função Transmissão” pode estar sujeito a um desconto pela indisponibilidade ou restrição operativa temporária. A aplicação de novas tecnologias pode eventualmente se traduzir em diminuição de receita ao agente de transmissão. Assim, apresenta-se como um grande desafio o aperfeiçoamento da norma, de forma a permitir que avanços tecnológicos possam ser compatíveis com as exigências de disponibilidade das instalações elétricas. Um possível encaminhamento para a questão seria permitir um período de testes para a implementação e consolidação da nova tecnologia.

Por fim, ressalta-se que a política de P&D para o setor de transmissão tem trazido bons resultados aos usuários do sistema e ao interesse público em geral. A sociedade é a grande beneficiária do produto de pesquisa, seja por meio da modicidade tarifária ou pela confiabilidade do sistema de transmissão que colabora para o desenvolvimento econômico do País.

\* Especialistas em Regulação da Superintendência de Regulação dos Serviços de Transmissão da Aneel

# Novos tempos na distribuição de energia elétrica no Brasil

Jaconias de Aguiar\*

Historicamente, o setor elétrico, em especial o segmento de distribuição de energia elétrica, sempre se caracterizou pela inércia tecnológica. Porém, na última década, temos observado um crescente uso de novos e modernos equipamentos em diversas áreas do setor.

A partir da edição da Lei nº 9.991/2000, que dispõe sobre investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, observa-se significativo avanço tecnológico e abre-se uma imensa janela de oportunidades e desafios.

Com recursos financeiros crescentes para aplicação nos programas de P&D, a ampliação da base tecnológica, com aproveitamento de serviços e recursos eletrônicos e de telecomunicações tem proporcionado maior velocidade na ação das empresas. Essa nova estruturação é caracterizada pela implantação de redes inteligentes e resulta em novos aspectos para a prestação do serviço e, conseqüentemente, em novas perspectivas para o setor elétrico, em especial para as distribuidoras, consumidores e também ao órgão regulador.

A ANEEL desempenha papel importante na implantação de infraestrutura para gerar inovação tecnológica em inúmeros segmentos, à medida que exerce a sua competência para regulamentar os investimentos em programas de P&D, avaliar e aprovar a execução das pesquisas, bem como acompanhar os resultados alcançados.

Esse virtuoso cenário tem propiciado o desenvolvimento de novos sistemas, softwares, materiais, dispositivos e equipamentos para aplicação em diversas áreas do setor. No campo da distribuição de energia elétrica não podemos deixar de destacar o desenvolvimento e as várias aplicações decorrentes desse auspicioso panorama onde, sem sombra de dúvida, se sobressaem as chamadas “redes inteligentes” ou, como querem alguns, as “smart grids” que, associadas aos avanços produzidos em outras áreas do conhecimento humano, prometem uma revolução há muito aguardada e desejada na distribuição de energia elétrica no Brasil. Somente podemos falar em “smart grid” à medida que nos afastamos do campo teórico ou da liberdade de pensar o futuro como uma retumbante odisséia de devaneios espetaculares sem nenhuma aplicação prática e concreta.

Já ultrapassamos essa fase e efetivamente temos identificado fatos concretos que nos provam que o futuro já chegou. Chegou para ficar, para reduzir custos, proporcionar maior conforto aos consumidores e permitir às concessionárias de serviço público considerável melhoria na prestação de tão importante serviço aos brasileiros. De fato, as modernas subestações de distribuição de energia elétrica sem a permanente presença de operadores e sofisticados sistemas de controle medição e telecomando das redes de distribuição são realidade a serviço da cidadania, melhoria na prestação de serviço, redução de custos operacionais, ganhos de produtividade e certamente irão contribuir para a modicidade tarifária.

Outro ponto de destaque neste espetacular cenário de evolução tecnológica é a associação entre os setores de energia elétrica e telecomunicações. Está muito próximo o momento em que teremos, em escala comercial, uma única rede destinada aos serviços de distribuição de energia elétrica e de comunicação, inclusive de voz e de dados.

A estruturação da gestão do conhecimento e as formas e mecanismos de compartilhar os ganhos advindos dos programas de P&D continuam sendo um desafio a ser superado tanto pelo órgão regulador, no caso a ANEEL, quanto pelas empresas que aplicam os recursos pagos pelos consumidores de energia elétrica.

O conceito de P&D exprime uma idéia coletiva, com um conjunto de atividades sistêmicas que tem por finalidade aumentar

o acervo de conhecimentos técnico-científicos e usá-los no projeto e realização de aplicações práticas. Pesquisa e Desenvolvimento são parte de um complexo de atividades empresariais que, no caso do setor elétrico brasileiro, têm por finalidade a capacitação tecnológica das empresas de energia elétrica para geração de novos processos ou produtos, ou para o evidente aprimoramento do que já existe.

Nesse contexto, dentre as ações já desenvolvidas pelo Governo federal para melhoria do desempenho empresarial brasileiro, as empresas do setor elétrico têm a obrigação de realizar os investimentos em P&D que, associados a outras políticas públicas tais como a criação dos fundos de desenvolvimento setoriais, da Rede Brasil de Tecnologia, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial (CNDI), entre outros, buscam, de modo geral, reverter os baixos índices de recursos aplicados em P&D no Brasil.

A articulação do Governo e das instituições de pesquisa com o mercado e a sociedade certamente caminha na busca de uma maior autonomia tecnológica e efetivamente garante a defesa dos interesses nacionais. No caso específico do setor elétrico brasileiro, a regulamentação existente contribui de forma indubitável para a consecução deste objetivo.

Observa-se, ainda, que os melhores projetos e, conseqüentemente, os melhores resultados advindos dos programas de P&D no setor elétrico são encontrados naquelas empresas que deixaram para trás a visão míope e obliterada de fazer P&D apenas por obrigação, passando a administrar o tema como uma oportunidade de novos negócios e de avanços em relação à qualidade do produto e do serviço de energia elétrica.

Essa visão significa maior autonomia tecnológica e soluções inovadoras para velhos e conhecidos problemas. Vencida a barreira inicial na implantação dos programas de pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico, observa-se hoje a existência de inúmeras empresas especializadas na elaboração de propostas e execução das pesquisas, com a construção de relacionamentos benéficos à sociedade e às concessionárias de serviço público de distribuição.

O caminho até agora percorrido tem se mostrado eficiente no alcance dos objetivos propostos pela Lei nº. 9.991/2000. Há, sim, novos tempos na distribuição de energia elétrica no Brasil, mas é evidente que também existe um longo e auspicioso caminho a ser percorrido que, sem sombra de dúvida, levará o País a ocupar novos e destacados espaços no campo da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico. Tudo isso, efetivamente, contribuirá para avanços, modicidade tarifária, melhoria da qualidade do atendimento e mais satisfação da sociedade brasileira em geral e dos consumidores em particular.

Quando se avaliam as reais condições hoje existentes, podemos afirmar que há segurança jurídica suficiente para investimentos em pesquisa e inovação tecnológica. É preciso que os avanços constatados tenham continuidade de forma a contribuir de forma efetiva para a modernização do Brasil como um todo e, particularmente, do setor elétrico brasileiro.

A forma de ver o mundo e as necessidades advindas desse processo estão mudando de forma acentuada. Não é possível pensar em retroceder, mas, sim, em avançar e buscar novas e melhores alternativas à sociedade brasileira. O reconhecimento da importância do tema, hoje restrita aos meios acadêmicos e a alguns poucos iniciados, certamente, em breve, será do conhecimento da sociedade e continuará contribuindo de forma efetiva para que o Brasil seja assumidamente um país desenvolvido e que a sociedade mais justa possa colher os frutos do esforço nacional ora em andamento.

\* Superintendente de Regulação dos Serviços de Distribuição (SRD) de 22/09/2006 a 13/04/2009 e Diretor da ANEEL de 19/12/1997 a 18/12/2001 (1º mandato) e de 28/12/2001 a 27/12/2005 (2º mandato)

# Pesquisa e Desenvolvimento contra o furto de energia

Ricardo Vidinich\*  
Gustavo Alexandre Lopes Nery\*\*

As perdas sempre fizeram parte dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Por serem intrínsecas ao sistema, sua redução é tema de estudos constantes.

Para reduzir essas perdas no setor elétrico, novos métodos e materiais têm sido pesquisados, observando-se os custos envolvidos, pois a tarifa de energia elétrica é composta essencialmente da remuneração do investimento, da depreciação e dos custos de operação e manutenção, itens diretamente influenciados pelos materiais envolvidos.

Como exemplo da interferência dos materiais utilizados pelo setor elétrico nas tarifas, sabe-se que, tecnicamente, o melhor condutor de energia elétrica é o ouro. Entretanto, usar esse metal seria tão mais caro que adotar o alumínio. Por razões econômicas, as perdas provenientes do uso do alumínio passam a ser aceitáveis dada a significativa redução tarifária que a opção representa.

A perda total anual de energia elétrica no Brasil, hoje, é da ordem de 52 Terawatts/hora (TWh). Contudo, nesse montante não estão apenas as perdas técnicas, mas também as chamadas perdas comerciais, que representam 44% do total, decorrentes de erros de medição, furto e fraudes nos sistemas de medição.

O furto e as fraudes respondem por perdas de 23 TWh por ano, energia equivalente ao fornecimento anual para 19 milhões de residências com consumo médio de 100 kWh/mês.

O custo anual das perdas não técnicas para a sociedade brasileira é de aproximadamente R\$ 5,5 bilhões, valor que chega a R\$ 7,3 bilhões ao acrescentarmos os tributos (ICMS, PIS e Cofins) que deixam de ser arrecadados com essas irregularidades. Para se ter uma idéia da dimensão do problema, esse valor equivale à metade do que o Estado brasileiro destina anualmente ao Programa Bolsa-Família.

O Decreto nº. 4.562/2002, no § 1º do art. 1º, estabeleceu que esse prejuízo compoinha, de forma explícita, as tarifas de energia elétrica, pois devem ser consideradas as parcelas apropriadas dos custos de transporte e das perdas de energia elétrica, bem como os encargos de conexão e os encargos setoriais de responsabilidade do segmento de consumo.

Além do aspecto financeiro, o furto de energia prejudica a integridade física da rede elétrica, pois causa sobrecargas e desligamentos indevidos no sistema de distribuição. Isso prejudica a qualidade e aumenta, ainda mais, os custos para a adequada prestação do serviço à medida que os investimentos necessários em distribuição, transmissão e geração de energia são remunerados por quem paga corretamente sua conta de luz.

O furto de energia, crime popularmente conhecido como "gato", possui componentes sócio-culturais que dificultam muito o seu combate, pois frequentemente nos deparamos com comportamentos que, em maior ou menor intensidade, estimulam a prática deste delito. Um deles é o desconhecimento de que o furto de energia é crime, com pena de reclusão, de um a quatro anos, e multa. Outro fator é a relativa facilidade de acessar o sistema de medição, mantido sob a guarda do consumidor. Observa-se também a dificuldade da prestadora do serviço em identificar o furto, além do sentimento de ausência de punição por parte do criminoso, o que pode levar à equívoca interpretação de que o risco compensa o ganho.

Em áreas de maior complexidade urbana, com ocupações não planejadas e altos índices de violência, as perdas comerciais são sistematicamente maiores. Entretanto, contrariamente ao senso comum, o furto de energia não está presente somente entre os consumidores de baixa renda, mas também nas classes média e alta, comércios, empresas e indústrias.

As técnicas associadas à fraude de energia elétrica evoluíram a ponto de originar a denominada "indústria da fraude", na qual o mau consumidor, interessado em reduzir a sua fatura de energia pelo furto, deixou de ser o responsável pela execução do crime e passou a contratar os serviços de quadrilhas especializadas. Essas quadrilhas são compostas por indivíduos com conhecimento técnico sobre medição e sobre os regulamentos do setor elétrico, que servem como

argumentos para convencer o consumidor a realizar a fraude.

Após a prática da fraude, essas quadrilhas realizam o monitoramento do consumo de energia de forma a evitar uma verificação por parte da distribuidora. Se realizada a inspeção e descoberta a fraude, as quadrilhas orientam os consumidores a identificar nulidades no processo de apuração da energia não faturada e sobre as possibilidades de recursos aos órgãos reguladores.

Infelizmente, os métodos convencionais têm se mostrado ineficazes na luta contra o furto de energia, o que demonstra a necessidade de desenvolvimento de novos métodos de ação contra essa prática crescente em todo o território nacional.

Uma das formas principais de apoiar o combate à fraude é o desenvolvimento de projetos de P&D voltados à criação de novos métodos contra o furto e a fraude nos sistemas de distribuição.

A Lei nº. 9.991/2000 estabeleceu inicialmente que todas as distribuidoras de eletricidade deveriam aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 0,50% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico. Esses recursos são divididos entre o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento regulado pela ANEEL (P&D/ ANEEL), o Ministério das Minas e Energia (MME) e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT).

Com a edição do Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, aprovado pela Resolução Normativa nº 316/2008, os investimentos em P&D deverão ser orientados para temas estratégicos ou prioritários, a fim de estimular o surgimento de invenções e inovações tecnológicas relevantes para o setor elétrico brasileiro. Temas e subtemas prioritários são aqueles que compreendem estudos voltados à geração de conhecimentos que atendam aos principais desafios tecnológicos e prioridades do setor.

Medição, faturamento e combate às perdas comerciais estão entre os temas definidos pela ANEEL para investimento em pesquisa e desenvolvimento. Dentre os subtemas prioritários voltados à redução das perdas não-técnicas, destacam-se o desenvolvimento de tecnologias para combate à fraude e ao furto de energia elétrica, o diagnóstico, a prospecção e a redução da vulnerabilidade de sistemas elétricos ao furto e à fraude, o cálculo da energia economizada e agregada ao mercado após regularização de fraudes e o desenvolvimento de sistemas centralizados de medição, controle e gerenciamento de energia em consumidores finais.

No aspecto ambiental, não obstante o fornecimento de energia elétrica no Brasil ser predominantemente hidrelétrico, a capacidade adicional futura ampliará significativamente o uso de tecnologias térmicas, em função das restrições ambientais à construção de novas usinas hidráulicas, e terá como consequência o aumento da poluição local e da emissão gases de efeito estufa com a queima de combustível fóssil. Desta forma, o combate às perdas, e em especial ao furto de energia elétrica, contribuirá para ajudar o Brasil a melhorar a qualidade do ar, colaborando assim com os esforços globais de redução da emissão de gases de efeito-estufa.

Os benefícios do combate ao furto de energia são evidentes e, por essa razão, devem ser diariamente perseguidos por todos os agentes do setor elétrico.

Projetos que buscam reduzir as perdas comerciais ajudam a diminuir gastos, evitam emissões de gases e impactos ambientais e têm implementação mais rápida que o aumento da oferta de energia pela construção de novas usinas. No caso das áreas com ocupações urbanas desordenadas, a regularização das redes de distribuição acarreta vantagens técnicas e econômicas imediatas aos consumidores e às concessionárias, além de proporcionar benefícios de longo prazo à sociedade.

O combate ao furto de energia mostra-se, assim, uma ação que economiza energia, posterga investimentos em geração, transmissão e distribuição e contribui para modicidade tarifária.

# A pesquisa e o desenvolvimento sob a ótica do mercado de energia elétrica

Fabio Stacke Silva\*  
Frederico Rodrigues\*\*  
Ricardo Takemitsu Simabuku\*\*\*

O Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, aprovado pela Resolução Normativa ANEEL n.º 316, de 13 de maio de 2008 e baseado no princípio básico da maximização dos benefícios públicos dos programas, estabelece que os “projetos de P&D deverão estar pautados pela busca de inovações para fazer frente aos desafios tecnológicos e de mercado das empresas de energia elétrica”.

Salienta-se que os temas de P&D propostos pela ANEEL não são exaustivos e, nesse sentido, considera-se que a ótica para a investigação de avanços no setor elétrico não deve se restringir ao desenvolvimento de novas tecnologias nos segmentos de geração, transmissão e distribuição, mas também procurar abranger o aprimoramento de ferramentas econômicas que visem à eficiência do mercado de energia elétrica.

Com esse objetivo, foram incluídos pela ANEEL, no âmbito dos projetos estratégicos, estudos e aperfeiçoamentos voltados a subtemas de grande relevância para o setor elétrico brasileiro e que exigem um esforço conjunto e coordenado de várias empresas e entidades executoras interessadas no aprimoramento de mecanismos que possam impactar positivamente a comercialização de energia.

Dentre os estudos propostos como projetos estratégicos e que podem trazer benefícios ao desenvolvimento do mercado de energia elétrica, pode-se destacar o aperfeiçoamento do cálculo da curva do custo do déficit e a otimização do despacho hidrotérmico.

O Custo do Déficit de energia elétrica é um parâmetro fundamental para o planejamento da expansão da geração e para a programação da operação do Sistema Interligado Nacional (SIN), pois aos cenários de déficit de energia estão associadas severas penalidades decorrentes do modelo de otimização do despacho da geração, com impacto na formação do preço no mercado de curto prazo, o Preço de Liquidação de Diferenças (PLD). Esse elemento é usado na contabilização e liquidação das diferenças contratuais efetuadas no ambiente da Câmara de Comercialização de Energia (CCEE).

A curva de Custo do Déficit utilizada atualmente foi definida por meio da Resolução n.º 109, de 24 de janeiro de 2002, da extinta Câmara de Gestão da Crise de Energia (CGE), com base nas informações de Matriz Insumo-Produto, publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1996. A metodologia buscava valorar a perda econômica decorrente do contingenciamento do consumo de energia elétrica por meio da avaliação da elasticidade do Produto Interno Bruto (PIB) com relação ao consumo de energia elétrica.

Desde então, a curva de Custo do Déficit de energia elétrica tem sido atualizada anualmente pela ANEEL, via resolução homologatória, com base na variação do Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), conforme estabelecido pela Resolução ANEEL n.º 682, de 23 de dezembro de 2003.

Assim, na forma atual, o Custo do Déficit é dimensionado por uma metodologia que não guarda relação direta com o custo da expansão do sistema elétrico e não contempla eventos importantes para o setor, tal como o efeito do racionamento de energia elétrica dos anos de 2001 e 2002 e as alterações na matriz energética brasileira, que incluem o crescimento da participação de geração termelétrica e a atual conjuntura recessiva mundial, verificada a partir do último trimestre de 2008.

A Resolução ANEEL n.º 682/2003 estabelece, ainda, que cabe à ANEEL, em conjunto com a CCEE e o Operador Nacional do Sistema (ONS), avaliar a necessidade de estabelecer novas regras para determinação da curva de Custo do Déficit de energia elétrica.

Desse modo, considera-se relevante para o setor elétrico brasileiro o desenvolvimento de uma metodologia de cálculo do Custo do Déficit de energia elétrica capaz de refletir o cenário econômico atual e projetar mais fielmente o prejuízo a ser incorrido pela sociedade em caso de restrição ao suprimento de energia elétrica. Também é necessário fornecer uma sinalização mais precisa para o planejamento da expansão estrutural da geração e da transmissão no SIN.

O planejamento eletroenergético do SIN constitui um problema de grande importância e de extrema complexidade, devido a diversas características, como a impossibilidade de prever a disponibilidade de água (afluências futuras às usinas), o que torna a decisão sobre a operação um

problema essencialmente estocástico. Outra peculiaridade refere-se às interdependências temporal (quanto à disponibilidade do recurso) e espacial (quanto à operação das usinas hidroelétricas em cascata), que fazem com que as opções para a operação no futuro sejam fortemente influenciadas pela decisão tomada no presente.

Outro fator que dificulta o planejamento do SIN diz respeito ao tamanho e à quantidade dos reservatórios de água associados às hidrelétricas e à necessidade de contemplar um horizonte plurianual (compatível com a capacidade de regularização dos reservatórios), pois agregam muitas variáveis à decisão de operação, o que o torna um problema extremamente complexo. Além dessas características, deve-se observar que a utilização da água dos reservatórios para geração de energia elétrica pode restringir o uso múltiplo desse recurso como, por exemplo, para atividades de navegação, irrigação, saneamento, dentre outras. Finalmente, o problema referente à decisão de operação contempla características não-lineares, como a produtividade das hidrelétricas e a função de custo das termelétricas.

Atualmente, o ONS utiliza, para a realização do planejamento da operação energética do SIN, a versão 14 dos softwares NEWAVE (Modelo para otimização hidrotérmica para subsistemas equivalentes interligados) e DECOMP (modelo para otimização da operação de curto prazo com base em usinas individualizadas), ambos desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), conforme autorização da ANEEL via despachos n.º 2.707, de 22 de julho de 2008, e n.º 3.551, de 5 de dezembro de 2007.

A cadeia de modelos formada pelo NEWAVE e DECOMP, contudo, tem fornecido, principalmente nos dois últimos anos, resultados considerados por muitos como incoerentes em relação à situação eletroenergética do momento. Isso tem abalado a credibilidade desses modelos junto ao setor elétrico nacional, mesmo com as constantes modificações a que têm sido submetidos com objetivo de aumentar a consistência das respostas fornecidas.

Tais resultados impactam de modo direto o mercado de energia, pois a mesma base de dados e os mesmos programas computacionais são utilizados pela CCEE, por meio das Regras de Comercialização, para a determinação do preço PLD, com influência significativa sobre a comercialização de energia no mercado livre.

Dessa forma, a ANEEL considerou adequado propor, no âmbito dos temas de P&D, o desenvolvimento de outros modelos de otimização do despacho hidrotérmico para fins de planejamento da operação eletroenergética, que, em última instância, visam atender ao mercado de energia elétrica com menor custo possível e garantir a oferta futura de recursos energéticos.

Entende-se que o desenvolvimento de modelos alternativos poderá servir para otimizar os resultados dos programas atualmente utilizados, além de propiciar a análise comparativa e incentivar a formação de recursos humanos e materiais voltados para o desenvolvimento do mercado de energia.

Esses exemplos de estudos direcionados para a busca de resultados, baseados na gestão compartilhada e na transparência, podem contribuir para o desenvolvimento de um mercado competitivo, com equilíbrio, segurança e eficiência e que vise à modicidade dos preços para energia elétrica.

Entretanto, esses exemplos não esgotam todas as possibilidades de prospecção de alternativas de desenvolvimento do mercado de energia, onde diversos outros aspectos têm condições de serem explorados. Tais atividades têm grande importância, no momento atual, tendo em vista sua finalidade de auxiliar na definição de rumos, na indicação de métodos e técnicas para uma gestão eficiente de programas e projetos, na busca de resultados concretos e relevantes, na identificação dos principais gargalos tecnológicos e oportunidades do segmento de comercialização de energia, para seu fortalecimento e expansão.

Com essa visão, a ANEEL procura criar condições infraestruturais para que o mercado se desenvolva e forneça serviços de eletricidade com qualidade e segurança.

\* Especialista em Regulação da Superintendência de Estudos Econômicos do Mercado (SEM)

\*\* Superintendente da SEM

\*\*\* Assessor da SEM



R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D  
R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D

projetos de  
**geradoras**



R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D  
R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D R&D



# CEMIG

## Sistema controla eficiência de termelétrica

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) desenvolveram um aplicativo para cálculo de eficiência de termelétricas que ajuda na manutenção do funcionamento da Usina Térmica do Barreiro (UTB), em Belo Horizonte.

A ferramenta possibilita, ainda, a manobra das unidades de forma a garantir operação na faixa de potência econômica, com menor consumo de combustível, e aponta as prováveis causas de queda no rendimento da usina.

A UTB funciona com diversos tipos de combustíveis, como gás de alto-forno, gás natural e alcatrão, que podem ser combinados de acordo com a demanda de geração. Isso causa variações significativas no desempenho da termelétrica, mas o Sistema Especializado para Cálculo de Eficiência (SECE) auxilia no gerenciamento de insumos e de estratégias de operação.

A fase de testes do sistema de cálculo de eficiência em tempo real demonstrou que a ferramenta permite que a usina seja operada em faixa mais rentável e os custos de manutenção sejam otimizados, pois também pode auxiliar na identificação de degradações ou falhas nas diversas unidades e subunidades da usina. O SECE está em plena operação.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG)

**Título:** Pesquisa e Desenvolvimento de Monitoramento Contínuo da Eficiência de Usinas Térmicas

**Ciclos:** 2002/2003 e 2003/2004

**Investimento:** R\$ 364.656,34

**Execução:** Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

# Sistema Especializado para Cálculo de Eficiência

Carmela Maria Polito Braga<sup>(1)</sup>, Anísio Rogério Braga<sup>(2)</sup>, Márcio Fantini Miranda<sup>(3)</sup>,  
Fábio Gonçalves Jota<sup>(4)</sup>, Webber Eustáquio Pereira de Aguiar<sup>(5)</sup>

**Resumo** – Apresenta-se uma metodologia para cálculo e monitoramento contínuo da eficiência de uma usina termelétrica. A metodologia proposta baseia-se em recomendações de normas ASME (Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos) para cálculo de eficiência de termelétricas e balanços energéticos de entrada e saída de volumes de controle de subsistemas como caldeira, turbina, gerador, condensador e ejetores. Modelos matemáticos e procedimentos metodológicos para o cálculo de eficiências de uma termelétrica e respectivas subunidades foram implementados em um programa aplicativo denominado Sistema Especializado para Cálculo de Eficiência (SECE), dotado de interface gráfica de supervisão e bancos de dados compatíveis com padrão Ole for Process Control (OPC), facilmente integrável a sistemas supervisórios utilizados na indústria. O SECE é uma ferramenta de auxílio à operação e manutenção desenvolvido e personalizado para as peculiaridades da Usina Termelétrica do Barreiro (UTB), da CEMIG, onde foi testado e encontra-se em operação.

**Palavras-chave:** Eficiência Global, Monitoramento Contínuo, Normas ASME, Cálculo de Eficiência

## I. INTRODUÇÃO

O sistema especializado para monitoração de desempenho e eficiência de unidades, desenvolvido e personalizado para as demandas da Usina Térmica do Barreiro, em Belo Horizonte, integra um conjunto de ferramentas de auxílio às equipes de operação e manutenção. Suas principais funções são ajudar a manter a operação da usina térmica e a manobrar as unidades, adequadamente, para se operar em uma faixa de potência econômica, i.e., com menor consumo de combustível [1]. O SECE auxilia, também, na identificação de prováveis causas nos casos de degradação do rendimento da usina ou de suas unidades.

Os dados das variáveis de processo utilizados pelo SECE são coletados do sistema supervisório de operação da usina e são, primeiramente, validados passivamente (i.e. sem perturbar processo, equipamento ou instrumento) para eliminar erros de comunicação de sensores e ruídos espúrios, permitindo o cálculo da eficiência em tempo real das unidades integrantes da usina. Vale notar que sem o processo de validação de dados, erros nas medidas poderiam gerar resultados numéricos sem significado. O cálculo online de eficiência permite reconciliar o desempenho de unidades do ciclo termelétrico, em tempo real, com a eficiência global da usina, viabilizando a identificação particularizada do impacto dos variados subsistemas na eficiência global. Desta forma, a usina pode ser operada não apenas em uma faixa mais rentável, mas, também, ser mantida com custos de manutenção otimizados. Isto é possível porque a supervisão online de eficiências possibilita a identificação expedita, uma vez assegurada a consistência das diversas medidas, seja de degradações de equipamento e sistemas, i.e. faltas incipientes, ou falhas estruturais e de projeto, que afetam o desempenho da usina de forma significativa.

A validação da metodologia implementada no SECE foi realizada na usina UTB-CEMIG, que opera com múltiplos combustíveis, i.e. gás de alto-forno, gás natural e alcatrão. O fato de estes combustíveis poderem ser combinados de variadas formas para atender a demanda de geração de energia elétrica implica em variações significativas no desempenho da usina.

O SECE tem se mostrado de grande valia como ferramenta de avaliação online de eficiência para os operadores, indispensável no auxílio do gerenciamento de insumos e de estratégias de operação da termelétrica. Resultados experimentais do cálculo de eficiência global e de unidades da termelétrica UTB-CEMIG são apresentados para ilustrar a metodologia implementada no SECE.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A metodologia de cálculo de eficiência adotada neste trabalho considera as unidades de produção da Usina Térmica do Barreiro, como volumes de controle, conforme discriminado, a seguir, a partir da Figura 1. Estes limites de volumes de controle foram estabelecidos considerando-se as medições disponíveis nas fronteiras dos volumes e um agrupamento consistente com funções e processos que formam uma unidade coerente para manutenção e operação.

Para facilitar referências estabeleceu-se uma notação genérica para os volumes de controle que são numerados de 1 a 9 (vide figura 1). Os “dutos” de energia que saem dos volumes de controle são indicados com índices duplos pq. O primeiro índice, p, indica o volume de controle de origem do duto de energia q. Por exemplo, o volume de controle da Caldeira é indicado pelo número 1 (um) e apresenta cinco dutos (i.e. tubulação ou conjunto de tubulações que transportam energia) de saídas de energia numerados respectivamente 10, 11, 12, 13 e 14. A numeração sequencial de dutos de energia facilita a identificação dos ciclos de energia da água (1-2-3/4-5-1) e dos combustíveis (9-1-5) além de propiciar uma visão macroscópica dos fluxos de energia relevantes entre as unidades. Todas as perdas não mensuradas ou não identificadas explicitamente são agrupadas em um duto identificado com o segundo índice igual a zero, e.g. W10, ilustrado na figura 1. A eficiência das unidades e da UTB é definida como razões dos fluxos de energia de entrada e saída de cada unidade e a identificação sequencial dos fluxos de energia viabiliza sistematizar o cálculo e avaliar desempenho de forma integrada. Portanto, é importante se familiarizar com a notação apresentada na figura 1 para facilitar a interpretação dos cálculos de eficiência.

Os volumes de controle ou unidades definidos para a UTBA são designados (vide figura 1) como segue:

1. Caldeira
2. Turbina
3. Ejetores
4. Condensador
5. Bombas, aquecedores e desaeradores
6. Redutor-Gerador
7. Barramento (rede elétrica externa)
8. Captação de água e torres de resfriamento
9. Combustíveis

O cálculo de eficiência foi baseado nas normas ASME [2], [3], [4], [5], considerando o trabalho de Pena, 1983 [6], mas algumas adaptações foram necessárias para viabilizar o cálculo da eficiência ou desempenho das quatro unidades consideradas.

Primeiramente foi necessário considerar as condições do sistema de automação existente na Usina, como o fato de que algumas variáveis necessárias ao cálculo, de acordo com a norma, não possuem instrumentos de medição instalados. Outra consideração importante foi a extensão do cálculo em estado estacionário proposto pelas normas, para viabilizar o monitoramento em tempo real do sistema em cada um dos volumes de controle definidos. Em alguns casos foram especificados e adquiridos novos sensores, e em outros casos, foram assumidos valores médios de projeto para as variáveis.

(1)DELT-UFMG - carmela@ufmg.br  
(2)DEE-CEFET/MG - anisio@des.cefetmg.br  
(3)COLTEC-UFMG - fantini@coltec.ufmg.br  
(4)DELT-UFMG - fabio@ufmg.br  
(5)CEMIG - webber@cemig.br

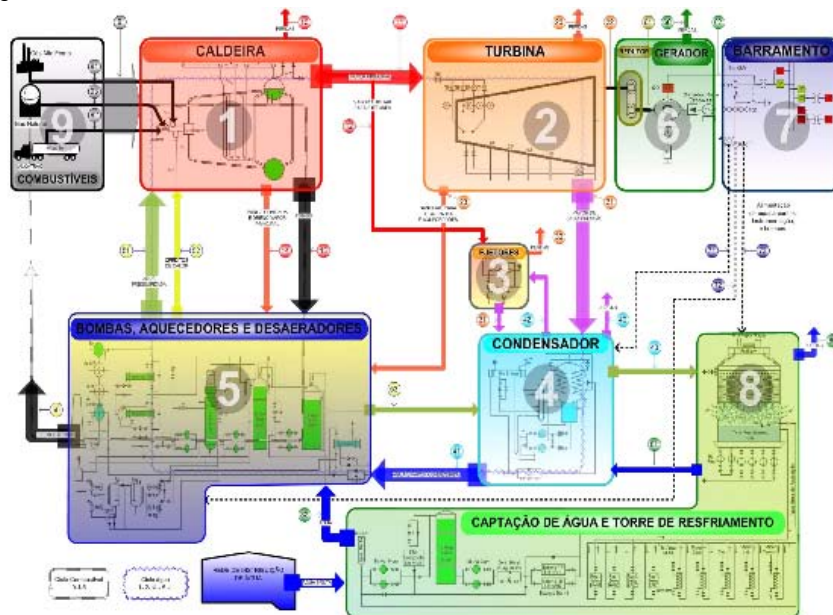


Figura 1: Diagrama em blocos da UTBA. O ciclo d'água é representado pela seqüência de unidades 1-2-3-4-5. O ciclo do combustível pela seqüência de unidades 9-1-7.

### III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Como consequências apresentam-se o sistema SECE em si e os resultados do cálculo de eficiência global e dos cálculos de eficiência para cada unidade da usina, executados por ele.

A estrutura de hardware do SECE constitui-se em uma estação de trabalho interligada às estações de operação e supervisão gerais da usina, apenas para leitura de dados.

O software aplicativo SECE é constituído por um conjunto de ferramentas para geração de bancos de dados e exibição de gráficos de tendência histórica das variáveis do processo, da eficiência calculada para as unidades e à eficiência global, de forma a permitir uma auditoria minuciosa de eventos impactantes na operação da usina térmica [1]. Neste sentido, uma interface amigável com os operadores da usina é imprescindível. A figura 2 mostra uma foto ilustrativa da estação de trabalho (a), dedicada para o cálculo e monitoramento em tempo real da eficiência da UTB, e da tela de operação e supervisão (b) do SECE.

Para ilustrar um resultado de um cálculo executado, exibido numa das interfaces de operação do SECE, apresenta-se a tendência da eficiência global da UTB na figura 3, juntamente com as eficiências calculadas para as demais unidades. Note que as unidades Ejetor e Condensador apresentam valores constantes pois os sensores não estavam conectados no processo, durante este período.

### IV. CONCLUSÕES

O cálculo de eficiência em tempo real é o principal componente do produto denominado Sistema Especializado para Cálculo de Eficiência (SECE), desenvolvido a partir da estrutura de hardware e software existentes na Usina, porém implementado em um estação de trabalho [PC] dedicada, com interface amigável para os operadores.

As proposições metodológicas apresentadas têm sido validadas experimentalmente na UTB, onde o SECE encontra-se em operação. O sistema de monitoramento de eficiência online de uma unidade termelétrica se apresenta como uma ferramenta valiosa para a operação e gerenciamento da unidade monitorada para viabilizar, a partir de dados do processo, ações que visam otimizar a operação da unidade.

A partir dos resultados obtidos conclui-se que o monitoramento de unidades geradoras em tempo real é viável e vantajoso, não apenas em termos da operação normal, mas também para auxílio na identificação de degradações ou falhas nas diversas unidades e subunidades da usina térmica.



Figura 2: Destaque da tela da estação de monitoramento ilustrando os gráficos de tendência da eficiência e variáveis do processo.

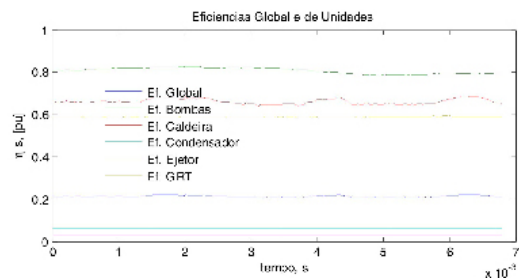


Figura 3: Tendência da Eficiência Global e das unidades Caldeira, conjunto Turbina Gerador [GRT], Condensador e Ejetor. Note que o Ejetor e Condensador apresentam valores constantes pois os sensores não estão conectados ao processo.

### V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da ANEEL ao P&D 098, que viabilizou a realização deste trabalho.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. M. Polito Braga; M. V. Carneiro, A. R. Braga; M. F. Miranda ; M. L. Araújo, ; M. A. M. Persechini, W. E. P. Aguiar; F.G. Jota. "Metodologia para o Desenvolvimento de um Sistema Especializado para o Cálculo de Eficiência da Usina Térmica do Barreiro". In: Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2005, Belo Horizonte. Anais do CBEE, 2005, v. único, p. 309-314.
- [2] ASME PTC 46: Performance Test Code on Overall Plant Performance, ASME, New York, 1996.
- [3] ASME PTC 6: Performance Test Code on Steam Turbines, ASME, New York, 1996.
- [4] ASME PTC 4.1: Performance Test Code on Steam Generating Units, ASME, New York, 1964.
- [5] ASME Steam Tables, ASME, New York, 1979.
- [6] R. T. Pena : "Development of a Boiler-Turbine Mathematical Model for Power Plant Operation Studies", Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, The University Of Texas At Austin, UT, EUA, 1983.



# CESP

## Programa aumenta vida útil de componentes de hidrogerador

Para garantir a segurança e a confiabilidade e aumentar a vida útil dos componentes que formam um hidrogerador, a Companhia Energética de São Paulo (CESP) e Universidade de São Paulo (USP) desenvolveram uma metodologia de avaliação estrutural capaz de analisar e prever o comportamento desses componentes quando submetidos a diversos cenários de desgastes e reparos.

O componente escolhido pelos pesquisadores foi uma turbina modelo Francis, usada na Usina Hidroelétrica de Jaguari, em São Paulo. Inicialmente, foram construídos os modelos da turbina em Computer-Aided Design (CAD), pelo qual foi possível convertê-la em estruturas simples, e, posteriormente, em Computer-Aided Engineering (CAE), para análise numérica via método dos elementos finitos.

As análises possibilitaram a verificação de deslocamentos e da distribuição da tensão mecânica sobre o componente e, conseqüentemente, averiguar o limite de desgaste da turbina. Para avaliar o limite de desgaste do componente foi empregado o Método de Otimização Topológica (MOT), através dos softwares TOSCA e ANSYS, que permitem identificar os pontos nos quais pode haver perda de material sem prejuízo à rigidez estrutural do componente.

A implementação da metodologia permite a rápida análise dos resultados de testes para várias alternativas de material e geometria de reparos de modo a identificar a melhor alternativa para atender às condições de manutenção. O objetivo é otimizar o tempo de manutenção e aumentar a confiabilidade das partes integrantes das unidades geradoras hidrelétricas, principalmente das usinas mais antigas, anteriores à década de 80.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética de São Paulo (CESP)

**Título:** Desenvolvimento de Metodologia para Modelagem e Avaliação Estrutural de Componentes de Hidrogerador para Diagnóstico de Defeitos e Extensão de Vida Útil

**Ciclo:** 2005/2006

**Investimento:** R\$ 336.468,08

**Execução:** Universidade de São Paulo (USP)

# Desenvolvimento de metodologia para modelagem e avaliação estrutural de componentes de hidrogerador para diagnóstico de defeitos e extensão de vida útil

E.C.N. Silva<sup>(1)</sup>, F. Buiochi<sup>(2)</sup>, J.C. Adamowski<sup>(3)</sup>, R.C. Carbonari, R.R. Rueda<sup>(4)</sup>, e H. Tiba<sup>(5)</sup>

**Resumo:** Este trabalho desenvolve uma metodologia de avaliação estrutural e estimativa de vida útil para um componente de hidrogerador utilizando elementos finitos, com o objetivo de identificar regiões, carregamentos e parâmetros críticos a serem inspecionados no componente. Simulações estáticas foram realizadas utilizando o ANSYS e técnicas de otimização foram aplicadas para avaliar o limite de desgaste da turbina.

**Palavras-chave:** Método de Elementos Finitos, Método de Otimização Topológica, Turbinas Hidráulicas.

## I. INTRODUÇÃO

Problemas de vibrações, trincas e quebras de componentes de unidades geradoras (principalmente usinas anteriores à década de 80) têm exigido uma reavaliação estrutural dos diversos elementos de máquinas para manter a segurança, a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos. A modelagem estrutural pelo método de elementos finitos constitui uma ferramenta de simulação poderosa para execução de avaliações da influência de desgastes e reparos do componente na sua vida útil [1, 2, 3].

Este trabalho desenvolve uma metodologia de avaliação estrutural e estimativa de vida útil para um componente de hidrogerador com uso de elementos finitos, com o objetivo de identificar regiões, carregamentos e parâmetros críticos a serem inspecionados no componente. Isso permitirá avaliar e prever o comportamento estrutural dos componentes mecânicos submetidos a diversas condições de carregamento, além da influência de reparos na sua vida útil de forma a otimizar o tempo da manutenção e aumentar sua confiabilidade.

A implementação dessa metodologia permite a obtenção rápida de resultados e a possibilidade de testar várias alternativas de material e geometria de reparos de modo a escolher a melhor alternativa que atenda às condições de manutenção e que traga significativas reduções de custo e tempo. A utilização de simulação computacional para otimizar a manutenção dos componentes é uma área de pesquisa pouco explorada, uma vez que a maior parte dos trabalhos é direcionada para o projeto do componente.

## II. CONSTRUÇÃO DO MODELO CAD/CAE

O componente de hidrogerador escolhido foi uma turbina tipo Francis da Usina Hidroelétrica de Jaguari.

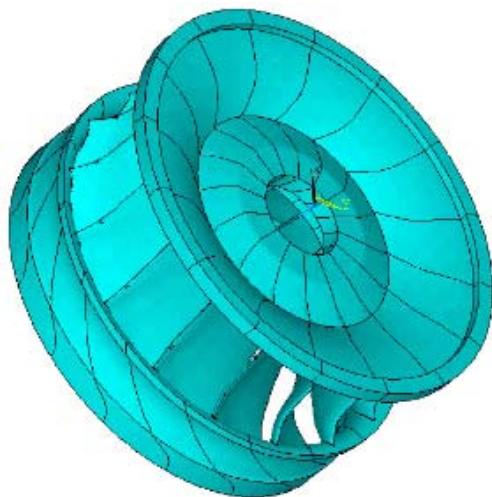


Figura 1. Modelo CAD final da turbina da UHE de Jaguari (dimensões: h=0,97m e d=1,85m).

Como primeira etapa da modelagem computacional é necessária a construção do modelo em CAD. Para isso foi utilizado um equipamento computadorizado de medição de coordenadas, que gerou uma nuvem de pontos da pá. Essa nuvem de pontos foi pós-processada com utilização de um software de CAD para obter o volume sólido correspondente. O modelo CAD final da turbina é mostrado na Figura 1. Os carregamentos de pressão que atuam na pá da turbina foram obtidos pela simulação de escoamento de fluido [4], na qual foi considerado o estado crítico de funcionamento da turbina, ou seja, uma queda máxima de 66,6m (~6,87atm) que resulta numa pressão estática na turbina de 7,87atm. Foram especificadas a velocidade angular de 300rpm e a aceleração da gravidade 9,81m/s<sup>2</sup>. A potência e vazão calculadas são iguais à ~11,8MW (~15.850cv) e 42,3 m<sup>3</sup>/s, respectivamente.

Para construção do modelo CAE, considerando que a turbina tem 16 pás, foi utilizado o modelo CAD de apenas uma seção da turbina que compreende um ângulo de 22,5°, empregando o comando cyclic do ANSYS [5]. A malha obtida possui 210.936 elementos (SOLID95) e 157.885 nós. O material considerado foi o aço e as propriedades mecânicas especificadas foram o módulo de Young, coeficiente de Poisson e densidade iguais a 207 GPa, 0,3 e 7800 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Com relação às condições de contorno mecânicas de deslocamentos e carregamentos mecânicos, fixaram-se os deslocamentos Ux, Uy e Uz da região correspondente à coroa, como mostrada na Figura 2. O carregamento mecânico é obtido da simulação de escoamento fluido na forma de campo de pressões aplicado somente nos nós da pá. A intensidade máxima da pressão é de 1,65 MPa e ocorre na borda de entrada da pá. Os demais carregamentos mecânicos são resultantes da inércia devido à velocidade angular e do peso próprio. Finalizado o modelo, o próximo passo foi realizar as análises estruturais estáticas.

## III. SIMULAÇÃO ESTRUTURAL POR MEF

### A.1 Análise do raio de curvatura da borda de entrada entre a pá e a coroa.

Para o modelo com raio de curvatura na borda de entrada são consideradas as mesmas condições de carregamento e de contorno utilizadas para o modelo original sem raio de curvatura. No entanto, para cada modelo apresentado, é gerado um novo campo de pressões pela simulação de escoamento fluido. O campo de pressões para o modelo com arredondamento do raio tem uma intensidade maior do que o modelo original, devido à alteração do escoamento na borda de entrada.

(1)USP - ecnsilva@usp.br

(2)USP - fbuiochi@usp.br

(3)USP - jcadamow@usp.br

(4)CESP - rui.ueda@cesp.com.br

(5)CESP - hamilton.tiba@cesp.com.br

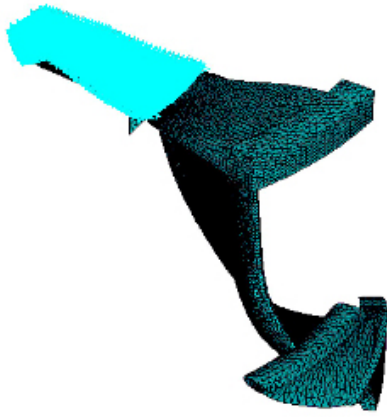


Figura 2. Malha gerada para a seção cíclica e condições de fixação mecânicas.

Os resultados do módulo de deslocamento e tensão de von Mises são mostrados nas Figuras 3a e 3b, respectivamente. Como mostrado na Figura 3a, o arredondamento aumenta a intensidade dos deslocamentos na coroa na região de entrada, exatamente a região influenciada pelo arredondamento. As concentrações de tensões ocorrem nas regiões de interface (pá-coroa e pá-saia) e borda de saída, como mostra a Figura 3b.

A Tabela 1 mostra uma comparação de deslocamento e tensão de von Mises máximos referente à simulação do modelo sem e com raio de arredondamento.

Tabela 1. Comparação de deslocamento e tensão de Von Mises máximos referente ao modelos estudados

	Deslocamento Máximo (mm)	Tensão Máxima de Von Mises (MPa)
<b>Sem raio de arredondamento</b>	<b>0,62</b>	<b>146</b>
<b>Com raio de arredondamento</b>	<b>0,91</b>	<b>177</b>

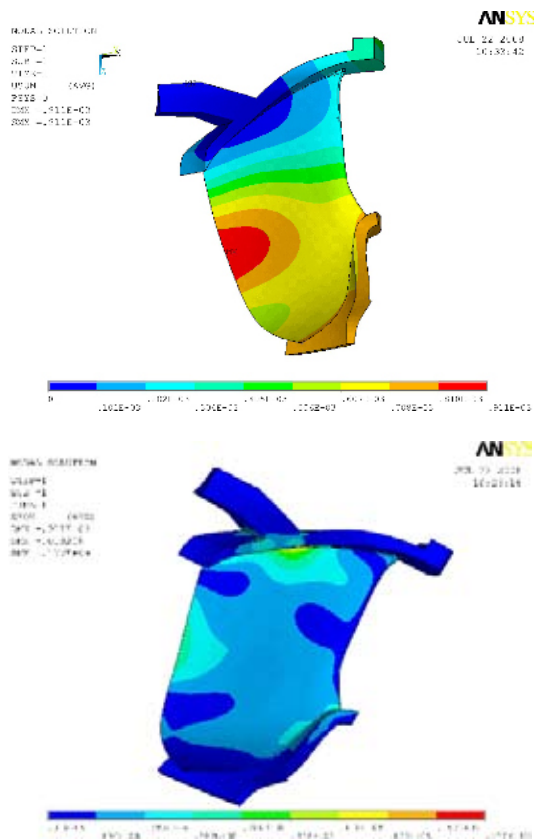


Figura 3. Modelo original com o raio da borda de entrada entre a pá e a coroa: (a) Módulo dos deslocamentos (b) Tensões mecânicas de von Mises. (unidades: m e Pa).

### A. 2 Análise do efeito da cavitação nas tensões mecânicas.

Nessa modelagem, retiraram-se elementos numa região sujeita a cavitação para simular a ausência de material. As condições de contorno (carregamentos e restrições de deslocamentos mecânicos) foram mantidas iguais às simulações anteriores, bem como foram mantidas as mesmas características do modelo original (sem modificações no raio de curvatura). Os resultados de tensões mecânicas de von Mises são mostrados na Figura 4.

Como mostrado na Figura 4, há um aumento das tensões mecânicas na região cavitada. No entanto, como a região analisada não está localizada na interface entre a pá e a coroa ou a pá e a saia, o aumento das tensões não é acentuado. Porém, a região cavitada é crítica no caso real, e pode apresentar maiores remoções de material.

Esses resultados mostram que a turbina é rígida o suficiente para suportar perda de material, mesmo em regiões críticas. No entanto, este modelo provoca mudanças no escoamento cuja influência é precisamente obtida ao se analisar o novo escoamento, o que não foi realizado devido ao foco do projeto. A tensão de von Mises máxima obtida foi de 158 MPa e o deslocamento máximo foi de 0,64mm.

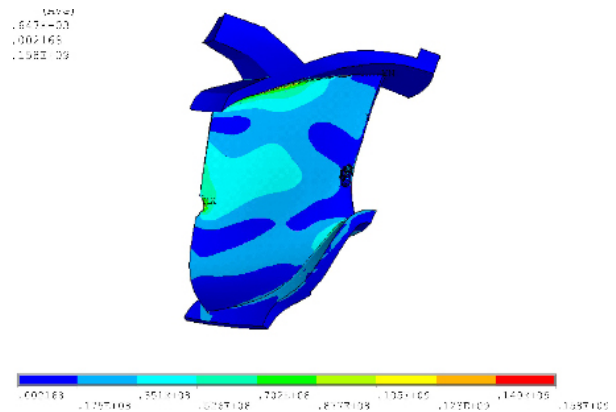


Figura 4. Tensões mecânicas de von Mises da pá cavitada (unidades Pa).

### IV. APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO NA ANÁLISE DO DESGASTE

Com o intuito de analisar os pontos nos quais o material pode ser retirado sem prejudicar a rigidez estrutural, foi utilizado o Método de Otimização Topológica (MOT) [6], que permite avaliar a retirada de material sem alterar significativamente o desempenho da turbina em termo de rigidez. Consiste numa primeira abordagem, para avaliar o limite de desgaste.

Para aplicar o MOT na turbina, foi utilizado o software TOSCA [7] em conjunto com o ANSYS. No TOSCA são especificadas as funções objetivo e de restrição que representam a maximização de rigidez e a quantidade de material a ser removida, respectivamente. O ANSYS é utilizado como solucionador apenas. No modelo utilizado foram considerados como carregamentos o peso próprio, o carregamento de pressão e a velocidade de rotação, com os valores descritos anteriormente. Para as condições de contorno utilizaram-se as mesmas dos modelos anteriores, com exceção da condição de simetria cíclica.

A otimização realizada considera retirar material de forma a não reduzir a rigidez estrutural da turbina, sendo que a quantidade de material a ser retirada é controlada por meio da restrição de volume. Apenas a região da saia e o interior da coroa foram consideradas regiões otimizáveis, e determina-se que a quantidade de material final da turbina seja maior ou igual a 80% do material original. O resultado obtido está ilustrado na Figura 5. Nota-se que o método retira material da região inferior e interna da saia, pois esta região para o modelo utilizado é a que menos contribui para a rigidez estrutural. Como a região da pá é otimizável, observa-se que há remoção de material na pá, localizado próximo à borda de entrada da parte inferior.

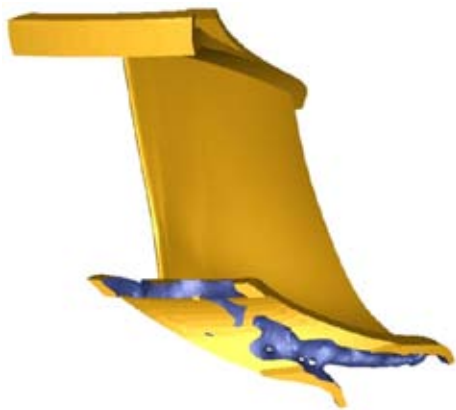


Figura 5. Resultado pós-processado da turbina otimizada considerando todos os carregamentos e restrição de volume de material igual a 80%.

## V. CONCLUSÕES

A geometria gerada pela utilização da nuvem de pontos medidos na turbina da Usina Hidrelétrica de Jaguari permitiu construir o modelo CAD, e daí obter o modelo CAE para realizar a modelagem numérica no ANSYS para obter deslocamentos e distribuição de tensão mecânica.

Foram implementados estudos de sensibilidade considerando um raio de arredondamento na borda de entrada entre a pá e a coroa e abordado o efeito da cavitação na concentração de tensões na pá da turbina. A presença do raio de arredondamento na borda de entrada aumentou o deslocamento e a tensão mecânica pelo fato de alterar a distribuição de pressão. Já a presença de defeitos de cavitação provoca um aumento do deslocamento e da tensão mecânica. Para

esses estudos considerados, a análise de fadiga mostra uma vida infinita com uma partida e uma parada diária.

A utilização de técnica de otimização para avaliação do limite de desgaste resultou na remoção de material apenas na saia, uma vez que a pressão aplicada na pá não permite remoção de material na mesma e a coroa é um elemento importante na rigidez da turbina pelo fato da fixação da mesma no eixo ser feita por meio da coroa. No entanto, a massa da saia é importante, pois garante uma inércia mínima para a turbina. Assim, sugere-se substituir a restrição de volume por uma restrição de momento de inércia.

## VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CESP e a ANEEL pelos apoios técnicos e financeiros recebidos.

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Wickström, STRUCTURAL ANALYSIS OF FRANCIS TURBINE RUNNERS USING ADINA, Computers and Structures, vol. 64, no. 5/6, pp. 1087-1095, 1997.
- [2] M. Dubas and M. SCHUCH, STATIC AND DYNAMIC CALCULATION OF A FRANCIS TURBINE RUNNER OF WITH SOME REMARKS ON ACCURACY, Computers and Structures, Vol. 27, no. 5, pp. 645-655, 1987.
- [3] Q.W. Liang, C.G. Rodriguez, E. Egusquiza, X. Escaler, M. Farhat, F. Avellan, Numerical simulation of fluid added mass effect on a francis turbine runner, Computers & Fluids, vol. 36, pp.1106-1118, 2007.
- [4] H. Nilsson and L. Davidson, Validations of CFD against detailed velocity and pressure measurements in water turbine runner flow, INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN FLUIDS, vol. 41, pp.863-879, 2003.
- [5] ANSYS. Release 11.0. ANSYS tutorials. ANSYS, Inc., 2007.
- [6] Bendsøe MP, Sigmund O, "Topology optimization: theory, methods and application", Springer, Berlin, 2003.
- [7] TOSCA, General Documentation, version 6.1, rev. 1, 2007.





# CGTEE

## Tecnologia permite detectar falhas de motores em tempo real

A Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE) e pesquisadores da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC/RS) desenvolveram um sistema para detectar e diagnosticar problemas mais comuns nos 110 motores de indução que compõem o parque gerador da empresa. Esses motores, usados em toda a cadeia produtiva do processo de geração térmica de energia, quando sujeitos a falhas podem interromper a produção e acarretar prejuízos financeiros.

Os protótipos construídos são móveis e utilizam computadores portáteis, onde estão instalados aplicativos, como um banco de dados com informações essenciais sobre os motores e os sinais de corrente e rotação emitidos durante seu funcionamento, além de um módulo de análise que permite a identificação de desvios que possam indicar falhas.

Com o sistema, as anormalidades são identificadas sem o desligamento dos motores e sem necessidade de abertura do invólucro. A avaliação dos sinais é de fácil aquisição e o conhecimento da condição de operação do motor se dá em tempo real. Os técnicos realizaram mais de três mil ensaios durante o desenvolvimento do projeto antes de o sistema ser submetido a condições reais de utilização.

O sistema, em uso pela CGTEE, tem garantido melhoria da manutenção preventiva dos motores com o uso de métodos não invasivos de obtenção e análise de dados. A empresa considera adequada a metodologia empregada e avalia que ela pode ser estendida para monitoramento de motores de indução de outros tipos de processos.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia de Geração térmica de Energia Elétrica (CGTEE)

**Título:** Desenvolvimento do protótipo de um sistema de detecção e diagnóstico de falhas incipientes em motores de indução

**Ciclos:** 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006

**Investimento:** R\$ 252.598,00

**Execução:** Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

# Desenvolvimento do protótipo de um Sistema de Detecção e Diagnóstico de Falhas Incipientes em Motores de Indução

Antônio A. P. Linhare<sup>(1)</sup>, Luís A. Pereira<sup>(2)</sup>, Daniel da S. Gazzana<sup>(3)</sup>, Dênis Fernandes<sup>(4)</sup>, Jonas S. Silva<sup>(5)</sup>

**Resumo** – O artigo apresenta um sistema para a detecção e diagnóstico de falhas em motores de indução, o qual foi desenvolvido ao longo dos anos de 2005 a 2008 e cuja utilização prática poderá contribuir significativamente para a melhoria dos processos de manutenção dos motores elétricos da CGTEE. O sistema desenvolvido e testado consiste em um sistema móvel e não invasivo baseado na análise da assinatura de corrente. Ele possibilita a identificação das falhas mais comuns em motores de indução: quebra de barras e anéis do rotor, excentricidades, danos no sistema de rolamentos e curto-circuitos no enrolamento do estator. Os principais conceitos relacionados com a metodologia desenvolvida e sua utilização prática são apresentados e discutidos. As etapas e dificuldades de desenvolvimento do sistema também são detalhadas, bem como os resultados e produtos obtidos. Por fim, as principais conclusões são apresentadas, acompanhadas das perspectivas de continuidade deste projeto.

**Palavras-chave:** máquina de indução, detecção de falhas, manutenção preventiva, falhas em motores de indução.

## I. INTRODUÇÃO

Em sistemas de geração térmica de energia elétrica, motores de indução são empregados ao longo de toda a cadeia produtiva. Além disto, motores elétricos podem, em muitos casos, ser considerados como a parte mais crítica do processo, uma vez que um defeito nos mesmos pode conduzir a uma parada indesejada do grupo gerador e acarretar severos prejuízos financeiros. Por outro lado, as práticas de manutenção são em geral focadas na abordagem preditiva e preventiva, visando redução de custos e tempo de execução, garantindo uma maior confiabilidade do sistema. Neste contexto, ferramentas que contribuam para uma maior eficiência da atividade da manutenção são essenciais, especialmente dentro do atual cenário de competitividade do setor elétrico brasileiro. Sistemas automatizados de detecção e diagnóstico e falhas em motores podem dar uma significativa contribuição para a continuidade de sistemas produtivos. Estes sistemas devem possuir as seguintes características: identificação de anormalidades na operação sem a necessidade de desligamento para a realização de medições (online); coleta de dados sem abertura do invólucro (não invasiva); avaliação de sinais de fácil aquisição (por exemplo, a corrente do estator) e conhecimento da condição de operação do motor praticamente em tempo real. Estas características estão presentes no protótipo desenvolvido e atualmente em uso. A CGTEE possui um parque motriz com cerca de 110 motores de grande porte, todos eles passíveis de utilização do sistema desenvolvido. Este número salienta a relevância e o impacto do projeto desenvolvido nas atividades de manutenção da CGTEE, bem como o potencial de melhoria da confiabilidade dos processos a eles associados. Nas próximas seções, é apresentada a metodologia desenvolvida e aplicada na realização deste projeto de pesquisa e desenvolvimento.

## II. ANÁLISE DA ASSINATURA DE CORRENTE DO MOTOR

O método de assinatura de corrente (MCSA - Motor Current Signature Analysis) é uma técnica derivada da Análise da Assinatura Elétrica (ESA - Electric Signature Analysis), em que o espectro de frequência do sinal de corrente analisado revela uma “assinatura”, a qual pode indicar uma falha em andamento no motor. Falhas incipientes como curto-circuito no enrolamento do estator, danos nos rolamentos, quebra de barras e anéis do rotor e excentricidades do entreferro possuem componentes harmônicos específicos no espectro de frequência, os quais, de acordo com a sua magnitude, podem indicar o surgimento ou evolução de uma falha [1]. Esses componentes são identificados por formulações analíticas e utilizados parâmetros construtivos do motor (número de pólos, número de ranhuras do rotor, números esferas dos rolamentos) e o escorregamento relativo, que está associado à carga do motor [2]. As diversas técnicas baseadas na análise da assinatura elétrica aplicadas a motores utilizam apenas sinais de corrente, dados

construtivos, rotação, os quais podem ser adquiridos pelos instrumentos relativamente simples. Os sinais adquiridos são processados por meio de algoritmos e técnicas conhecidas de processamento de sinais, em especial as técnicas de análise espectral [3]. As informações provenientes da MCSA são comparáveis às informações obtidas com análises de vibração convencionais, com a vantagem de ser uma técnica de mais fácil aplicação e abranger a grande maioria dos defeitos mais comuns.

## III. METODOLOGIA IMPLEMENTADA

O sistema móvel de detecção e diagnóstico de falhas desenvolvido baseia-se no MCSA para a identificação de falhas incipientes, que, em geral, apresentam uma evolução gradativa no tempo. O sistema visa à identificação de anormalidades na operação do motor em estágios iniciais da ocorrência, o que evitar que se constituam em falhas graves, que em muitos casos podem levar a paradas indesejadas do motor [4]. O sistema é fundamentado na detecção e evolução temporal das componentes espectrais da corrente relacionadas com falhas, dividido em três módulos: banco de dados, aquisição e análise. O protótipo baseia-se na utilização de um computador tipo laptop, onde é realizado o processamento de sinais que estão conectados os dispositivos de aquisição (placa tipo PCMCIA, filtros, transdutores de corrente), conforme ilustrado pela Figura 1. Deve-se salientar que, em relação a outros sistemas de detecção existentes, o sistema desenvolvido foi adequado e calibrado para obter a melhor performance para as características e peculiaridades dos motores da CGTEE. Além disso, ele pode ser facilmente expandido para atender outras necessidades, bem como servir de base para o desenvolvimento de sistemas semelhantes, como por exemplo sistemas para detecção de falhas em geradores síncronos. A sua integração a outros sistemas da CGTEE também poderá ser feita de forma rápida. Uma descrição breve dos módulos do sistema é apresentada no que segue.

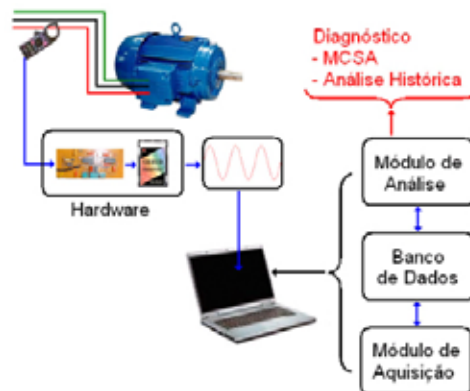


Figura 1: Sistema de detecção e diagnóstico de falhas

(1) CGTEE - linhares@cgtee.gov.br

(2) PUC/RS - lpereira@puhrs.br

(3) PUC/RS - dgazzana@terra.com.br

(4) PUC/RS - denisf@puhrs.br

(5) PUC/RS - jonasdosantosilva@gmail.com

**A. Módulo de Banco de Dados**

O módulo de banco de dados é o responsável pelo gerenciamento das informações. Nele estão contidos os dados essenciais dos motores, informações sobre os sinais adquiridos, tais como sinais de corrente e rotação, os quais possibilitam a avaliação histórica de seus componentes pelo módulo de análise. Após o cadastro do motor na base de dados, a ele é atribuído um identificador único. A cada nova aquisição, o sinal de corrente é armazenado em um arquivo vinculado ao banco de dados por meio deste identificador. Com base nos dados adquiridos de forma periódica para os diversos motores cadastrados, pode-se realizar a análise da evolução temporal dos componentes espectrais associados a falhas através do módulo de análise. Esse procedimento permite o acompanhamento da assinatura de falhas do motor, podendo-se detectar o eventual surgimento e evolução de componentes espectrais relacionados a falhas. Caso ocorra um aumento nas magnitudes dos componentes espectrais pode-se tomar medidas em termos de planejamento de manutenção priorizando motores sob suspeita de falhas.

**B. Módulo de Aquisição de Dados**

O módulo de aquisição de dados é composto por hardware e software que funcionam de forma integrada. O hardware utiliza uma placa de aquisição de dados da Measurement Computing (PC CARD DAS16/16-AO), transdutores do tipo sensor de efeito hall (alicates de corrente), o que possibilita a leitura de corrente de até 1000 A e tacômetro digital para medição da rotação do motor. Adicionalmente, foi incorporado ao protótipo um filtro passa-baixas anti-aliasing com frequência de corte de 2,5 kHz. Os principais componentes espectrais indicadores de falhas encontram-se abaixo desta frequência. O software controla e configura o processo de aquisição. Parâmetros como canal de dados, frequência de amostragem, identificação do alicate dentre outros são configurados de forma padronizada. Contudo, o sistema é flexível para a realização de ajustes no caso da necessidade de uma aquisição com base em outras características. Após ter-se adquirido um sinal de corrente e informado a rotação do motor, os dados são salvos em um arquivo e o banco é atualizado com as informações correspondentes.

**C. Módulo de Análise de Sinais de Corrente**

O módulo de análise possibilita a avaliação de um ou mais sinais adquiridos para um mesmo motor, comparando as magnitudes dos componentes associados a falhas, de modo a extrair informações que possam caracterizar a evolução de um defeito incipiente. Após os sinais de corrente no domínio tempo terem sido carregados, é feita uma conversão para o domínio frequência. Nesta etapa, diversos métodos foram exaustivamente avaliados, desenvolvidos e adaptados de modo que a implementação computacional apresentasse o melhor desempenho possível [4]-[8]. O software integrado ao protótipo utiliza os métodos de Welch, Periodograma e MTM (Multi Taper Method) para a obtenção do espectro de frequência dos sinais de corrente do motor, o que possibilita a identificação de componentes espectrais relacionados com falhas de forma otimizada. Tendo-se identificado os componentes associados a falhas e realizada uma análise comparativa da evolução destes (análise histórica), o algoritmo de diagnóstico, baseado em análise estatística e inteligência artificial, estabelece a condição do motor em termos de possíveis falhas.

**IV. TESTES E VALIDAÇÃO**

A maior parte da validação e testes do sistema implementado foram realizados por ensaios de laboratório onde as falhas foram simuladas com uso de motores que contêm defeitos produzidos de forma intencional. Diversas condições de operação, níveis de carga e intensidades dos defeitos foram avaliadas, o que possibilita um

conhecimento aprofundado do comportamento do motor, bem como uma comparação com a teoria. Ao longo do desenvolvimento do projeto, mais de 3.000 ensaios foram realizados. Adicionalmente, o sistema também foi testado em unidades da CGTEE sendo submetido a condições reais de utilização, as quais permitiram um melhor ajuste e calibração do mesmo.

**V. PRINCIPAIS RESULTADOS**

Como principal produto deste projeto de P&D foram construídos dois protótipos do sistema de detecção, sendo que um deles está, no momento, em uso pela CGTEE. A Figura 2 mostra o sistema sendo utilizado em campo.



Figura 2: Sistema em uso pela CGTEE

As Figura 3 e 4 mostram o resultado da análise realizada pelo software (intitulado MCSA Tool) para o caso de um motor de teste. No caso mostrado, foram produzidos defeitos de barras quebradas, sendo que a intensidade do defeito (número de barras quebradas) foi variado desde uma barra trincada até cinco barras quebradas. Pode-se verificar que o sistema não apenas identifica a falha, mas também é capaz de caracterizar a evolução do componente espectral (quadro superior esquerdo na Figura 4). A Figura 4 ilustra a interface do módulo de diagnóstico evidenciando a ocorrência do referido defeito e informando, de forma qualitativa e quantitativa, a condição dos componentes analisados.

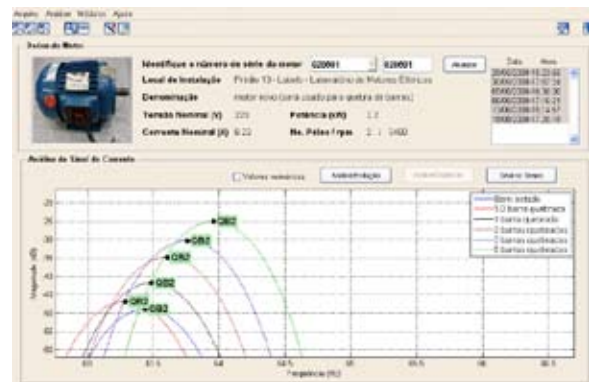


Figura 3: Análise espectral para um motor de testes contendo um número variável de barras quebradas no rotor.

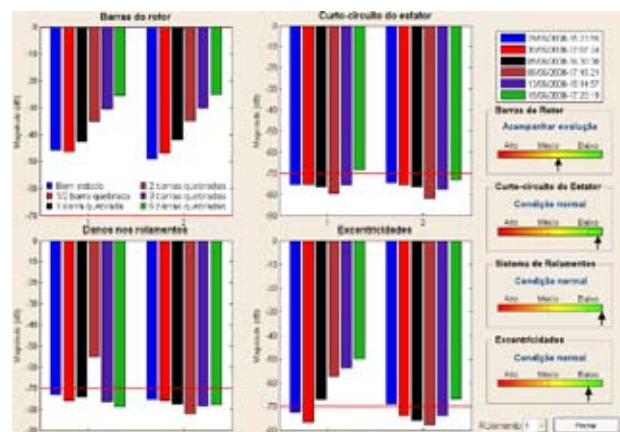


Figura 4: Interface do módulo de diagnóstico de falhas para um motor de testes com um número variável de barras quebradas.

## VI. CONCLUSÕES

No presente artigo, foram apresentados procedimentos e métodos empregados no desenvolvimento de um sistema portátil de detecção e diagnóstico de falhas incipientes em motores de indução, o qual foi implantado na CGTEE. O protótipo do sistema foi desenvolvido e está em uso atualmente. O sistema tem como foco a melhoria da manutenção preventiva e preditiva utilizando métodos não invasivos de aquisição e análise de dados. A metodologia desenvolvida e implementada mostrou-se adequada, podendo ser estendida para o monitoramento de motores de indução em outros tipos de processos, independente de sua natureza. A potencialidade e inovação gerada por este trabalho de pesquisa culminaram em diversos artigos técnicos de caráter nacional e internacional. Como continuidade deste projeto será desenvolvido um sistema para o monitoramento em tempo real de motores críticos baseado nos resultados obtidos. Também como continuidade, será desenvolvido um sistema para a identificação de falhas em geradores, sendo este tema de grande importância, mas ainda pouco explorado em termos mundiais.

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Nandi, S.; Toliyat, H.A., "Condition monitoring and fault diagnosis of electrical machines - a review. Industry Applications Conference," in Thirty-Fourth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 1999 IEEE, Vol. 1, pp. 197-204.
- [2] Benbouzid, M.E.H., "A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection," in Twenty-Forth Annual IEEE Meeting, 1998, Vol 4, pp:1950-1953
- [3] Jee-Hoon Jung; Jong-Jae Lee; Bong-Hwan Kwon, "Online Diagnosis of Induction Motors Using MCSA," in IEEE Transaction on Industrial Electronics, 2006, Vol. 56, No. 6, pp. 1842-1852.
- [4] Gazzana, D.; Pereira, L.A.; Fernandes, D.; Santos, J., "Método da Análise da Assinatura de Corrente do Motor (MCSA) Aplicado a Detecção de Falhas de Curto-Circuito do Enrolamento do Estator de Motores de Indução," in VIII INDUSCON, 2008.
- [5] Fernandes, D.; Pereira, L.A.; Gazzana, D., "Evaluation of Spectral Analysis Methods for Broken Bars Detection in Induction Machines," in: Congresso Brasileiro de Automática, CBA 2008.
- [6] Pereira, L.A.; Fernandes, D.; Gazzana, D. Líbano, F.B.; Haffner, S., "Performance Evaluation of Nonparametric, Parametric, and the MUSIC Methods to Detection of Rotor Cage Faults of Induction Motors," in 32nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON06), 2006.
- [7] Pereira, L.A.; Fernandes, D.; Gazzana, D. Líbano, F.B.; Haffner, S., "Application of the Welch, Burg and MUSIC methods to the detection of rotor cage faults of induction motors," in IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006.
- [8] Pereira, L.A.; Fernandes, D.; Gazzana, D. Líbano, F.B., "Practical Evaluation of the Welch, Burg and ZMUSIC Methods Applied to Detection of Rotor Broken Bars of Induction Motors," in Proc. of the XVII International Conference on Electrical Machines, 2006.



## TRACTEBEL

# Uso de cerâmicas reduz efeitos de erosão em caldeiras

O desgaste erosivo intenso nas caldeiras a carvão mineral usadas na geração térmica é uma das principais causas de falhas e consequentes paradas não-programadas de produção.

A abrasão causada pelo choque das partículas de carvão em alta velocidade chega a responder por 70% dos problemas verificados em diversas partes que integram as caldeiras. Os efeitos da erosão reduzem a vida útil desses componentes. Essa razão motivou a TRACTEBEL a investir na busca de alternativas de solução para o problema.

Com auxílio de pesquisadores da Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc) e da CMC Tecnologia foram desenvolvidas cerâmicas aptas à operação em partes frias e quentes das caldeiras, com resistência à abrasão e ao choque térmico.

Na formulação dessas cerâmicas foram testadas diversas proporções de óxido de magnésio e de plastificante nas peças de alta alumina. No caso das partes frias, os resultados apontaram que a formulação ideal da cerâmica deve conter 90% de alumina e 10% de outros reagentes e que a fixação delas na parede metálica das caldeiras deve ser feita com borracha de silicone apta a altas temperaturas.

Os testes de resistência à abrasão possibilitaram concluir que a formulação com 10% de material vitrocerâmico deveria ser escolhida para as áreas quentes das caldeiras. Os estudos laboratoriais e na planta permitiram a transferência de tecnologia para aplicação imediata na indústria de fabricação de peças e componentes utilizados nas caldeiras.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Tractebel Energia S/A

**Título:** Desenvolvimento de cerâmicas para proteção contra a erosão de tubos e equalização térmica de caldeiras

**Ciclos:** 2003/2004; 2004/2005 e 2005/2006

**Investimento:** R\$ 372.990,00

**Execução:** Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) e CMC Tecnologia Ltda

# Estudo para minimização de erosão em caldeiras a carvão mineral

G.C. Gonçalves<sup>(1)</sup>, J. Ilha<sup>(2)</sup>, F.C. Zanelatto<sup>(3)</sup>, R.B.M. dos Santos<sup>(4)</sup>, E. Angioletto<sup>(5)</sup>, A.M. Bernardin<sup>(6)</sup>, M. Peterson<sup>(7)</sup>, D. Stainer<sup>(8)</sup>, L. Felipe<sup>(9)</sup>

**Resumo** – Este trabalho trata do estudo das regiões da caldeira que são submetidas a desgaste erosivo mais acentuado. Esses locais foram divididos em duas grandes categorias: partes consideradas frias (anteriores à combustão do carvão) e partes quentes (na região de combustão e regiões posteriores). Foram desenvolvidas formulações cerâmicas para utilização nas duas regiões, em conformidade com as especificidades das solicitações a que são submetidas essas cerâmicas. Para as regiões frias da caldeira, as exigências resumem-se basicamente à resistência, ao desgaste erosivo causado pelo fluxo de carvão e a problemas na fixação das peças cerâmicas em substratos metálicos. Nas regiões quentes da caldeira, além da resistência ao desgaste erosivo, as peças devem resistir ao choque térmico causado pelos sopradores de fuligem na presença de cinzas leves em elevadas velocidades. Neste trabalho avaliou-se, ainda, a fixação das placas cerâmicas sobre as superfícies metálicas.

**Palavras-chave:** alumina, cerâmicas, choque térmico, cordierita, erosão.

## I. INTRODUÇÃO

Caldeiras a carvão mineral, iguais à apresentada na Figura 1, são susceptíveis a desgaste erosivo intenso. Esse é um fator considerado crítico, pois o histórico de manutenção aponta-o como o causador principal de diversas falhas, o que causa paradas não programadas em caldeiras.



Figura 1. Aspecto externo de uma das caldeiras a carvão mineral da Usina Jorge Lacerda - Tractebel Energia onde desenvolveram-se os trabalhos de pesquisa.

Estudos apontam que cerca de 70% dos problemas verificados em componentes devem-se à abrasão provocada pelo choque das partículas de carvão em alta velocidade [1]. Esta velocidade pode chegar a 30m/s em determinados locais das caldeiras. A erosão em diversos pontos da caldeira é causada pelo fluxo de partículas sólidas que podem ser carvão ou cinza, carregadas por um fluido que pode ser ar ou os produtos da combustão, dependendo da região da caldeira considerada, se antes, durante ou após a ocorrência da combustão. Esse desgaste erosivo ataca principalmente tubos e trocadores de calor, queimadores, e algumas peças de proteção, que são colocadas com intuito de se reduzir o desgaste ou minimizar seus danos. Um exemplo desse tipo de problema pode ser visualizado na Figura 2.



Figura 2. Dorso de proteção da lança de óleo severamente desgastado por erosão.

Esses danos são especialmente importantes nos reaquecedores e nos economizadores em caldeiras a carvão mineral. O efeito da erosão diminui drasticamente a vida útil dos componentes [2]. Na Figura 3 são mostradas esquematicamente as regiões da caldeira que sofrem maior desgaste. Alguns relatórios de manutenção apontam falhas causadas por erosão com menos de 5.000 horas de funcionamento [1,4].

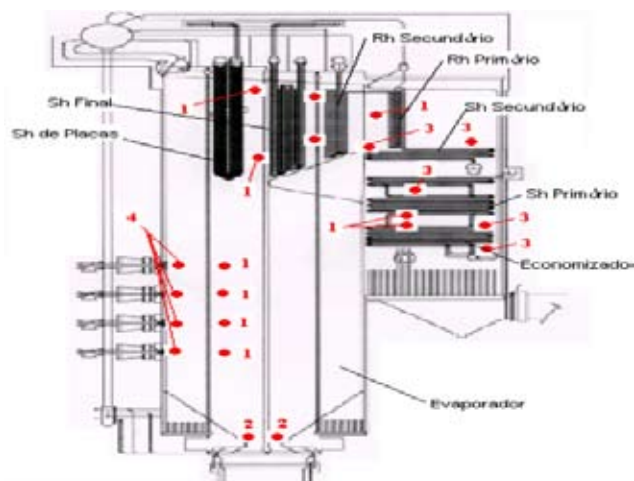


Figura 3. Desenho esquemático de uma caldeira com os locais onde ocorre desgaste erosivo com suas causas. 1) soprador de fuligem; 2) cinzas fundentes; 3) cinzas leves; 4) carvão pulverizado.

Entre as possíveis soluções para o problema está a substituição ou uso conjugado de outros tipos de materiais que possuam maior resistência ao desgaste erosivo. Neste contexto são utilizados alguns tipos de cimentos especiais e alguns revestimentos cerâmicos que se apresentam de extrema utilidade. O recobrimento no interior dos dutos que conduzem o carvão tem sido realizado [5]. Entretanto, com o recobrimento surgem alguns problemas, como o aumento de velocidade pela redução das seções transversais dos dutos. Esse fator tem sido apontado como crítico em muitas regiões recobertas por cimentos, que exigem uma camada de aproximadamente 25 mm, para uma fixação e proteção eficiente. Com o uso de revestimentos cerâmicos pode-se reduzir a espessura sem alterar significativamente a fixação e a durabilidade das peças implantadas. O aumento de velocidade pode ser especialmente crítico na região dos queimadores, o que conduz a um aumento de material não submetido à combustão e a maior possibilidade da chama e de partículas em combustão atingirem a parede diametralmente oposta aos queimadores.

(1) CMC Tecnologia

(2) Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense

(3) Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense

(4) Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense

(5) Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense

(6) Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense

(7) CMC Tecnologia

(8) Tractebel Energia S.A.

(9) Tractebel Energia S.A.

Com o intuito de minimizar a erosão causada pelo fluxo ar/carvão e a ação erosiva causada pelos sopradores de fuligem, foram desenvolvidas, nesse trabalho, formulações cerâmicas que atendessem os requisitos e particularidades das solicitações a que são submetidas estas cerâmicas quando em operação em locais específicos das caldeiras.

Esses locais foram divididos em duas grandes categorias: partes consideradas frias (anteriores à combustão do carvão) e partes quentes (na região de combustão e regiões posteriores). Com o objetivo de desenvolver um material cerâmico que possua resistência à abrasão e ainda resistência ao choque térmico, neste trabalho é proposta a utilização da fase cordierita (por possuir alta resistência ao choque térmico) associada a uma fase vitrocerâmica que possui elevada resistência à abrasão [6,13].

## II. MÉTODO EXPERIMENTAL

### A. Formulação das massas cerâmicas

Convencionou-se denominar parte fria da caldeira a região onde a temperatura não ultrapasse 250°C. Foram testadas diversas formulações de peças de alta alumina, com variação do teor de óxido de magnésio e do plastificante empregado (EVA). As peças foram prensadas em prensa manual (teste) e, posteriormente, em hidráulica para fabricação das peças, variando-se a pressão de compactação no intervalo de 300kgf/cm<sup>2</sup> a 500kgf/cm<sup>2</sup> (com adição de 6% de água) e sinterizadas a 1.250°C por um período de 04 horas.

O ensaio de choque térmico [10] (NBR 13202) foi realizado com cinco corpos de prova (CP) de cada formulação, e o ensaio de abrasão foi baseado segundo norma ASTM G-56 referente a materiais metálicos. O ensaio de flexão em três pontos [12] foi realizado segundo a norma NBR-13818. Na caracterização física e química dos materiais foram realizadas análises de: FRX, DRX, ATD e dilatométrica.

### B. Ensaios de Fixação

Foram testados quatro tipos de adesivos: a) adesivo estrutural epóxi FUSOR LA-017; b) borracha de silicone Brascoved alta temperatura; c) Almafex 765; d) Resina EC 138. As pastilhas de alumina (62mm/lado) e espessura de 4,8mm) foram coladas à uma chapa de aço e levadas à estufa por 20 minutos a uma temperatura de 80°C para que a cura do adesivo ocorresse, ou permanecessem no ar em temperatura ambiente por 24h, conforme as instruções do fabricante de cada adesivo.

Com o objetivo de testar a resistência do adesivo em função da temperatura, a chapa de aço foi colocada em forno até a temperatura de 285°C. Com pesos de 310g, 940g e 1.640g, as pastilhas coladas à chapa de aço foram colocadas no forno na direção vertical para testar a resistência ao cisalhamento do adesivo.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### A. Resultados dos testes de fixação para a região fria

Com relação à fixação das peças de alumina, os melhores resultados foram obtidos para a borracha de silicone Brascoved, na qual as placas somente se desprenderam a partir de 247°C de tratamento, o que demonstrou a boa resistência deste adesivo para a aplicação especificada.

### B. Cerâmicas para a região quente da caldeira

No ensaio de choque térmico nenhuma formulação apresentou qualquer tipo de alteração visível após os 10 ciclos a que foram submetidos os corpos de prova. Todos os CP permaneceram inalterados.

Os resultados do ensaio de abrasão mostraram uma diminuição significativa de perda de massa quando adicionado material vitrocerâmico, o que demonstrou um aumento da resistência à abrasão. Os CP que haviam sido submetidos ao choque térmico também foram ensaiados a fim de se obter valores para comparação, que podem ser observados na Figura 4.

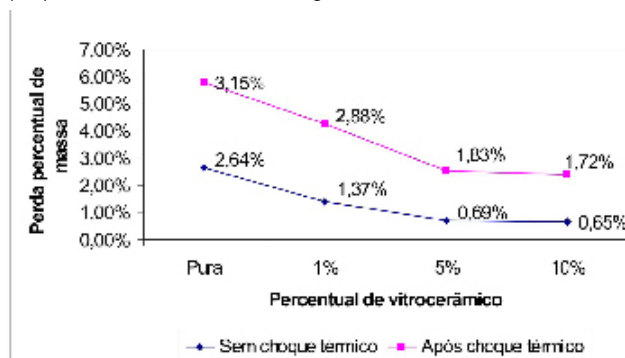


Figura 4. Representação gráfica do ensaio de abrasão comparando o comportamento do material após choque térmico.

Observou-se redução na resistência à tensão de flexão do material submetido aos 10 ciclos de choque térmico.

Os resultados de DTA, apresentados na Figura 5, mostram que até 1.000°C as formulações não apresentam nenhum acidente térmico. Pode-se observar apenas um pico endotérmico por volta de 90°C devido à umidade presente no material e um pico exotérmico em 714°C, provavelmente referente ao processo de cristalização do material amorfo presente na formulação [14-16]. Nota-se que o pico aumenta de intensidade conforme aumenta a proporção de material vitrocerâmico, que está basicamente disperso na fase cordierita [17].

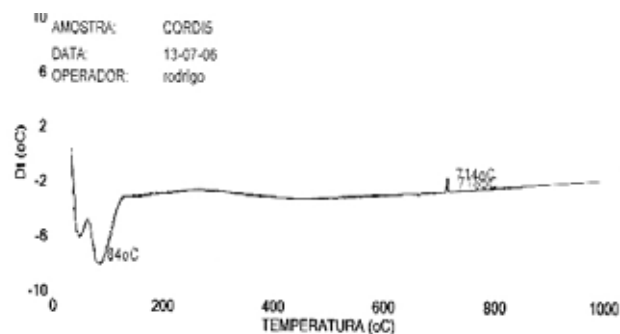


Figura 5. Resultado de ATD das formulações: a) formulação com 1% de material vitrocerâmico; b) formulação com 5% de material vitrocerâmico; c) formulação com 10% de material vitrocerâmico.

Esses estudos laboratoriais e na planta possibilitaram a otimização dos resultados e a transferência de tecnologia para aplicação imediata na indústria com a fabricação de peças e componentes exemplificadas nas figuras 6 e 7.



Figura 6 – Protetor da lança de óleo em alta alumina.



Figura 6 – Curva de tubulação revestida internamente.

#### IV. CONCLUSÕES

Com relação à parte fria da caldeira, pode-se concluir que a formulação ideal deve possuir no mínimo 90% de alumina e 10% de outros componentes. Para a fixação das placas de alumina na parede metálica, o adesivo com melhor desempenho foi a borracha de silicone Brascoved alta temperatura, pois resistiu ao tratamento térmico até 247°C temperatura muito superior a de regime normal da caldeira na região de aplicação. Após dois anos e seis meses de operação, a análise visual dos dorsos de queimadores indica um baixo desprendimento e um baixo desgaste de placas, que não comprometeram as atividades

Para a parte quente da caldeira, a análise das amostras submetidas aos testes de choque térmico permitiu concluir que nenhuma formulação apresentou alteração física aparente. Ao se comparar a resistência à abrasão e a resistência à flexão, é possível observar uma elevada redução nas duas propriedades após a submissão ao choque térmico.

A formulação de 10% de material vitrocerâmico apresentou os melhores resultados de resistência à abrasão e foi a formulação escolhida para as peças que devam ser colocadas na região classificada como quente da caldeira.

#### V. AGRADECIMENTOS

À Tractebel Energia, pelos recursos financeiros disponibilizados (Projeto 2004-2007) e por disponibilizar as instalações para testes in situ. À CMC Tecnologia, por disponibilizar as instalações para execução deste projeto.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Felipe, E.O.E. Santos, in II SEMASE, 1998, CO-GUT-01, GCOI/SCM.
- [2] J. Vicenzi, D. Villanova, L.M.D. Lima, A.S. Takimi, C.M. Marques, C.P. Bergmann, "Avaliação do desgaste erosivo a quente (~300°C) por cinzas de carvão mineral em revestimentos obtidos por aspersão térmica", LACER, UFRGS, Relatório Técnico, 2002.
- [3] B. Bushan, B.K. Gupta, Tribology, Krieger, 1997.
- [4] M. Suckling, C. Allen, "Critical variables in high temperature erosive wear", Wear, vol. 203-204, pp. 528-536, 1997.
- [5] R.W. Lyczkowskia, J.X. Bouillard, "State-of-the-art review of erosion modeling in fluid/solids systems", Progress in Energy and Combustion Science, vol. 28, pp. 543-602, 2002.
- [6] K.-P.Schade, H.-J. Erdmann, T.H. Hädrich, H. Schneider, T.H. Frank, K. Bernert, "Experimental and numerical investigation of particle erosion caused by pulverised fuel in channels and pipework of coal-fired power plant", Powder Technology, vol. 125, pp. 242- 250, 2002.
- [7] W.D. Kingery, H.K. Bowen, D.R. Uhlmann, Introduction to Ceramics, 2nd ed, New York: Wiley, 1976.
- [8] B.-E. Lee, C.A.J. Fletcher, M. Behnia, "Computational study of solid particle erosion for a single tube in cross flow", Wear, vol. 240, pp. 95-99, 2000.
- [9] A. Buoso, "Obtenção de cordierita: avaliação e melhoria de sua resistência ao choque térmico", Dissertação de Mestrado, UFRGS, 1996.
- [10] NBR 13202 Materiais refratários: Determinação da resistência ao choque térmico com resfriamento em água, ABNT, 1997.
- [11] M. Bengisu, Engineering ceramics, Springer, 2001.
- [12] NBR 13818 Placas cerâmicas para revestimento: Especificação e métodos de ensaio, ANBT, 1997.
- [13] D. Aquaro, M. Pieve, "High temperature heat exchangers for power plants: Performance of advanced metallic recuperators", Applied Thermal Engineering, vol. 27, pp. 389-400, 2007.
- [14] J. Fan, P. Sun, L. Chen, K. Cen, "A numerical study of a protection technique against tube erosion", Wear, vol. 225-229, pp. 458-464, 1999.
- [15] J. Fan, P. Sun, L. Chen, K.Cen, "Numerical investigation of a new protection method of the tube erosion by particles impingement", Wear, vol. 223, pp. 50-57, 1998.
- [16] W.W.M. Wendlandt, Thermal analysis, 3. ed, John Wiley & Sons, 1986.
- [17] D.W. Richerson, Modern ceramic engineering: properties, processing and use in design, 2nd ed, Marcel Dekker, 1992.





## ENGUIA GEN

# Empresa consolida tecnologia de produção de biodiesel

O grupo Enguia Gen Ltda., com 12 termelétricas a diesel no Nordeste brasileiro, investiu no desenvolvimento de tecnologia e de procedimentos na produção de biodiesel a partir de óleo de mamona.

Além de produzir o biodiesel, a empresa testou a performance do óleo por meio de um Grupo Moto-Generator (GMG) para produção de energia elétrica. Com essa experiência em escala industrial e contínua, o projeto contribuiu para consolidar o uso do biodiesel como alternativa renovável na produção de energia.

Outra vantagem do combustível apontada no projeto é o fato de não ser corrosivo e não contaminar a atmosfera com enxofre e derivados. Além disso, ao ser usado de forma pura ou misturado ao diesel fóssil, melhora a qualidade das emissões e, conseqüentemente, não potencializa o efeito estufa.

Depois de testar o combustível em um grupo moto-gerador, os pesquisadores concluíram que o desempenho do equipamento não foi comprometido. Dessa forma, o projeto sugere que o biodiesel possa ser utilizado como complemento ou substituto do diesel fóssil sem provocar desgastes, danos ou aumento significativo do consumo e, ainda, ampliar a confiabilidade do atendimento a cargas localizadas nas pontas de redes de distribuição e suprir o consumo em comunidades isoladas.

### FICHA TÉCNICA

**Empresas:** Enguia Gen PI Ltda., Enguia Gen BA Ltda. e Enguia Gen CE Ltda.

**Título:** Obtenção de Biodiesel de Óleos Vegetais para Geração de Energia Elétrica

**Ciclos:** 2003/2004 e 2004/2005

**Investimento:** R\$ 9.895.602,00

**Execução:** Brasil Biodiesel Comércio e Indústria de Óleo e TECBIO Tecnologias Bioenergéticas Ltda.

# Uso do biodiesel na geração de energia elétrica Enguia Gen Ltda.

Raul Ferreira<sup>(1)</sup>, Márcio Baz<sup>(2)</sup> e Débora Nunes<sup>(3)</sup>

**Resumo** – Este artigo descreve o Projeto de P&D desenvolvido pelas empresas Enguia Gen BA Ltda, Enguia Gen CE Ltda e Enguia Gen PI Ltda ao longo do período de 2003 a 2005. As empresas são proprietárias de 12 usinas termelétricas localizadas na região nordeste brasileira e que entraram em operação comercial contratadas pela Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial (CBEE). Como são usinas que consomem óleo diesel para a produção de energia elétrica, insumo bastante caro, o projeto de P&D visou ao desenvolvimento da tecnologia e de procedimentos e à construção de uma usina protótipo capaz de produzir biodiesel a partir do óleo de mamona e, na sequência, testar a sua performance quando usado em Grupo Moto-Gerador (GMG) para a produção de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Biodiesel, geração de energia, óleo diesel

## I. INTRODUÇÃO

A utilização de derivados de petróleo para a geração de energia elétrica se mostra, em alguns casos, como solução única. No entanto, o preço do óleo diesel tem inviabilizado diversos projetos que poderiam efetivamente contribuir com o atendimento a regiões onde outra fonte não esteja disponível.

As características geográficas brasileiras permitem a produção do biodiesel em escala suficiente para o atendimento às diversas demandas, entre elas a utilização em grupos geradores para geração de energia.

O projeto de P&D das Enguias iniciou-se em março de 2003 (ciclo 2003/2004), e teve como objetivos a produção de biodiesel, a partir da transesterificação de óleos vegetais, e a investigação do seu uso em motores à combustão para geração de energia elétrica. Após a obtenção do biodiesel, o seu uso puro ou misturado com o óleo diesel mineral, em diversas proporções, foi testado em um moto-gerador.

Nos testes foram realizadas medições para avaliação da eficiência, do rendimento e dos índices de emissões gasosas para cada percentual de biodiesel utilizado.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A empresa Brasil Ecodiesel S.A. implementou uma usina de transesterificação para a produção de biodiesel, que se tornou a primeira experiência em escala industrial e contínua no país.

A produção de biodiesel era, até então, inédita no país. O projeto deu um passo importante para a consolidação do uso do biodiesel como alternativa renovável para produção de energia e abriu novas perspectivas para a geração de energia por usinas termelétricas.

O biodiesel é um combustível capaz de funcionar, com excepcional desempenho, em motores a diesel, sem a necessidade de qualquer modificação ou regulagem específica do equipamento.

Diferentemente do óleo diesel fóssil, o biodiesel não é corrosivo e não polui a atmosfera com contaminantes danosos à flora e à fauna (enxofre e derivados). O uso do biodiesel puro ou misturado ao diesel proporciona melhoria da qualidade das emissões, aumenta o desempenho do motor e contribui para diminuir o efeito estufa. Economicamente seu uso contribuirá com a economia de divisas em função da redução da importação de óleo diesel fóssil.

O biodiesel pode ser obtido de qualquer matéria graxa, de origem animal ou vegetal, incluídos todos os óleos vegetais e gorduras animais, óleos residuais de frituras, etc., o que reforça o caráter de fonte renovável.

O biodiesel produzido foi utilizado como combustível em um GMG adquirido para esse fim e o desempenho foi avaliado e registrado, inclusive com o acompanhamento do fabricante.



Foto 1 – A Usina de produção de biodiesel e o gerador do teste

### A. Resumo financeiro do projeto

Foram investidos R\$ 9.895.602,00 conforme segue:

Tabela 1 – Custos do Projeto

	Deslocamento Máximo (mm)	Tensão Máxima de Von Mises (MPa)
Sem raio de arredondamento	0,62	146
Com raio de arredondamento	0,91	177

### B. Descritivo do teste realizado

Resolvida a produção em escala do biodiesel, foram realizados os testes de utilização em um GMG com motor primário à combustão.

Os testes foram divididos em 3 etapas com 250 horas de operação cada uma, sendo as duas primeiras com o uso de 20% de biodiesel e 80% de óleo diesel (B20), e a terceira com o biodiesel puro (B100). Todos os ensaios, análises de componentes, manutenções preventivas e operação do equipamento foram executadas e/ou supervisionadas pelo fabricante do equipamento, Cummins, por seu distribuidor para a região Nordeste, a Distribuidora Cummins Diesel do Nordeste.

Os testes foram realizados em um GMG Cummins, NTA855G5, 325 KVA, 380 V, instalado na unidade de produção de biodiesel da Brasil Ecodiesel S.A., município de Floriano (PI).

Inicialmente, o GMG foi colocado em operação por alguns meses e forneceu energia elétrica para a planta industrial da usina de transesterificação com a utilização do óleo diesel (B2) adquirido junto às companhias distribuidoras.

#### 1ª Etapa

1. Atender às premissas de manutenções preventivas de acordo com as definições do fabricante do equipamento, em função do número de horas de operação até o início do teste. Dessa forma, todos os elementos filtrantes (combustível, ar, água, óleo lubrificante), e o óleo lubrificante do motor foram substituídos.

(1) Enguia Gen Ltda. - raul@enguiagen.com.br  
 (2) Enguia Gen Ltda. - marcio@enguiagen.com.br  
 (3) Enguia Gen Ltda. - deboranunes@enguiagen.com.br

2. Iniciado o teste do motor com o percentual de 20% de biodiesel (B20) durante 250 horas, com a potência nominal contínua do motor – 260 KW. Ou seja, nesta etapa foram utilizados bicos injetores e uma bomba de combustível, usados e não revisados, e todos os elementos filtrantes e óleo lubrificante novos.

### 2ª Etapa

1. Substituição dos elementos filtrantes (combustível, ar, água, óleo lubrificante), óleo lubrificante do motor, bicos injetores e bomba de combustível;

2. Foi então iniciado o teste do motor com a utilização de mistura contendo 20% de biodiesel (B20), duração de 250 horas, potência nominal contínua – 260 kW. Nesta etapa foram utilizados bicos injetores, bomba de combustível e todos os elementos filtrantes e óleo lubrificante novos.

### 3ª Etapa

1. Substituição dos elementos filtrantes (combustível, ar, água, óleo lubrificante), óleo lubrificante do motor, bicos injetores e bomba de combustível;

2. Iniciado o teste do motor com utilização de biodiesel puro (B100) durante 250 horas e potência nominal contínua do motor – 260 kW. Nesta etapa foram utilizados os bicos injetores e bomba de combustível usados e revisados, contudo, com os elementos filtrantes e óleo lubrificante novos.

## C. O resultado da utilização do biodiesel no gerador

Para todas as etapas do teste, foram obtidos os seguintes resultados de avaliação:

Eficiência e Rendimento: O motor operou dentro de suas características nominais, sem a ocorrência de desvios nas características especificadas pelo fabricante.

Emissões gasosas:

Foram efetuadas análises sendo:

1. Óleo diesel puro (B0), GMG sem carga
2. Etapa 1
3. Etapa 2
4. Etapa 3

Tabela 2 – Resultado dos testes

R.t.	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> %	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	O <sub>2</sub> %	T(°C)
1	30,0	304	2,8	0	270	17,1	237
2	60,0	236	6,9	0	1016	11,5	177
3	47,0	228	6,7	0	1010	11,9	478
4	30,0	303	6,7	0	1405	11,8	483

## III. CONCLUSÕES

B20 – não existe comprometimento do desempenho do equipamento, que permaneceu com seus parâmetros dentro das especificações do fabricante. Ou seja, não houve queda no desempenho do motor e as análises efetuadas em componentes do motor, pelo fabricante, não indicaram desgaste prematuro de componentes com a utilização do combustível B20, no período especificado no teste.

B100 - não existe comprometimento do desempenho do equipamento, permanecendo seus parâmetros dentro das especificações do fabricante. Após o término do teste com B100 foram efetuadas análises dos componentes do sistema de injeção de combustível do motor pelo fabricante do equipamento. Apesar de ter sido observado um aumento do diâmetro de uma das vedações da bomba de combustível quando da utilização do B100, não houve queda no desempenho ou desgaste prematuro dos demais componentes do motor.

Os testes realizados permitem a concluir que o biodiesel pode ser utilizado como complemento ou substituto do óleo diesel para motores a combustão empregados para a geração de energia, sem que isso venha provocar desgastes, danos ou mesmo elevação significativa de consumo do combustível.

O projeto de P&D das Enguias teve pleno êxito, o que demonstra a capacidade de empreendedorismo e realização dos empresários brasileiros.

Dentre os benefícios para a sociedade cita-se o legado da tecnologia desenvolvida, com a obtenção do biodiesel a partir de qualquer matéria graxa, seja de origem animal ou vegetal, por meio da transesterificação.

A utilização do biodiesel, alternativa ou complementarmente ao óleo diesel, provoca significativa redução na emissão de poluentes.

Ficou demonstrada a importância da utilização do biodiesel como combustível para geração de energia em unidades geradoras remotas, para aumentar a confiabilidade no atendimento a cargas localizadas na ponta das redes de distribuição ou para suprir a demanda em comunidades isoladas.

## IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Sharp, C.A., Howell, S.A. and Jobe, J. "The Effects of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, Part I Regulated Emissions and Performance," SAE 2000-01-1967, 00.

[2] Szybist, J.P. and A. L. Boehman "Behavior of a Diesel Injection System with Biodiesel Fuel," SAE 2003-01-1039, 03.



## TRACTEBEL

# Estudo da biomassa florestal melhora uso do insumo na geração

A utilização de fontes renováveis para geração de energia estimulou técnicos da TRACTEBEL Energia e da Universidade do Planalto Catarinense (Uniplac) a estudarem as propriedades energéticas da biomassa florestal. A pesquisa foi desenvolvida na cidade de Lages (SC) de 2001 a 2008 para prospecção de resíduos disponíveis na região e determinar parâmetros de controle da qualidade e preço do insumo para geração de energia.

Como parte do processo, a empresa instalou uma usina de cogeração com capacidade de 28 Megawatts (MW) na cidade em 2004. No entanto, com a utilização da biomassa florestal apareceram as dificuldades no tratamento dos resíduos pela falta de parâmetros estabelecidos.

Depois do mapeamento da biomassa, de coletas e experimentos de campo e de análises de laboratório, foi possível determinar o poder calorífico e os teores de umidade e de cinzas do insumo para análise das vantagens de sua utilização na geração de energia elétrica.

O projeto estimulou a criação e a expansão do mercado de biomassa florestal, com significativos impactos sociais e ambientais pelo maior aproveitamento dos resíduos na região explorada pela indústria florestal. Além disso, observa-se que mesmo com alto teor de umidade e baixo poder calorífico, a utilização desse insumo tem como vantagem o balanço neutro entre emissão e consumo de carbono. A definição dos parâmetros, por sua vez, foi importante para o controle da qualidade e comércio da biomassa florestal.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Tractebel Energia S/A

**Títulos:** a) Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento, b) Levantamento da disponibilidade dos resíduos industriais e florestais de madeira e avaliação da variação de sua qualidade energética em função das condições climáticas anuais, na região de Lages- Santa Catarina, c) Adequação do uso de resíduos de madeira de pequena granulometria para a geração de energia

**Ciclos:** 2002/2003(a), 2003/2004(b) e 2004/2005(c)

**Investimentos:** R\$ 383.944,88

**Execução:** Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC)

# Parâmetros de Controle da Qualidade e Preço da Biomassa Florestal para a Geração de Energia

Martha A. Brand<sup>(1)</sup>, Juliana de Oliveira<sup>(2)</sup>, Sabrina A. Martins<sup>(3)</sup>, Luciane C. de Oliveira<sup>(4)</sup> e Márcio D. Neves<sup>(5)</sup>

**Resumo** – O uso da biomassa florestal para geração de energia elétrica é pouco difundida em função da falta de padronização de suas propriedades energéticas. Assim, este trabalho contribuiu para padronizar os parâmetros mais importantes para o controle de qualidade da biomassa para geração de energia e para a remuneração da biomassa no mercado de resíduos na região de Lages, SC. As pesquisas desenvolvidas entre 2001 a 2008 possibilitaram o mapeamento dos resíduos usados para energia na região e a determinação dos parâmetros de poder calorífico líquido, teor de umidade e de cinzas como indicadores de eficiência e preço para a biomassa florestal.

**Palavras-chave:** Pinus, poder calorífico, resíduos, cinzas, umidade.

## I. INTRODUÇÃO

Em 2001, em função da crise energética no Brasil e do aumento no interesse pelo uso de fontes renováveis de energia, a biomassa florestal passou a ser foco de atenção do setor florestal e de empresas geradoras de energia elétrica.

Na época, o setor florestal enfrentou uma crise econômica e passou a sofrer pressão dos órgãos ambientais para diminuir seus passivos ambientais, derivados da geração e acúmulo de resíduos.

Esses fatores culminaram na necessidade de realizar pesquisas de prospecção de uso da biomassa florestal para a geração de energia [3], que permitiram a instalação da cogeração de 28 MW da Tractebel Energia S.A. em 2004, em Lages (SC).

Com o uso deste combustível iniciaram-se as dificuldades de tratamento da biomassa, pois os parâmetros energéticos são bem estabelecidos para outros combustíveis, mas não para a biomassa florestal.

Assim, os pesquisadores atualizaram o mapeamento da biomassa na região (2005) [1], realizaram coletas e experimentos de campo [2] e análises de laboratório (2005-2008) para determinar os parâmetros e índices orientadores do mercado de resíduos e do controle de eficiência da planta de geração.

Assim, os objetivos deste trabalho foram compilar os dados das pesquisas feitas entre 2001 e 2008 para realizar o mapeamento da evolução do mercado de resíduos e do tipo de biomassa utilizada na geração de energia em Lages e determinar os parâmetros indicativos de qualidade e preço da biomassa para energia.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Metodologia

O estudo foi baseado na compilação das análises de laboratório da biomassa utilizada na planta da Tractebel (2005-2008) e das pesquisas de 2001, 2003 (Figura 1), 2004, 2005 (Figura 2 e 3) [1], [2], [3] e [4].

### B. Resultados

A Tabela I e a Figura 4 mostram a disponibilidade e uso (2001-2008) da biomassa florestal e a evolução do mercado de resíduos na região.

Para a criação dos parâmetros de controle da qualidade energética da biomassa, determinou-se o poder calorífico e teor de umidade e de cinzas de 880 amostras (2005-2008) (Tabela II).



Figura 1. Experimento de estocagem da biomassa para melhoria do desempenho energético.



Figura 2. Resíduos industriais (mais de 10 anos de estocagem-2005). Usados para geração de energia (2005-2008).



Figura 3. Laboratórios equipados através dos Projetos de P&D.

(1) Universidade do Planalto Catarinense - martha@uniplac.net

(2) Universidade do Planalto Catarinense - julianaoli@uniplac.net

(3) Universidade do Planalto Catarinense - sabinana@uniplac.net

(4) Universidade do Planalto Catarinense - lucianecosta@uniplac.net

(5) Tractebel Energia S.A. - mneves@tractebelenergia.com.br

A equação (1) mostra o ajuste do poder calorífico líquido da biomassa através do teor de umidade (Figura 5).

$$PCL = -52,513 \times TU + 4543,2 \quad (1)$$

Onde PCL (kcal/kg) é o poder calorífico líquido e TU é o teor de umidade na base úmida (%).

Tabela 1. Evolução do mercado de resíduos em Lages (2001-2007).

Ano (x 1000 toneladas)	2001	2005	2007
Produção-resíduos na indústria	55,2	176,2	478,2
Biomassa consumida-indústrias	38,4	37,6	105,6
Biomassa comercializada	0	110,3	343,0
Tractebel Energia S.A.			
Total-uso de resíduos industriais	0	110,3	343,0
Biomassa-(passivos ambientais)	0	27,6	114,0
Biomassa-limpeza de pátios de indústrias e caminhões	0	27,0	81,0
Resíduos-plantações florestais	0	0	85,7
Biomassa não usada	16,8	28,3	29,6

- a. Fonte:[4]
- b. Dados [1],[3],[5],[6] e [7].

Com relação ao preço da biomassa, a remuneração é feita pela co-geradora a partir do teor de cinzas e o poder calorífico líquido (PCL), que fazem parte da metodologia desenvolvida ao longo do tempo de funcionamento da planta. Outros fatores que determinam o preço da biomassa são o tipo e a distância de transporte. Por exemplo, a casca que tem maior poder calorífico tem preço 17% maior que a serragem. Com relação ao transporte quanto menor a distância menor o custo final da biomassa para a cogeração. Biomassa com maiores distâncias também são recebidas, porém por terem maiores custos de transporte são menos priorizadas.

A metodologia adotada atualmente é baseada no fornecimento de bônus adicionais à biomassa que apresenta maior PCL e menor teor de cinzas, a partir de equações de ajustes que relacionam estas variáveis. Cada tipo de resíduo têm de um preço específico, e partir daí, pode ser melhor remunerada, quanto melhor a sua qualidade. O bônus baseia-se no PCL de 1850 kcal/kg e teores de cinzas de referência para cada tipo de biomassa, variando de 1% a 8%. Bônus positivos são fornecidos para valores maiores de PCL e menores teores de cinzas, e bônus negativos para a situação inversa.

Outro aspecto importante desta metodologia é que empresas especializadas no tratamento da biomassa para a melhoria de suas propriedades energéticas têm melhor remuneração que os demais fornecedores.

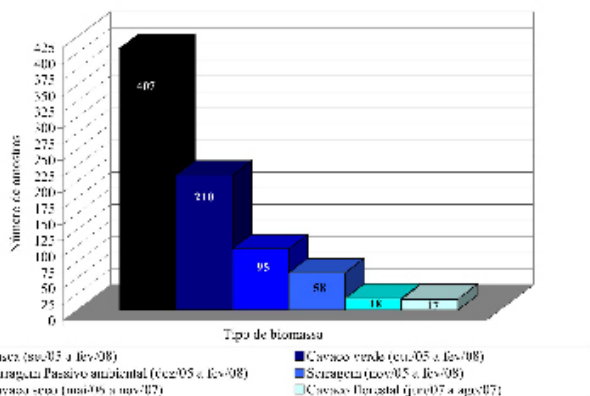


Figura 4. Frequência e período de realização de análises da biomassa florestal.

Tabela 2. Propriedades energéticas da biomassa florestal para energia-Lages (2005-2008)

Biomassa florestal	PCS kcal/kg	(PCL) kcal/kg	Cinzas (%)	TU (%)
Casca	4351	1279	14,0	59
Mix (caldeira)	4710	1549	5,0	58
Cavaco verde	4852	1739	2,0	55
Serragem (Passivo ambiental)	4744	1031	0,8	69
Serragem	4803	1406	1,0	60
Cavaco seco	4876	3850	0,6	10
Cavaco florestal	4875	1910	3,0	51

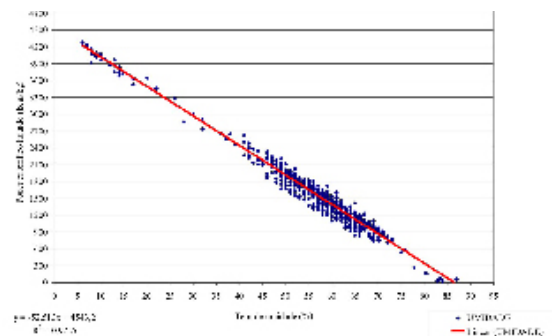


Figura 5. Correlação: Poder calorífico líquido x teor de umidade na base úmida da biomassa florestal usada para energia.

### III. CONCLUSÕES

A instalação da planta de energia em Lages contribuiu para:  
 - criação e evolução do mercado de resíduos, incentivando a criação de empresas direcionadas para o tratamento da biomassa visando a melhoria de sua qualidade.

- minimização dos problemas ambientais (poluição) e sociais (saúde pública) [3],[1], pela diminuição da quantidade de resíduos industriais sem uso e de passivos ambientais.

- o uso de biomassa de florestas plantadas.

A casca, o cavaco verde, a serragem e os passivos ambientais são usados desde o início da operação da planta.

O cavaco seco e a biomassa de florestas passaram a ser usados após a instalação de empresas especializadas no tratamento da biomassa, para melhoria da qualidade desta para energia.

A biomassa tem alto teor de umidade, baixos poder calorífico e teor de cinzas, mas apresenta vantagens ambientais devido ao balanço neutro entre emissão e consumo de carbono na atmosfera.

O mapeamento da biomassa e os parâmetros determinados nas pesquisas estão sendo utilizados pela geradora no controle de qualidade e melhoria de preço da biomassa.

O preço da biomassa é influenciado pelo tipo e qualidade energética da biomassa e distância de transporte até a planta.

Os estudos desenvolvidos subsidiaram a criação de uma metodologia de remuneração da biomassa baseada em equações que relacionam o poder calorífico líquido e o teor de cinzas, permitindo o pagamento de preços melhores para biomassa com maior poder calorífico e menor teor de cinzas.

Empresas especializadas no tratamento da biomassa recebem mais bônus pela melhoria da qualidade da biomassa em relação a empresas que não investem nesta atividade.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Brand, M. A.; Neves, M. D. "Levantamento da disponibilidade dos resíduos industriais e florestais de madeira e avaliação da variação de sua qualidade energética em função das condições climáticas anuais, na região de Lages - SC". UNIPLAC, Lages, Relatório técnico. 2005.
- [2] Brand, M.A. "Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem". Tese de doutorado. Pós-graduação em Ciências Florestais, UFPR. 2007.
- [3] Brand, M.A.; Simioni, F.J.; Rotta, D.N.H.; Arruda, L.G.P. "Caracterização da produção e uso dos resíduos madeiráveis gerados na indústria de base florestal da região serrana catarinense". UNIPLAC, Lages, Relatório técnico. 2001.
- [4] Hoff, D. N.; Brand, M.A.; Pedrozo, E. A. "Industrial ecosystems in south of Brazil". Environment, Development and Sustainability. 2008, a ser publicado.
- [5] Multiforme. "Entrevista com Gerente da Multiforme". Comunicação pessoal. 2008.
- [6] Secretaria de Finanças de SC. <http://www.ssf.sc.gov.br>. 2008.
- [7] Tractebel Energia S.A. "Entrevista com Gerente da UCLA". Comunicação.

PROJETO DE TRANSMISSORAS  
ELEVADAS DE 138KV

projetos de  
**transmissoras**



PROJETO DE TRANSMISSORAS  
ELEVADAS DE 138KV



## CTEEP

# Vigilância evita vandalismo em faixas de servidão

A Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP) e a Escola Politécnica da USP (Epusp) desenvolveram um sistema de vigilância que monitora, em tempo real, faixas de servidão e trechos de linhas de transmissão. Com uma câmera, um transmissor meteorológico e um software instalados em uma torre é possível observar movimentação incomum próxima às linhas de transmissão.

O objetivo do sistema de vigilância patrimonial é evitar invasões das áreas sobre as quais as torres e linhas de transmissão estão instaladas, denominadas de faixas de servidão. Os atos de vandalismo, como roubo de partes da estrutura das torres, prejudicam a operação do sistema e podem causar até interrupções na transmissão de energia.

O sistema de vigilância patrimonial funciona com a captação de imagens por uma câmera instalada em uma das torres. Essas imagens são enviadas por meio de comunicação sem fio para o computador de monitoramento localizado em uma subestação. O software criado permite a definição das áreas a serem vigiadas e a configuração das condições de movimentação que devem gerar alarmes, com a gravação automática das imagens da ocorrência, o que contribui para coibir atos de vandalismo.

O sistema de comunicação permite a operação remota da câmera pelo operador, que pode fazer uma inspeção detalhada da região próxima à torre. O transmissor meteorológico que integra o sistema também possibilita o envio das informações climáticas.

A energia necessária ao funcionamento do sistema de vigilância é garantida por placas fotovoltaicas associados a um banco de baterias, instalados na torre onde estão a câmera e o transmissor meteorológico. Os painéis e baterias garantem o funcionamento sem interrupção, mesmo em períodos com três dias consecutivos de chuva ou nublados.

### FICHA TÉCNICA

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

**Título:** Desenvolvimento de Sistema de Segurança Patrimonial aplicado a Linhas de Transmissão de Energia Elétrica

**Ciclo:** 2005/2006

**Investimento:** R\$ 321.319,60

**Execução:** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Epusp)



# Sistema de Segurança Patrimonial Aplicado a Linhas de Transmissão de Energia Elétrica

Rodrigo T. Claro<sup>(1)</sup>, José K. C. Pinto<sup>(2)</sup>, Fatima S. Correra<sup>(3)</sup>, Luciana C. Barbosa, Adinan Souza, Davi Y. Kikuchi e Mario Masuda

**Resumo** – Este artigo apresenta um sistema de segurança patrimonial aplicado ao monitoramento da faixa de servidão e da estrutura de torres de Linhas de Transmissão. O sistema utiliza uma câmera com recursos de pan, tilt e zoom, instalada em uma Torre da Linha de Transmissão para captar imagens de posições pré-determinadas. Essas imagens são transmitidas por um sistema de comunicação sem fio para uma central de monitoramento instalada em uma subestação de energia elétrica. Um software especialmente desenvolvido permite definir condições de movimentação na faixa de servidão que geram alarmes e disparam gravação automática das imagens adquiridas, o que possibilita atuar com prontidão em casos de atos de vandalismo. O sistema inclui um transmissor meteorológico instalado junto à câmera, que fornece informações para geração de banco de dados de condições climáticas. Os equipamentos instalados na torre da linha de transmissão são alimentados por meio de painéis de células fotovoltaicas e baterias.

**Palavras-chave:** Faixa de servidão, monitoramento em tempo real, segurança patrimonial, vandalismo em torres.

## I. INTRODUÇÃO

A invasão das faixas de servidão das linhas de transmissão de energia elétrica associada a atos de vandalismo, como roubo de partes da estrutura das torres, prejudica a operação do sistema e pode ocasionar interrupções da operação das linhas. Uma ação preventiva que permita detectar essas invasões em tempo real e evitar os atos de vandalismo é de interesse para garantir a operação segura do sistema, com redução da necessidade da realização de manutenções corretivas emergenciais e dos custos decorrentes de reparos e de penalidades que possam ser impostas pela ANEEL devido ao desligamento da linha de transmissão.

Este artigo apresenta o projeto de um sistema de vigilância patrimonial que permite monitorar trechos de linhas de transmissão em tempo real a partir de um computador localizado em uma subestação. As imagens da linha de transmissão são captadas por uma câmera instalada em uma das torres da mesma. Essas imagens são transmitidas por meio de um sistema de comunicação sem fio para o computador de monitoramento localizado na subestação. O mesmo sistema de comunicação permite que a câmera seja comandada remotamente por um operador do sistema de vigilância patrimonial, que pode realizar uma inspeção detalhada da região em torno da torre. Adicionalmente, informações climáticas são coletadas por um transmissor meteorológico instalado na torre, sendo transmitidas para o computador de monitoramento. Um sistema de alimentação autônomo, composto por painéis fotovoltaicos e baterias, instalado na torre da linha de transmissão, fornece energia os circuitos montados na mesma.

O sistema de vigilância patrimonial desenvolvido é descrito na seção II. Na seção III é discutido o software desenvolvido para monitoramento das imagens captadas pela câmera. A seção IV apresenta os testes de campo realizados com o sistema em operação na linha de transmissão Santa Bárbara-Sumaré. Finalmente, na seção V são descritos os resultados obtidos e as conclusões do projeto.

## II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema de vigilância patrimonial aplicado a linhas de transmissão é apresentado de forma esquemática na figura 1. Ele é composto por um conjunto de equipamentos que são instalados em uma das torres da linha de transmissão a ser monitorada e por equipamentos localizadas em Subestação que atua como central de monitoramento.

Os equipamentos instalados na torre da linha de transmissão incluem uma câmera digital com facilidades de pan, tilt e zoom, que permite monitorar de forma sistemática áreas pré-definidas pelo usuário do sistema, que pode ser também controlada remotamente pelo operador para investigar as cercanias da torre quando da detecção de invasões ou atos de vandalismo. Na torre é instalado adicionalmente um transmissor meteorológico que coleta informações climatológicas para futura formação de um banco de dados que for-

neça subsídios para estudos de redimensionamento da linha de transmissão. As informações meteorológicas e as imagens captadas pela câmera são conectadas a um Hub cuja saída alimenta um rádio de microondas operando em 2,45 GHz, que transmite esses dados até a subestação. Esse rádio também recebe comandos do operador do sistema localizado na subestação para controlar remotamente a movimentação da câmera. A alimentação dos equipamentos da torre é de 12 VDC fornecida por painéis fotovoltaicos associados a um banco de baterias, que garantem a operação dia e noite do sistema sem interrupção, mesmo em períodos de três dias consecutivos nublados ou de chuva. A figura 2 apresenta o diagrama de blocos dos equipamentos instalados na torre da linha de transmissão.

As informações captadas pela câmera e pelo sensor meteorológico são transmitidas para subestação por dois enlaces de microondas de comprimentos diferentes, que operam na frequência de 2,45 GHz, com uso do padrão LAN IEEE802.11b/g. O primeiro enlace interliga a torre da linha de transmissão com a torre de comunicações da subestação e tem 3 km de extensão. O segundo enlace interconecta a torre de comunicações com o computador de monitoramento, situado a 200 metros de distância.

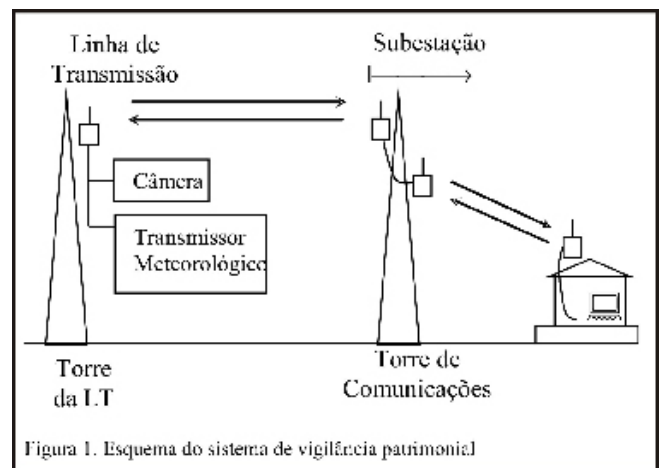


Figura 1. Esquema do sistema de vigilância patrimonial

Para dimensionamento dos enlaces de microondas utilizou-se a fórmula Friss [1] e um fator de segurança de 10 dB para levar em conta o efeito de chuvas e de reflexões que deterioram o sinal transmitido [2].

(1) CTEEP - rclaro@ctEEP.com.br

(2) EPUSP - jkcunhap@lme.usp.br

(3) EPUSP - fcorrera@lme.usp.br

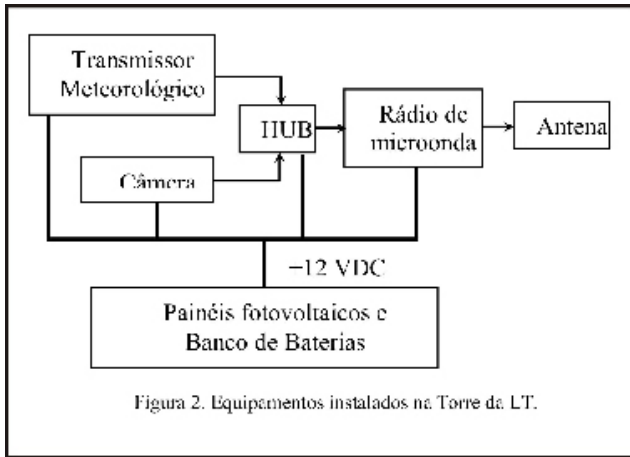


Figura 2. Equipamentos instalados na Torre da LT.

Figura 2. Equipamentos instalados na Torre da LT.

Para o enlace entre a torre da linha de transmissão e a torre de comunicações da subestação, selecionou-se o rádio WAP6000 da Planet, com potência de transmissão de +14 dB e sensibilidade de recepção de -74 dBm @ 54 Mbps. Nas duas pontas do enlace utilizaram-se antenas do tipo flat panel, com ganho de 18 dBi. Aplicando-se a equação de Friss, verificou-se que esse enlace opera adequadamente para distâncias de até 15 km em condições ideais de propagação. Considerando-se uma perda de 10 dB devido ao efeito combinado de reflexões do sinal, desalinhamento de antenas e chuvas, o alcance é reduzido para 5 km, atendendo ainda nesse caso aos requisitos do sistema.

O enlace entre a torre de comunicações da subestação e o computador de monitoramento tem comprimento menor que 300 metros, tendo sido realizado por meio de rádios WAP6100 da Planet, com antena integrada de 12 dBi. Esse rádio opera com potência de transmissão +17 dBm e sensibilidade de recepção de -74 dBm @ 54 Mbps. O enlace pode ser estabelecido entre pontos distantes de até 1,7 km.

### III. SOFTWARE DE MONITORAMENTO

Foi desenvolvido um programa de computador que permite o monitoramento das imagens captadas pela câmera instalada na torre da linha de transmissão. Analisando essas imagens por meio de técnicas de visão computacional, a tarefa principal do programa é detectar alterações significativas que possam ocorrer no ambiente vigiado.

A câmera escolhida para realizar o monitoramento do ambiente é a câmera AXIS 214 PTZ. Trata-se de uma câmera IP, que possui um servidor interno que permite a comunicação com outros dispositivos situados na mesma rede, possibilitando acesso às suas funcionalidades pela interface de programação (API) chamada AXIS Media Control SDK, que permite a realização de programas em ambiente Micro-soft Windows.

O software de monitoramento foi desenvolvido em um ambiente Microsoft Visual C++ 6.0, em um sistema Microsoft Windows XP, implementado em um computador pessoal (PC). O algoritmo de detecção de alterações utilizado no software é baseado na técnica apresentada por Huwer e Niemann [3]. A entrada é um fluxo de imagens, que corresponde a uma sequência de imagens obtidas pela câmera a intervalos regulares. O algoritmo utiliza um procedimento chamado subtração de plano de fundo (background), que corresponde a uma imagem que representa o ambiente sendo monitorado em suas condições normais. Neste procedimento é utilizada uma técnica de modelagem adaptativa do background, que permite que pequenas alterações do ambiente, que não correspondam a defeitos ou invasões, sejam englobadas no plano de fundo ao longo do tempo. Um background que se adapte com o tempo é interessante em algumas situações, como no caso de mudanças de iluminação a que o ambiente é susceptível com o passar das horas do dia.

Para manuseio do software de monitoramento, desenvolveu-se uma interface gráfica constituída predominantemente pelo

controle da câmera, composta pela região de exibição da imagem, barra de status e botões de controle da câmera.

A barra de status exibe mensagens sobre o estado atual da janela de controle da câmera, indicando se está pronta para mostrar imagens, carregando informações de seu servidor interno ou gravando vídeos no disco rígido do computador.

Os botões de controle permitem ao usuário executar alguns procedimentos com a câmera, como iniciar ou encerrar a transmissão de imagens pela câmera e iniciar ou encerrar a gravação de vídeo da câmera.

A janela de controle da câmera exibe um sinalizador que corresponde ao alarme de monitoramento. Se a operação do software ocorre normalmente, o sinalizador permanece com a cor verde. Se o algoritmo de monitoramento detecta alguma alteração significativa no ambiente, o alarme se torna vermelho, é emitido um sinal sonoro e a função de gravação de vídeo da câmera no disco é iniciada. A sensibilidade do algoritmo de monitoramento em relação a alterações na imagem e o ajuste dos níveis de sinalização podem ser realizados por janela de configuração

O software incorpora uma funcionalidade de preset que possibilita movimentar a câmera com recursos de pan-tilt-zoom para uma das posições previamente definidas. O objetivo desta função é permitir ao usuário movimentar a câmera livremente para observar o ambiente, mas com a possibilidade de retornar à posição de trabalho desejada selecionando o preset correspondente.

O algoritmo de monitoramento implementado no software permite que alguns parâmetros utilizados em seus cálculos possam ser modificados. Assim, conforme as características particulares do ambiente a ser monitorado, é possível adaptar o algoritmo de modo a otimizar o seu desempenho na situação desejada. Mudando-se os valores desses parâmetros é possível controlar, por exemplo, o nível de alteração na imagem necessário para se acionar o alarme ou a rapidez de incorporação de pequenas alterações na imagem sobre o modelo do ambiente monitorado.

Outra configuração permitida pelo software é a limitação da área da imagem em que o algoritmo de detecção atua. Como padrão, é definido que o programa verifica a presença de alterações sobre a imagem inteira, mas é possível limitar o campo de busca para uma região de interesse menor no interior da imagem.

### IV. TESTES DE CAMPO

O sistema foi instalado para testes de campo na linha de transmissão Santa Bárbara-Sumaré e na subestação da CTEEP em Santa Bárbara D'Oeste. A figura 3 apresenta uma foto da torre da linha de transmissão na qual foi montado o sistema, sendo que a figura 4 apresenta equipamentos instalados na torre de comunicações da subestação.

O sistema foi testado com a captação de imagens da câmera pelo computador de monitoramento, como ilustrado na figura 5.

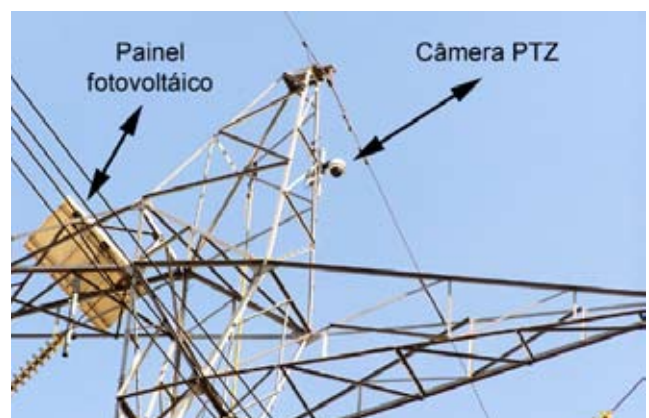


Figura 3: Câmera e painel fotovoltaico na torre da LT.

Foram testadas com sucesso as funções implementadas no programa computacional, controlando-se remotamente os recursos pan, tilt e zoom da câmera. Foram definidas posições de preset, configurando-se as condições de alarme do sistema. Obteve-se a ocorrência de alarmes quando da passagem de veículos e pessoas pela região monitorada. Nessas circunstâncias, o programa computacional salvou as imagens gravadas em arquivo, para posterior visualização do evento.

Os dados do transmissor meteorológico foram obtidos na tela do computador pelo programa que o acompanha.



Figura 4: Antena e rádio montados na estrutura de M.O.

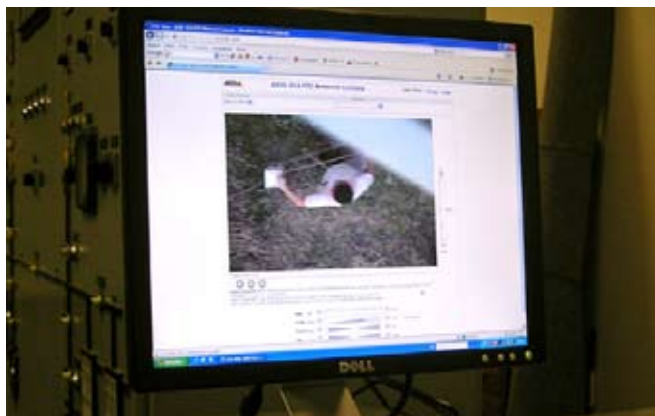


Figura 5: Imagem recebida pelo sistema de monitoramento.

## V. CONCLUSÕES

O sistema de vigilância patrimonial foi desenvolvido e implantado com sucesso, tendo permitido inspecionar remotamente a área da linha de transmissão em torno da torre na qual foram instalados os equipamentos. O sistema é portátil e pode ser instalado em outras torres e subestações, com distância máxima de 5 km (com chuva) e 15 km (sem chuva). As imagens captadas pela câmera e as informações climáticas fornecidas pelo transmissor meteorológico foram adequadamente transmitidas para o computador de monitoramento pelo sistema de comunicação sem fio projetado.

O software de monitoramento permitiu definir regiões a serem inspecionadas pela câmera, bem como configurar as condições de movimentação na área que deveriam gerar alarmes. Obteve-se a ocorrência de alarmes, com gravação automática de imagens do evento, como requerido para coibir atos de vandalismo.

O sistema instalado operou adequadamente nas condições de campo eletromagnético elevado que caracterizam a torre da linha de transmissão, tendo funcionado em presença de condições climáticas adversas, como chuva.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. T. Friss, "A Note on a Simple Transmission Formula," in Proc. of the IRE and Waves and Electrons, May, 1946, pp. 254-256.
- [2] D. M. Pozar, Microwave and RF Design of Wireless Systems, vol. I. New York: JohnWiley & Sons, 200, pp. 111-150.
- [3] Stefan Huwer and Heinrich Niemann. "Adaptive Change Detection For Real-Time Surveillance Applications". IEEE International Work-shop on Visual Surveillance Proceedings, 2000, Dublin, Irlanda, pp. 37-46.



## ETEP

# Sensor monitora afrouxamento de cabos de sustentação de torres

A Empresa Paraense de Transmissão de Energia (ETEP), com apoio do Grupo de Automação da Universidade de São Paulo (USP), desenvolveu um mecanismo para monitorar o nível de tensionamento dos cabos que sustentam as torres de transmissão a fim de facilitar a fiscalização e otimizar o envio de equipes para inspeção no local.

Foram testadas algumas alternativas de sistemas de monitoramento. Um sistema baseado em laser mede a distância entre mastros para aferir qualquer anomalia que possa apontar para o afrouxamento dos estais. Um protótipo que usa equipamentos comerciais foi montado de forma a examinar a precisão das outras soluções. Instalou-se ainda um mecanismo relativamente barato, composto por emissor laser de baixo custo, focalizado e modulado a um receptor instalado no outro mastro para monitorar constantemente a presença do feixe. Uma solução mecânica baseada em chaves interruptoras acionadas por tração foi também instalada e comparada com as demais.

O sistema de monitoramento conta ainda com tecnologia Wi-Fi, que permite a interconexão de computadores por meio de redes sem fio, para transmissão das medições a um notebook localizado nas proximidades da torre com aplicativo para adquirir, armazenar e dispor das medições na tela.

Outra possibilidade é o envio de dados via telefonia móvel, por meio de equipamento adquirido de uma operadora de celular. Depois de enviados, os dados ficam disponíveis na Internet para uso do controlador do centro de operação.

O projeto tornou-se uma ferramenta de aumento da eficiência do processo de gestão de linhas de transmissão com torres estaiadas, opção para solos com alto grau de dificuldade para construção de fundações. Os estais (cabos) que compõem a estrutura destas torres estão sujeitos a deslocamento de fundações e a fenômenos meteorológicos, o que pode causar afrouxamentos e até a ruptura e, conseqüentemente, permitir a queda da torre, o que levaria ao desligamento da linha.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Empresa Paraense de Transmissão de Energia (ETEP)

**Título:** Desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real para controle de tensionamento de estais de linha de transmissão

**Ciclos:** 2004/2005 e 2005/2006

**Investimento:** R\$ 359.840,00

**Execução:** Universidade de São Paulo (USP)

# Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento em Tempo Real para Controle de Tensionamento de Estais de Linhas de Transmissão.

J. C. B. Mello<sup>(1)</sup>, D. O. Figueiredo<sup>(2)</sup>, R. M. Jacobsen<sup>(3)</sup>, J. A. Jardini<sup>(4)</sup>, J. C. Santos<sup>(5)</sup>, L. C. Magrini<sup>(6)</sup>, M. G. M. Jardini<sup>(7)</sup>, M. Masuda<sup>(8)</sup>, L. Ogiboski<sup>(9)</sup>, F. Crispino<sup>(10)</sup> e J. W. Bizzarria<sup>(11)</sup>

**Resumo** – Em todas as linhas de transmissão no Brasil, o monitoramento dos estais de torres é realizado periodicamente por inspeções em campo ou quando da identificação de irregularidades. A linha da ETEP localizada ao Norte do País, devido as suas particularidades (torres estaiadas e instaladas em terrenos e locais de difíceis acessos), merece atenção especial quanto ao acompanhamento. Possíveis sensores e sistemas de informação foram investigados e então construído um protótipo de monitoramento em tempo real de estais de torres de linhas de transmissão. Este protótipo foi validado em campo.

**Palavras-chave:** Afrouxamento e recalque em torres estaiadas. Torre estaiada. Monitoramento em tempo real. Sistema laser.

## I. INTRODUÇÃO

Empresas de transmissão de energia têm utilizado torres estaiadas em solos onde a construção de fundações é de dificuldade elevada e em locais de difícil acesso para as equipes de manutenção. Fenômenos como o deslocamento de fundações e os meteorológicos (vento) podem causar o afrouxamento e posterior ruptura dos estais, o que causa, então, a perda da estabilidade da torre podendo ocasionar a sua queda e, conseqüentemente, desligamento da linha de transmissão. Acrescenta-se aqui as multas aplicadas à Concessionária pela indisponibilidade não programada. Assim sendo, torna-se um assunto de importância crítica tendo em vista o custo da indisponibilidade da linha para a empresa de transmissão e os inconvenientes para a operação do sistema de energia elétrica.

O caráter inovador é a busca de uma solução econômica de forma a poder monitorar um número razoável de torres [1]. O objetivo principal do projeto é desenvolver um sistema protótipo, que consiste na instalação de sensores capazes de detectar o estado dos estais (tensionamento) e transmitir esta informação, remotamente, para um centro de controle.

## II. RECURSOS TÉCNICOS ANALISADOS

Acreditava-se que a solução “uso de extensômetros” seria ideal para tal aplicação porém, após estudos, constatou-se que não seria viável tecnicamente e então se partiu para a busca de novas formas de se monitorar os estais. Entendeu-se então que a medição direta do cabo de estai ficava inaplicável financeiramente e então procurou-se outras grandezas que, monitoradas, serviriam para indicar afrouxamento ou recalque da torre. Seria então monitorada a distância entre os mastros da torre, que poderia ser medida em unidades métricas ou pela simples detecção de deslocamento dos mastros. São eles:

### A. Conceito de Célula de Carga

Uma das opções é a célula de carga em série com o cabo do estai. Tal possibilidade requer quatro unidades, e sua utilização direta nos estais apresenta problemas: deve ser dimensionado para a máxima tração de projeto (superior a 30T), onerando de sobremaneira a solução; e a sua instalação fica prejudicada, visto ter a necessidade desconectar os estais. O custo para as células de carga: uma de 10T custa cerca de R\$3.000,00. O custo para o sistema concentrador de sinais: cerca de R\$1.000,00. Custo total por torre: R\$15.000,00.

Outra possibilidade estudada foi a de se fixar uma célula de carga perpendicular ao cabo do estai. Esta alternativa também requer 4 unidades, porém com custo inferior ao anterior e com a vantagem de sua instalação não necessitar desconectar os estais. Esta possível solução foi inviabilizada por questões de custos já que não se tem certeza quanto ao padrão de

arquivos que conteria os resultados de saída, e pelo fato de que cada dispositivo deveria ser aferido em campo durante sua instalação. O custo para as células de carga: uma custa cerca de R\$1.350,00. O custo para o sistema concentrador de sinais: cerca de R\$1.000,00. Custo total por torre: R\$6.400,00.

Estudou-se também a possibilidade de se empregar diretamente ao cabo estai, os Strain Gage (ou extensômetros). Essa solução não é indicada (apesar de seu baixo preço) pelos fornecedores para a aplicação específica do projeto pelos motivos: a definição do local de fixação da fita com extensômetro deve ser bem estudada; superfícies muito extensas devem conter mais de um extensômetro já que diferentes variações de deformação podem ocorrer; quanto maior a quantidade de extensômetros maior será a quantidade de composição de pontes de Wheatstone e conseqüentemente maior a quantidade dos equipamentos que deverão converter o sinal em valores numéricos; haveria dificuldades de fixação do(s) extensômetro(s) no estai, que é composto por vários fios encordoados; para a sua aplicação, a peça deverá ter a superfície lisa e limpa não sendo possível a sua aplicação direta em peças galvanizadas (manilha, por exemplo).

### B. Conceito de Inclinômetros

Utiliza-se da variação da inclinação do mastro para detectar problemas. Seriam necessários 2 dispositivos. Essa possível solução foi inviabilizada por motivos de custos. O custo dos inclinômetros: um custa cerca de R\$2.100,00. O custo do concentrador de sinais: cerca de R\$1.000,00. Custo total por torre: R\$5.200,00.

### C. Conceito de Solução Mecânica

Funciona sobre o princípio de dispositivos para acionamento de chaves interruptoras por tração. Baseia-se na aplicação de peso/ lastro que, preso a um cabo tem sua outra extremidade fixa num dos mastros da torre; quando da movimentação dos mastros esse peso descerá e girará um disco que acionará chaves interruptoras e então um sinal será enviado a um concentrador de medições e de lá transmitido a uma central de operação, com indicação de possível afrouxamento de estai. A cada 10 segundos uma medição é enviada ao concentrador de sinal, demonstrando o fechamento ou não das chaves. O custo futuro para multiplicação é de cerca de R\$850,00. O custo do concentrador de sinais gira em torno de R\$1.000,00, com custo total por torre da ordem de R\$1.850,00.

(1) ETEP – Empresa Paraense de Transmissão de Energia.

(2) ETEP – Empresa Paraense de Transmissão de Energia.

(3) ETEP – Empresa Paraense de Transmissão de Energia.

(4) GAGTD - Grupo de Automação da USP.

(5), (6), (7), (8), (9), (10) e (11) Kadumo Comércio e Projetos LTDA.

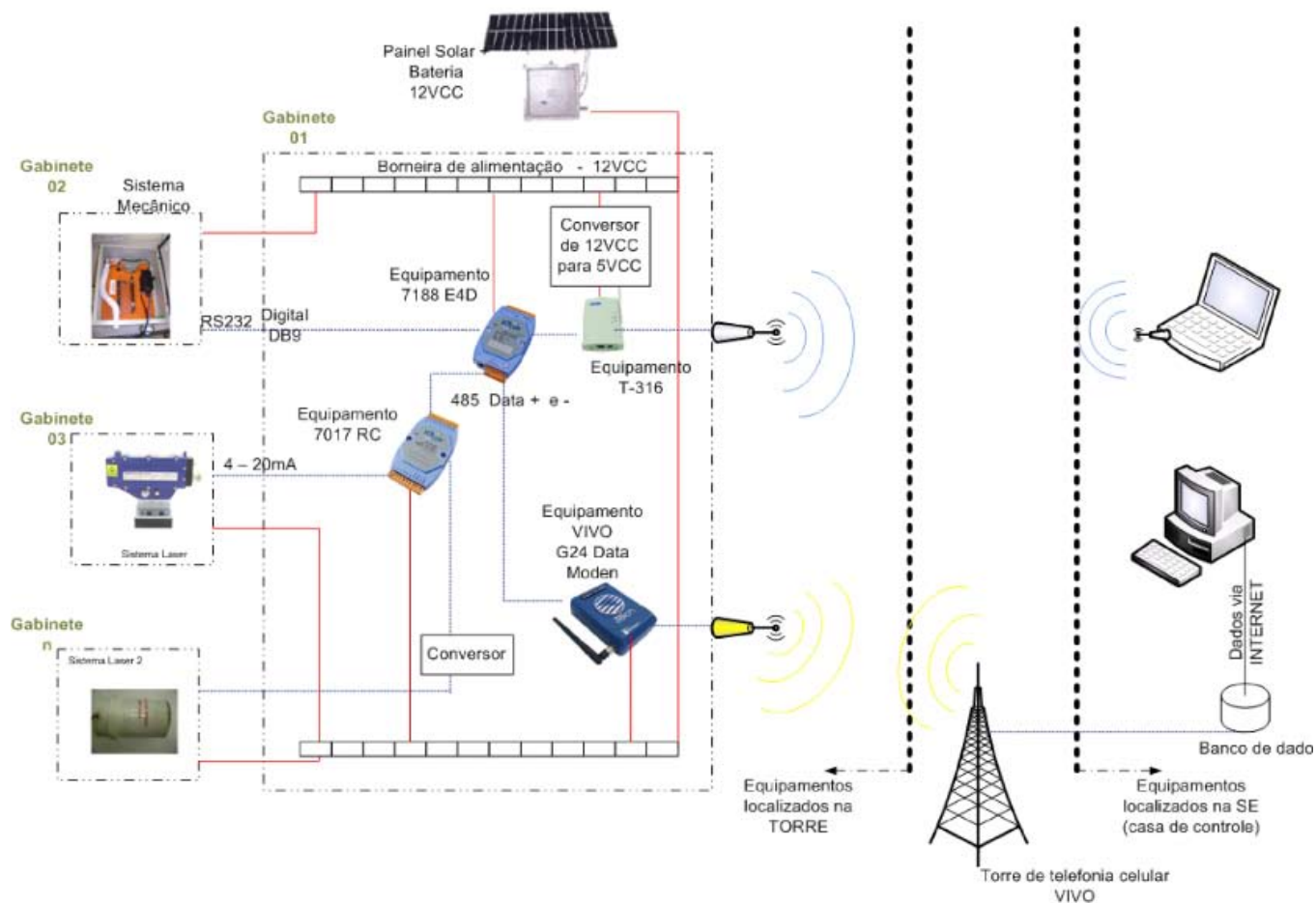


Figura 1. O sistema protótipo.

#### D. Conceito de Solução Laser

Uma possibilidade estudada foi o equipamento laser: Trena Eletrônica, que tem como princípio medir as distâncias entre mastros. Um único equipamento será necessário para compor com o sistema para transmissão de sinal para o controlador. Essa solução, o “equipamento laser comercial”, apesar de cara, serviria como um equipamento de apoio à instalação dos outros sistemas, além de servir para aferição e uso futuro. Outra solução estudada foi a “Solução de uso laser – Laser 2”. Nesse, pretendia-se desenvolver, sob o mesmo aspecto funcional da solução “equipamento laser”, um sistema baseado em caneta laser ou outro que indicaria o deslocamento relativo entre os mastros da torre por sensores, porém, de baixo custo. Num dos mastros da torre a unidade emissora envia um feixe de laser adequadamente focalizado e modulado à unidade receptora (instalada noutro mastro), que permanece monitorando continuamente a presença do feixe. Quando a estrutura da torre se deforma, a posição relativa entre o feixe do emissor e o detector muda, levando ao desalinhamento lateral do sistema e à redução da potência óptica percebida pelo receptor. Quando esse desalinhamento atinge um limite preestabelecido, a condição de máxima deformação admissível é sinalizada.

### III. DESENVOLVIMENTOS

Na Figura.1 está representado o sistema protótipo de monitoramento de estai. O sistema como um todo é composto por três subsistemas, que são o de alimentação no qual num dos mastros da torre foi instalado um painel solar (50Wp) e uma bateria que supre (12VCC) a energia necessária para o funcionamento de todos os equipamentos. Do painel solar e bateria sairá um par de cabos até uma borneira no Gabinete 01 e dele para os equipamentos; o de medição que é composto

pela “solução mecânica” - quando da movimentação dos mastros esse peso descerá e girará um disco que acionará chaves interruptoras e então um sinal, por RS232 será enviado a um concentrador de medições (7188 E4D e T-361/ VIVO) e de lá transmitido a uma central de operação indicando possível afrouxamento de estai. Da mesma forma, porém, apenas como equipamento para aferição, no topo de um dos mastros será instalado a trena laser, e no outro mastro, uma placa refletora desse feixe. O sinal medido do equipamento laser é então enviado, por 4-20mA, a um concentrador de medições (o 7017 RC e T-361/ VIVO) e de lá transmitido a uma central de operação que indica possível afrouxamento de estai. O subsistema de monitoramento/ transmissão é composto por dois métodos: Wifi, onde as medições serão enviadas ao T-361 (2,4GHz) que então enviará a um notebook nas proximidades da torre onde um aplicativo foi desenvolvido para adquirir, armazenar e dispor na tela tais medições. Este serve para acompanhar, do campo, se os dados estão sendo medidos e transmitidos corretamente; e por telefonia celular (neste caso, VIVO), as medições serão enviadas ao equipamento G24 Wireless Data Modem GSM/ GPRS Quad Band (fabricante Motorola; fornecedor INFORMAT Technology). O equipamento foi adquirido e um plano de transmissão de dados também foi contratado junto a VIVO. Os dados, depois de transmitidos, são disponibilizados através da Internet. Então, um aplicativo foi desenvolvido a fim de coletar e armazenar as medições e disponibilizar ao operador/controlador.

### IV. APLICAÇÃO EM CAMPO

O protótipo foi instalado em campo e validado. As medições vindas desses equipamentos foram acompanhadas em campo por transmissão wireless e também armazenados em banco de dados vindos pela transmissão de dados via telefonia celular VIVO.



Figura 2. Detalhe da instalação do protótipo.

## V. CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES

Com relação ao “Sistema laser 1” – trena laser instalada no topo do mastro podemos comentar:

Não compõe a solução futura a ser multiplicado; ele se comportou perfeitamente perante intempéries. Seu papel de servir como equipamento aferidor foi cumprido.

Houve dificuldade em alinhar o feixe laser durante o período diurno devido à claridade do dia e à dificuldade de se enxergar o feixe laser no anteparo fixado no mastro oposto (cerca de 25 metros). Sugere-se um anteparo de área maior e que esse seja instalado ao final do dia/ início da noite.

Quanto à solução “Sistema laser 2”:

O alinhamento do feixe laser entre o equipamento emissor e o receptor foi complicado e demorado apesar de se usar, adaptado a parte emissora, um tripé fotográfico que auxiliou no alinhamento, com aumento da estabilidade.

Da forma como foi concebido e validado em campo, ele está bastante sensível à movimentação (afastamento ou aproximação) dos mastros. O lado receptor deve ser revisto

a fim de diminuir tal sensibilidade de forma a aumentar, por exemplo, a matriz foto sensora do lado receptor.

Quanto à “Solução mecânica:

Este equipamento se comportou como esperado. Foi dimensionado para detectar afrouxamento no estai conforme estudo de forças e cargas na torre. Variações no vari grip com a diminuição de cerca de 5cm foram executadas até que detectadas pelo equipamento.

Quanto aos dispositivos transmissores de dados: wifi e VIVO (por GPRS) pode-se afirmar:

O sistema wifi se comportou eficientemente. Este dispositivo permitiu o acompanhamento online dos ensaios.

O sistema VIVO se comportou de modo razoável. Essa operadora, a melhor da região, passava por modificações em seus sistemas e alguns dados foram perdidos durante a transmissão (taxa de perda entre 4 e 7% em Tucuruí/ PA ).

## VI. RECOMENDAÇÕES FUTURAS E SUMÁRIO FINAL

- Submeter o protótipo às influências eletromagnéticas.
- Aperfeiçoar metodologia de alinhamento dos dispositivos lasers.
- Verificar a possível indução de corrente no fio de aço que compõe a solução mecânica e que liga um mastro ao outro.
- Aperfeiçoar pela redução da quantidade de equipamentos concentradores e transmissores de dados coletados.
- Aperfeiçoar pela redução do tamanho do conjunto fotovoltaico.
- Aperfeiçoar dispositivo laser 2 , tornado-o mais robusto.

O trabalho integrou as tecnologias de sensoriamento, programação e transmissão de dados tornando-se uma ferramenta que aumenta a eficiência do processo de gestão de linhas de transmissão e demais ativos.

## VII. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Desenvolvimento de um Sistema de monitoramento de Corrente e Temperatura em Linhas de Transmissão. Jardini, J. A.; Jardini, M. G. M.; Masuda, M.; Magrini, L. C.; Kayano, P. S. D.; Silva, P. R. L.; Lima, J. C.; Guedes, L. J. M.; Pinto, J. K. C.; Luquese, M. A.. Projeto de P&D, 2005



## FURNAS

# Comunicação sem fio permite integração com equipes de linhas de transmissão

Para apoiar o trabalho das equipes de instalação e de manutenção de linhas de transmissão de alta tensão, a empresa Furnas Centrais Elétricas S/A, em parceria com a Fundação Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), desenvolveu um sistema de comunicação por banda larga sem fio para transmissão de voz, dados e vídeo via Internet Protocol (IP), que é o endereço numérico que identifica de forma única um computador na rede Internet.

O protótipo do sistema foi testado em duas torres de linhas de 500 kilovolts (kV) que interligam subestações em Angra dos Reis e São José, no Rio de Janeiro. Atualmente, a demanda por comunicação entre as equipes de campo e outras tem sido atendida por rádios privativos analógicos em alta frequência, mas os equipamentos têm baixa capacidade e exigem licença e infraestrutura de torres. Outra alternativa é a telefonia móvel, porém, muitos locais têm cobertura restrita.

A solução tecnológica criada tem baixo custo e usa faixas de frequência que dispensam licenciamento. O protótipo é composto de interface de rádio, sistema de energia remota e interface para fibras ópticas. O sistema piloto foi ligado à rede corporativa de Furnas, o que permitiu conexões de voz, dados e vídeo sobre IP entre seus usuários com computadores sem fio e usuários corporativos em terminais de acesso fixo ou ramais telefônicos da empresa. Com a interface do Voice Over Internet Protocol (VoIP) com a central telefônica da empresa, foi possível ainda acessar telefones externos, fixos ou móveis.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Furnas Centrais Elétricas S/A

**Título:** Sistema de Comunicação sem fio integrado de voz, dados e imagem para Linhas de Transmissão de alta tensão

**Ciclo:** 2004/2005

**Investimento:** R\$ 934.420,00

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



# Sistema Banda Larga Sem Fio para Comunicação de Equipes de Linhas de Transmissão

G. Preger<sup>(1)</sup>, M. G. Castello Branco<sup>(2)</sup>, C. H. R. de Oliveira<sup>(3)</sup>, R. S. Costa<sup>(4)</sup>, M. G. de Jesus<sup>(5)</sup>, D. A. W. Scavasin<sup>(6)</sup>, G. L. B. Porphirio<sup>(7)</sup>, J. B. Rosolem<sup>(8)</sup>, J. C. Said<sup>(9)</sup> e R. M. Ribeiro<sup>(10)</sup>

**Resumo** - Este trabalho descreve os principais resultados de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, realizado em cooperação entre Furnas Centrais Elétricas SA e a Fundação Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicações(CPqD), de um sistema de comunicação banda larga sem fio para apoio às equipes da concessionária que atuam em trabalhos de manutenção e instalação ao longo das linhas de transmissão de alta tensão. O protótipo do sistema, composto de interface rádio IEEE 802.11 b/g, sistema de energia remota e interface óptica para fibras ópticas do cabo OPGW, foi implantado e testado em duas torres de transmissão da linha de 500 kV que interligam subestações em Angra dos Reis e S. José no Estado do Rio de Janeiro e possibilitou transmissões de voz, dados e vídeo sobre IP. Tais transmissões se efetivaram entre terminais portáteis de diversos tipos e modelos operados próximos às torres e qualquer outro ponto de acesso interconectado à rede corporativa de Furnas.

**Palavras-chave:** Sistema de comunicação sem fio, cabos OPGW e linhas de transmissão de alta tensão.

## I. INTRODUÇÃO

As atividades de manutenção de linhas de transmissão de energia demandam comunicações com serviços básicos às equipes de campo, em especial voz. Para tal, os rádios privativos analógicos em VHF (Very High Frequency) ainda têm sido usados, mas apresentam baixa capacidade e exigem licença e infraestrutura de torres dedicadas. Além destes, os celulares são alternativas, porém com restrições de cobertura, especialmente em áreas remotas por onde passam as linhas de transmissão. Com base neste cenário, foi estudada uma solução tecnológica que permita acesso banda larga sem fio de baixo custo em faixas de frequência não licenciadas e com possibilidade de entroncamento das fibras ópticas dos cabos OPGW (Optical Ground Wire) das linhas de transmissão de Furnas.

A seção II descreve os testes realizados para mapear o ambiente eletromagnético das torres e linhas de 500 kV de Furnas. A seção III descreve as arquiteturas analisadas para o sistema de comunicação. Na seção IV encontram-se descritos os resultados das medidas efetuadas nas fibras ópticas. Os elementos que compõem os sistemas-piloto são descritos na seção V. A seção VI contempla os resultados dos testes do sistema-piloto instalado em Seropédica no Estado do Rio de Janeiro. Na seção VII são apresentadas as conclusões.

## II. INVESTIGAÇÃO DO AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO DAS TORRES

### A. Medições e proteção de campos elétricos e magnéticos

Para assegurar a compatibilidade e imunidade eletromagnética do novo sistema sem fio para torres e linhas de alta tensão, bem como especificar a proteção EM do sistema, foram realizadas medições de campos elétrico e magnético de baixa frequência em pontos situados ao redor das torres de 500 kV de Furnas. Os resultados das medições encontram-se resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas de campos próximos à face de torre de 500 kV

Tipo de campo	Máximo medido
Elétrico	5,8 kV/m
Magnético	7,5 A/m

As medições foram realizadas a menos de 1 metro da face da torre e entre 15 e 20 metros do solo, próximas à caixa de emenda óptica. Os níveis medidos encontram-se em con-

formidade com os limites estabelecidos pelas normas internacionais (série IEC 61000) e nacionais (Portaria 27/2002 do Ministério do Trabalho) para situação de curta e longa duração, incluindo os limites de exposição humana. Com base nesses resultados, foram planejados os gabinetes de acondicionamento do sistema piloto e os procedimentos de aterramento e interligação dos diversos elementos do sistema. Além disto foi especificado e empregado um protetor de surto coaxial capaz de proteger o sistema contra descargas atmosféricas sobre a antena.

Além dessas medidas de campo foram também efetuados testes de site survey com analisador de espectro e antenas calibradas visando verificar a ocupação do espectro de radiofrequências na área selecionada para o teste-piloto. As medições se focaram especialmente na faixa de 2.4 a 2.485 GHz utilizada pelos sistemas Wi-Fi (Wireless Fidelity) no padrão IEEE-802.11 g [1] e não identificaram riscos à operação dos equipamentos a serem instalados.

## III. DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA DO SISTEMA E DA TOPOLOGIA DOS TESTES

Para permitir a melhor relação custo/benefício por capacidade do sistema e da efetivação do seu backhaul pelos cabos OPGW de Furnas, optou-se pelo uso de pontos de acesso Wi-Fi em duas configurações distintas: a) Sistema principal com interface óptica para duas fibras ópticas do cabo OPGW da linha de transmissão e ; b) Sistema repetidor empregando o modo híbrido e acesso e distribuição via rádio na mesma frequência. Tal arquitetura encontra-se representada na figura 1.



Figura 1. Arquitetura básica do sistema piloto.

Com base nesta arquitetura, foi definida a topologia para a realização dos testes piloto do sistema conforme ilustrada na figura 2.

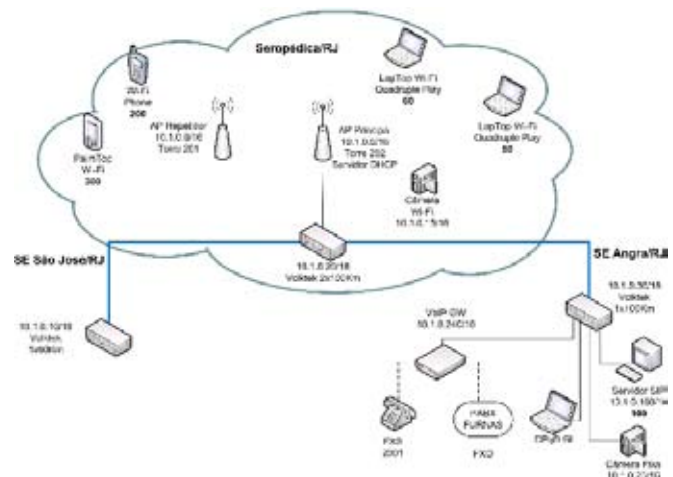


Figura 2. Topologia de teste do sistema piloto.

(1) FURNAS - preger@furnas.com.br

(2) CPqD - castello@cpqd.com.br

(3), (4), (5), (6), (7), (8), (9) e (10) CPqD

#### IV. MEDIÇÕES DE ATENUAÇÃO NAS FIBRAS E RETRABALHO NA CAIXA DE EMENDA DO OPGW

Medições de atenuação foram efetuadas nas fibras ao longo de toda a linha de 144 km e entre as subestações das pontas (S. José e Angra dos Reis) e a caixa de emenda da torre escolhida como principal em Seropédica que apresentaram valores entre 0,21 e 0,26 dB/ km. A figura 3 ilustra o trabalho mecânico realizado nesta caixa para a inserção do cordão óptico.



Figura 3. Adaptação de cordão óptico na caixa de emenda principal.

Com base nas medições das fibras ópticas selecionadas para o piloto, foi possível estabelecer os níveis de potência adequados aos switches ópticos do sistema piloto. Para tanto, foram empregados módulos ópticos com potência adequada às distâncias até as subestações de ponta.

#### V. ELEMENTOS DO SISTEMA SEM FIO

Para as partes do sistema sem fio que foram fixados às torres principal e repetidora em Seropédica, os seguintes elementos principais foram integrados: a) Access Points; b) Antenas omnidirecionais de 15 dBi em diversidade; c) Protetores de surto para as antenas; d) Cabos de RF de baixa perda; e) Injetores de energia e dados para os Access Points (Power Injectors); f) Switch com 2 portas ópticas e ao menos 1 elétrica; g) Baterias seladas totalizando 24 VDC cada conjunto; h) Painéis solares fotovoltaicos; i) Reguladores de tensão; j) Chave liga e desliga do sistema de energia; k) Termostato e ventoinha para controle térmico do gabinete, conforme ilustrado na figura 4, para o sistema da torre principal.



Figura 4. Elementos do sistema sem fio da torre principal.

Para o sistema da torre repetidora apenas o switch óptico não foi utilizado. A figura 5 ilustra a instalação do sistema piloto.



Figura 5. Vista das torres principal e repetidora após montagem

#### VI. TESTES DO SISTEMA PILOTO

Para a validação experimental do sistema, foram realizados os seguintes testes no local: a) Avaliação de cobertura de sinal; b) Avaliação de distância limite para enlace repetidor; c) Testes de desempenho de aplicações de Voz, Dados e Vídeo sobre IP na rede piloto; d) Testes de conectividade à rede corporativa de Furnas.

A figura 6 mostra um dos resultados dos testes de cobertura obtidos com o auxílio da ferramenta ESS-Pro do fabricante Ekahau [2], com os níveis de sinal recebido pelos terminais de clientes sem fio nas vias de acesso às torres principal e repetidora.



Figura 6. Resultados dos testes de cobertura de sinal do sistema piloto

Uma estimativa teórica realizada permitiu contemplar o atendimento a todo o percurso da linha considerando-se que a distância média entre as torres de Furnas dotadas de caixas de emendas ópticas é de cerca de 4km.

Para os testes de desempenho de aplicações, além da avaliação subjetiva dos recursos contidos nos diferentes terminais de clientes utilizados, foram efetuadas emulações de tráfego na rede piloto com a ferramenta IxChariot. A tabela 2 mostra os resultados de qualidade de voz de forma objetiva baseado em MOS (Mean Opinion Score) e os limites de chamadas simultâneas de VoIP para o codec ITU-T G.729 [3] e com até 24 chamadas VoIP bidirecionais simultâneas na rede.

Tabela 2. Emulação de 24 chamadas VoIP simultâneas com codec G.729

Group/Pair	MOS Average	MOS Minimum	MOS Maximum	R-value Average	End-to-End Delay Average (ms)	One-Way Delay Average (ms)	RFC 1889 Jitter Average (ms)	Percent Bytes Lost El to E2
All Pairs	3,78	1,00	4,02	74,45	138	63	4,705	0,875

Além disto, foi testada com sucesso a transmissão de vídeo em tempo real por meio de uma câmera Axis 211 [4] com interface Wi-Fi e chave de criptografia WPA2. O recurso serviu de apoio à supervisão e ao acompanhamento das montagens e testes do sistema pelas equipes de engenharia situadas na subestação de Angra dos Reis e em qualquer outro ponto da rede corporativa de Furnas através do endereço IP fixo atribuído à câmera de vídeo.

Nos terminais sem fio do tipo palmtops e laptops foi testado também com sucesso um aplicativo que permite a comunicação de VoIP com o recurso de PTT (Push to Talk) que possibilita chamadas de voz em grupo ou multicast de modo semelhante aos atuais rádios VHF muito usados pelas equipes de campo da concessionária. Detalhes do desempenho deste aplicativo denominado iTalkie [5] pode ser encontrado em [6].

O sistema piloto foi entroncado com sucesso à rede corporativa de Furnas, o que permitiu conexões de voz, dados e vídeo sobre IP entre usuários sem fio do sistema piloto e usuários corporativos em terminais de acesso fixo ou ramais telefônicos da empresa, incluindo saída para a Internet. Pela interface do VoIP Gateway com o PABX da subestação de Angra dos Reis, foi possível também acessar usuários telefônicos externos fixos ou móveis.

## VII. CONCLUSÕES

Os principais resultados deste projeto foram: a) Confirmação de viabilidade técnica de uma rede de baixo custo com um único rádio em 2,4 GHz com acúmulo de funções de acesso à cliente e backhaul pelo modo WDS (Wireless Distribution System); b) Sistema quadruple play (voz, vídeo, dados e mobilidade) e PTT em vários tipos de terminais, com interconexão aos sistemas PABX e rede Furnas; c) O sistema exige disponibilidade de

fibra óptica para o backhaul na solução Wi-Fi / Ethernet ao longo de grandes lances da linha de transmissão; d) O sistema demonstrou robustez e confiabilidade, incluindo energia remota que se manteve em máxima carga ao final de toda a semana de testes, mesmo após períodos de chuva ou forte nebulosidade; e) O sistema comprova a viabilidade de uma rede de acesso sem fio e entroncamento óptico para todo o vão da linha entre as subestações, empregando com eficiência os recursos já disponíveis na concessionária, tais como torres e cabo OPGW.

## VIII. AGRADECIMENTOS

Os autores registram aqui seus agradecimentos às equipes de engenharia e manutenção de linhas de Furnas por todo o apoio dado durante os trabalhos, especialmente, às atividades de campo. Agradecimentos também aos demais colegas do CPqD que deram suporte ao projeto em diversas outras áreas, como sistemas de energia e aterramento.

## IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE 802.11g-2003 – Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band;
- [2] <http://www.ekahau.com/?id=4601>;
- [3] ITU-T G.729 - Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP).
- [4] [http://www.axis.com/products/cam\\_211/](http://www.axis.com/products/cam_211/);
- [5] <http://www.tabletmedia.com/italkie.html>;
- [6] OLIVEIRA, Carlos Henrique Rodrigues; BRANCO, Marcos Gui-marães Castello, COSTA, Rodolfo de Sousa - "Push-to-talk over Wi-Fi" - ICWN'08 - The 2008 International Conference on Wireless Networks - July 14-17, 2008, USA (to be published).



# TRANSLESTE

## Aplicativo auxilia redução de parcela variável de receita de transmissora

A Companhia Transleste de Transmissão (TRANSLESTE) e a Universidade de São Paulo (USP) desenvolveram um aplicativo computacional capaz de permitir a simulação das indisponibilidades da função de transmissão para determinadas políticas de manutenção, tendo como objetivo reduzir as parcelas variáveis de sua receita e, conseqüentemente, maximizar a remuneração da empresa.

A remuneração das transmissoras é composta por uma receita anual prevista e por parcelas variáveis que consideram as interrupções no fornecimento (programadas ou não). O software permite à transmissora considerar os custos reais das atividades de manutenção e simular, estatisticamente, os custos totais em decorrência de outros desligamentos.

No desenvolvimento do software foram consideradas as seguintes atividades de manutenção preventiva: roçada da faixa, tratamento anticorrosão das torres, inspeção terrestre, inspeção aérea detalhada, inspeção aérea de patrulha, e outros. As políticas de manutenção foram definidas com base em ciclos anuais de atividades com linha energizada e desenergizada.

O aplicativo é uma importante ferramenta de gestão, à medida que auxilia na minimização das parcelas variáveis por meio da definição de políticas de manutenção. O software é capaz de permitir simulações sobre as indisponibilidades da transmissão e cada conjunto de dados indica uma política de manutenção, com a possibilidade de prever até cinco ações por processo.

A validade das simulações depende da adequação dos dados à realidade atual ao longo da vida útil da linha de transmissão. Faz-se necessário realizar novas simulações nos casos em que houver mudança nas taxas de falhas, no tempo de reparo e nos custos da manutenção.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Transleste de Transmissão (TRANSLESTE)

**Título:** Avaliação do Ciclo de Vida e Disponibilidade de Instalações e Equipamentos do Sistema de Transmissão

**Ciclo:** 2005/2006

**Investimento:** R\$ 81.187,00

**Execução:** Universidade de São Paulo (USP)

# Seleção de Políticas de Manutenção Através da Estimativa da Indisponibilidade de Linhas de Transmissão Devido a Outros Desligamentos

José Renato S. Machado<sup>(1)</sup>, M. R. Gouvêa<sup>(2)</sup>, E. J. Robba<sup>(3)</sup>, A. P. Cunha<sup>(4)</sup>

**Resumo** - A receita líquida da função de transmissão de uma empresa é ditada pela receita anual prevista e pelas parcelas variáveis ligadas às indisponibilidades previstas e forçadas. Assim, a função do gestor é minimizar as parcelas variáveis com o estabelecimento de políticas de manutenção que representem o melhor compromisso entre o custo e o nível de disponibilidade. Esse trabalho apresenta a metodologia e a implementação computacional de um aplicativo que permita a uma empresa transmissora levar em conta os custos reais das diversas atividades de manutenção e simular estatisticamente a ocorrência de outros desligamentos. As políticas de manutenção com um número variável de ciclos de atividades com linha viva ou desenergizada são então comparadas com base na melhor receita líquida resultante.

**Palavras-chave:** Indisponibilidade; Linhas de Transmissão; Manutenção; Parcelas Variáveis.

## I. INTRODUÇÃO

O modelo de remuneração de uma função de transmissão baseia-se numa receita fixa, dependente dos tipos e quantidades de ativos considerados, da qual são descontadas parcelas variáveis.

Por sua vez, tais parcelas são calculadas a partir da classificação do desligamento em programado ou não e também na duração abaixo ou acima do limite de 5 h [1].

Em suma:

$$R = \sum_{i=1}^n RA_i - \sum_{i=1}^n PV_i \quad (1)$$

$$PV_i = \frac{PB_i}{H_m} \left( k_p \sum_{j=1}^{NDP} DDP_j + k_o \sum_{j=1}^{NOD} DOD_j \right) \quad (2)$$

Onde:

RA: receitas anuais;

PV: parcelas variáveis;

PB: pagamento base;

Hm: horas médias;

Kp: fator multiplicador para desligamentos programados;

DDP: duração dos desligamentos programados;

Ko: fator multiplicador para outros desligamentos;

DOD: duração dos outros desligamentos.

Admite-se que as parcelas variáveis são uma certa função das despesas de manutenção, isto é:

$$PV_i = f(D_{man}) \quad (3)$$

O custo total das manutenções tem uma componente bem determinada, a qual corresponde às intervenções programadas, e outra que é uma função probabilística (com uma probabilidade p) das falhas. Isto é:

$$D_{man} = D_{determinística} + p \times D_{probabilística} \quad (4)$$

O presente artigo apresenta a metodologia e a implementação utilizada para simular o desempenho dos componentes da função de transmissão, bem como os dados que foram utilizados no desenvolvimento do estudo, que, como um todo, visa à análise e à minimização das parcelas variáveis.

## II. METODOLOGIA

### A. Simulação do tempo de operação

Como hipótese inicial, adotou-se uma função de distribuição de probabilidade exponencial para a confiabilidade dos componentes, com taxa de falhas:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Dessa forma resulta que o tempo de residência no estado operante é dado por:

$$t_{Oper} = - \frac{1}{\lambda} \ln R(t) = - \frac{1}{\lambda} \ln U \quad (6)$$

Onde U é um número aleatório sorteado, com distribuição uniforme, entre 0 e 1.

Analogamente, o tempo de residência no estado inoperante é dado por:

$$t_{Inoper} = - \frac{1}{\mu} \ln U \quad (7)$$

Na fig. 1 apresenta-se a função de distribuição de probabilidade de que esteja operante (1a) e a função de distribuição de probabilidade de que esteja inoperante (fig.1b).

Na primeira figura a taxa de falha foi expressa em falhas por hora, em vez de falhas por ano. Desse modo, a taxa de falha é dada por  $\lambda = 5 / 8760 = 0,0005707$  falhas por hora.

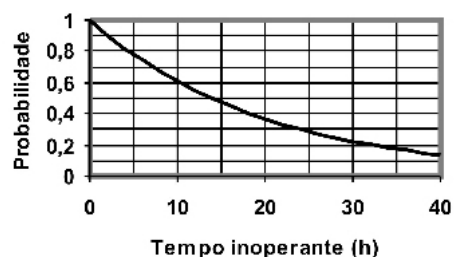
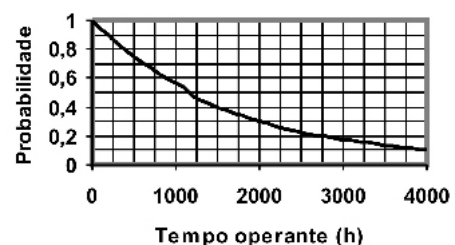


Figura 1 – Função de distribuição de probabilidade para os estados operante (a) e inoperante (b).

(1) TRANSLESTE - jrenatosm@transleste.com.br

(2) Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia - gouvea@pea.usp.br

(3) e (4) EPUSP/ENERQ

Observa-se, pela figura 1a, que a probabilidade que o componente opere ininterruptamente durante 1000 h é de 0,58, ao passo que, pela figura 1b, que a probabilidade que o equipamento permaneça 15 horas inoperante é 0,5. Para o estabelecimento da previsão das horas, por ano, que o componente permanece inoperante e de sua curva de distribuição de probabilidade, será utilizado o método de Monte Carlo, conforme os passos descritos a seguir:

- a) fixam-se as taxas de falha e de reparo do componente, ou de um conjunto de componentes associados;
- b) estabelece-se o número total de horas, que representam o período considerado e o número total de ensaios que serão realizados;
- c) define-se o estado inicial do componente;
- d) estando o componente operando, determina-se, pela equação 6, com o sorteio de um número aleatório U, com distribuição uniforme entre 0 e 1, o tempo de residência nesse estado.
- e) acumula-se o tempo no contador de tempo total;
- f) modifica-se o estado do componente;
- g) estando o componente inoperante, determina-se, com o uso da equação 7, através de sorteio de um número aleatório U, com distribuição uniforme entre 0 e 1, o tempo de residência nesse estado;
- h) acumula-se o tempo no contador total e no inoperante ao longo de um ano;
- i) modifica-se o estado do componente;
- j) repetem-se os passos d, e, f, g, h e i até se alcançar o tempo que representa o ano;
- k) corrige-se o tempo inoperante pela relação entre as horas totais utilizadas no ensaio e as horas do ano, isto é:

$$Fator = \frac{8760}{Horas\ totais} \quad (8)$$

$$t_{Inopera} = Fator \times \sum t_{i,Inopera} \quad (9)$$

$$t_{Opera} = Fator \times \sum t_{i,Opera}$$

- l) retorna-se ao passo a e repete-se um novo ensaio;
- m) ao término de cada ensaio calculam-se o valor médio e o desvio padrão dos tempos que o componente permanece inoperante;
- n) define-se o estimador:

$$\beta = \frac{Desvio\ padrão}{Média} \quad (10)$$

- o) encerra-se o processamento quando a relação entre o desvio padrão e a média dos valores estimados for menor que a tolerância,  $\beta$ , ou quando se alcançou o número máximo de grupos.

**B. Associação de componentes**

A associação de componentes da função de transmissão é utilizada para simular o desempenho do sistema como um todo. Seja, por exemplo, o caso da figura 2.

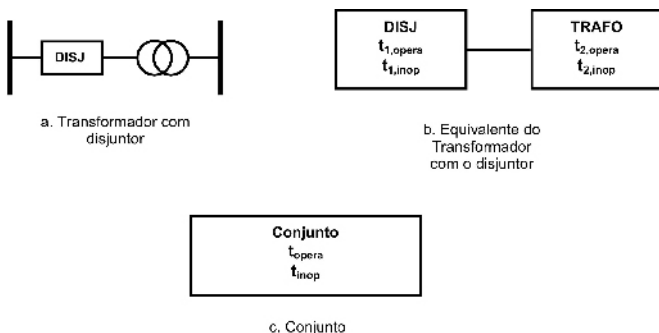


Figura 2 – Associação em série de componentes.

Assumindo independência estatística entre os equipamentos, os tempos de operação e inoperante do conjunto são:

$$t_{opera} = \frac{p_{opera}}{f_{conj}} = \frac{t_{1,opera} \times t_{2,opera}}{t_{1,opera} + t_{2,opera}} \quad (11)$$

$$t_{inop} = \frac{1 - p_{opera}}{f_{conj}} \quad (12)$$

Onde  $p_{opera}$  é disponibilidade da associação em série. A frequência média de falhas do conjunto ( $f_{conj}$ ) é determinada pela consideração que o conjunto está em falha quando um dos componentes está inoperante com o outro em operação e vice-versa.

**III. APLICATIVO COMPUTACIONAL**

Com base nos conceitos precedentes foi desenvolvido um aplicativo computacional capaz de permitir a simulação das indisponibilidades da função de transmissão para determinadas políticas de manutenção fornecidas.

Assim, os custos considerados para a manutenção preventiva com a linha energizada são:

- a) roçada da faixa;
- b) tratamento anticorrosão das torres;
- c) inspeção terrestre;
- d) inspeção aérea detalhada;
- e) inspeção aérea de patrulha;
- f) outros.

Para que para a manutenção preventiva com a linha de transmissão desenergizada tem-se:

- a) tratamento anti-corrosão da torre;
- b) outros custos.

A tela do aplicativo com os valores dos custos de manutenção pode ser vista na figura 3.

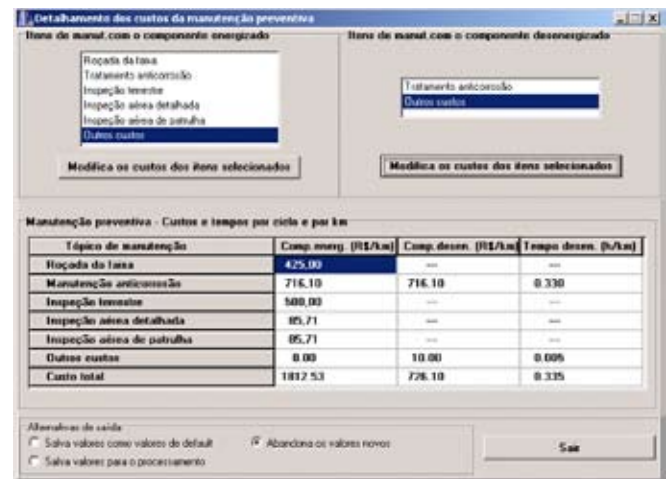


Figura 3. Detalhamento dos custos de manutenção.

Preparados os dados, procede-se a formação de políticas de manutenção, definindo-se ciclos anuais de atividades com linha viva e desenergizada.

Devido às características do aplicativo computacional, cada conjunto de dados forma uma política de manutenção. Podem ser simuladas até cinco políticas por processamento.

Os relatórios de saída fornecem resultados sobre os tempos de operação e inoperantes simulados, penalidades resultantes e receita líquida em cada caso.

O usuário pode salvar as melhores políticas de manutenção para prosseguir na otimização das atividades.

#### IV. ESTUDOS DE CASO

Os estudos de caso do projeto foram utilizados considerando-se a linha de transmissão Montes Claros 2 – Irapé, com circuito simples e tensão de 345 kV da Transleste.

O arranjo e remunerações da função de transmissão foram levados em conta nas simulações.

Os padrões de desligamentos adotados seguiram o anexo da Resolução Normativa nº 270 de 26 de junho de 2007 da ANEEL.

Já as taxas de falha tiveram que ser definidas com base em dados de linhas com configuração e classe de tensões similares. Isto se deveu ao bom desempenho da linha até o momento, além do curto prazo em operação que não permite obter dados estatísticos confiáveis.

Os dados variados estão indicados na tabela 1. Além desses níveis de variação, outros valores também foram utilizados em cálculos com o intuito de análise de sensibilidade inicial e validação do software.

TABELA 1: DADOS VARIÁVEIS PARA OS ESTUDOS DE CASO

	Mínimo	Máximo
Taxa de falhas (falhas/ano)	0,25	0,50
Tempo de reparo da falha (h)	4	16
Manutenção preventiva desenergizada (ciclos/ano)	1	2
Manutenção preventiva energizada (ciclos/ano)	1	4

É possível visualizar na tela do computador uma saída típica do aplicativo, a qual permite uma análise inicial dos resultados e também imprimir um relatório em formato de texto para documentação.

Com os dados fornecidos, as maiores receitas líquidas para a LT Montes Claros 2 – Irapé correspondem aos menores tempos de manutenção com linha viva.

#### V. CONCLUSÕES

A modelagem desenvolvida durante o projeto e consolidada em um software foi utilizada para a execução de diversos estudos de caso, com uso de dados de receitas previstas e custos de manutenção fornecidos pela TRANSLESTE, taxas de falhas de linhas similares e variações de ciclos de manutenção com linha viva ou desenergizada.

O aplicativo é amigável e simples de utilizar, o que permite à empresa buscar a minimização das parcelas variáveis e, portanto, a maximização das receitas líquidas.

A ferramenta pode ser utilizada para definir o melhor compromisso entre os custos de manutenção e parcelas variáveis por indisponibilidade.

A validade das simulações depende da aderência dos dados utilizados com realidade do momento ou ao longo da vida útil da LT.

Novas simulações devem ser realizadas sempre que se observarem mudanças nas taxas de falhas, tempos de reparo ou custos de manutenção.

#### VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Cia. Transleste de Transmissão a permissão para publicar os dados desse artigo.

#### VII. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] Resolução normativa no. 270, ANEEL, 26 de Junho de 2007.



## CTEEP

# Pesquisa permite estimar vida útil de cabos

A Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP) e a CEMEF Engenharia promoveram estudos sobre o comportamento estrutural dinâmico e os padrões de vida útil de cabos condutores de linhas de transmissão. O objetivo foi possibilitar a previsão de intervalos de manutenção e a definição de sistemas eficazes de amortecimento.

A empresa elaborou modelos de cabos a partir de um método matemático para solução de equações diferenciais parciais denominado Método dos Elementos Finitos (MEF). A partir desses modelos foi possível determinar as frequências naturais, o modo de vibração dos condutores e os níveis de tensões aos quais estavam submetidos. Com isso, parâmetros de vida útil dos cabos analisados foram estimados.

Os resultados das análises numéricas foram comparados com os dados medidos associados às cargas de vento obtidos com o Medidor de Vibração Eólica (PAVICA). No caso dos cabos com armaduras de isolamento semicondutoras, para os quais não é possível usar o medidor PAVICA, foi definido um fator multiplicativo para as tensões máximas com base nos resultados comparativos das análises numéricas para os cabos com e sem armadura.

Os pesquisadores validaram o procedimento para avaliação de vida útil em cabos com armadura sem a necessidade de estabelecer novas medidas para os condutores sem cobertura. A metodologia aplicada tem sido usada em diversas linhas de transmissão da empresa.

### FICHA TÉCNICA

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

**Título:** Desenvolvimento de metodologia de análise dos efeitos de vibração eólica sobre cabos condutores e para-raios de linhas de transmissão para definição de sistemas de amortecimento eficaz

**Ciclo:** 2001/2002

**Investimento:** R\$ 80.000,00

**Execução:** CEMEF Engenharia



# Análise Numérica e Experimental para Determinação da Vida Útil de Cabos Condutores e Para-Raios de Linhas de Transmissão

R. Lavandoscki<sup>(1)</sup>, H. S. Teixeira Jr<sup>(2)</sup> e J. G. Damilano<sup>(3)</sup>

**Resumo** – Este trabalho apresenta os resultados de estudos sobre o comportamento estrutural de cabos de linhas de transmissão, sujeitos a carregamentos eólicos. São determinados deslocamentos, tensões, modos, frequências naturais de vibração e respostas dinâmicas com o objetivo de estimar parâmetros relacionados à vida útil desses cabos. Foram realizadas análises não-lineares, análise modal, análise dinâmica de resposta e análise estática linear. As tensões calculadas para os cabos são utilizadas para estimar o parâmetro de vida útil dos mesmos.

**Palavras-chave:** Análise numérica, cabos condutores, experimental, linhas de transmissão, vida útil.

## I. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados de estudos sobre o comportamento estrutural dinâmico e determinação de parâmetros de vida útil para cabos condutores e para-raios de linhas de transmissão para possibilitar a predição dos intervalos de manutenção e definição de sistemas de amortecimentos eficazes. Foi utilizado o Método dos Elementos Finitos (MEF) na elaboração de modelos dos cabos. Com tais modelos foi possível determinar as frequências naturais e modos de vibração dos cabos. Uma análise de resposta dinâmica determinou níveis de tensões aos quais os cabos estão submetidos e, com tais resultados, foi possível estimar parâmetros de vida útil para o cabo analisado. Os resultados das análises numéricas foram, quando possível, comparados a valores experimentais obtidos com o Medidor e Analisador PAVICA [1], conforme figura 1 a seguir.



Figura 1 – Medidor de Vibração Eólica (PAVICA), instalado no cabo condutor próximo ao grupo de suspensão.

Para cabos com armadura de proteção, para os quais o analisador acima citado não faz estimativa de vida útil, desenvolveu-se um procedimento de análise baseado nas formulações apresentadas em [1], [2], [3] e [4] para estimar a vida útil desses cabos.

## II. OS MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

### A. O Modelo de Vigas

Para o primeiro modelo foi considerado o cabo Hawk, com armadura existente em campo. Primeiramente, foram considerados os efeitos de peso próprio do cabo e a carga tracionante existente, com determinação do deslocamento vertical e sua comparação com valores existentes (análise não-linear). O comprimento do cabo considerado (vão) foi de 220 m e a pré-carga considerada foi de 17.338 N (20% da carga de ruptura). O sistema de eixos considerado tem x na direção longitudinal do cabo, y na vertical, e z na direção transversal. Com os dados referentes às propriedades mecânicas do cabo condutor Hawk e da armadura prefabricada, foi elaborado um

modelo de vigas para o qual uma das extremidades dos cabos foi engastada, e a outra restrita em cinco direções (translações  $u_y$  e  $u_z$  e rotações  $r_x$ ,  $r_y$  e  $r_z$ ). Na análise não linear efetuada foram considerados o peso e a pré-tensão. A análise modal considerou as condições existentes (obtidas na análise não-linear), e foram obtidos os modos e frequências naturais de vibração. Para a análise de resposta dinâmica foi aplicada uma excitação harmônica na extremidade do nó 221, simulando-se condição de teste existente, que representaria uma excitação eólica típica, com amplitude de deslocamento vertical de 21.77 mm, com varredura de 0 a 10.000 Hz. Considerou-se um amortecimento modal de 1%, aplicado em todos os modos calculados na análise de resposta. Os nós com requisição de resultados (acelerações e deslocamentos) foram: 1 (extremidade engastada), 11 (distante de 2.187 m do início do cabo), 111 (meio do vão) e 221 (extremidade subsequente).

### B. O Modelo Sólido

No modelo representado por elementos sólidos, uma das extremidades dos cabos foi engastada, e foi considerado o comprimento equivalente à distância entre os nós 1 e 11 do modelo de vigas (2.187 m). Foram então impostos os deslocamentos obtidos (somatória do resultado da análise não-linear e do pico da análise dinâmica de resposta) para se determinar a distribuição de tensões no cabo. Os resultados iniciais obtidos para a análise não-linear apresentam um deslocamento vertical  $u_y = 3.33$  m, idêntico ao valor medido em campo para o cabo analisado. Os deslocamentos no nó 11 são:  $U_X = 2.055E-03$ ,  $U_Y = -1.244E-01$ , e  $R_Z = -5.946E-02$ . Para a análise modal, considerando o cabo tensionado e com efeito do peso próprio, foram obtidas as primeiras 500 frequências naturais. A frequência fundamental para este cabo é  $0.3026415E+00$  Hz. Os resultados da análise de resposta dinâmica (harmônica) apresentam os deslocamentos máximos obtidos no nó 11 como  $u_x = 6.800E-04$  m, e  $u_y = 1.068E-02$  m. Para a análise linear estática (modelo sólido), foram impostos os deslocamentos (nó em posição equivalente ao nó 11 do modelo de vigas):  $u_x = 2.755E-03$  m, e  $u_y = -1.351E-01$  m. A tensão máxima obtida (Von Mises) foi de 138.3 MPa. A figura 2 a seguir, apresenta a distribuição de tensões (Von Mises) no modelo de elementos sólidos.

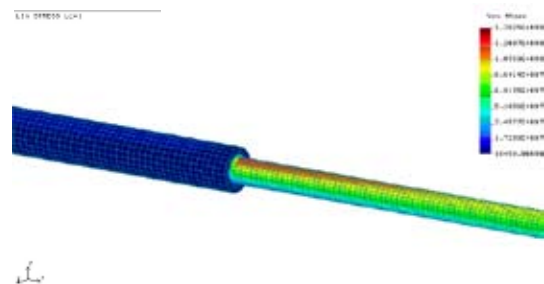


Figura 2 – Distribuição de tensões (Von Mises) – cabo e armadura

(1) CTEEP - rlavandoscki@ctEEP.com.br

(2) CEMEF Engenharia - cemef@cemef-engenharia.com.br

(3) CEMEF Engenharia - cemef@cemef-engenharia.com.br

O cálculo de resposta dinâmica utilizando superposição modal foi realizado com número suficiente de modos participando na resposta, pois a somatória das massas modais dos modos avaliados é superior a 80% da massa total nas direções x, y e z. Evidentemente, os valores de pico obtidos nas análises de resposta para acelerações ou deslocamentos dependem do amortecimento modal existente. A utilização do medidor e analisador PAVICA, para obtenção de dados experimentais para avaliação de vida útil de cabos submetidos à vibração eólica, somente é possível para cabos sem armadura. Com resultados comparativos entre cabos com e sem armadura (obtidos em modelo validado de elementos finitos), é possível avaliar-se a vida útil de cabos com armadura. Foram também obtidos resultados para modelo de cabo sem armadura. Nesse caso, os valores finais de deslocamentos verticais foram de 3.33 m (equivalente à análise com armadura) e os deslocamentos no nó 11 foram de  $-1.209E-01$  m na análise não-linear e de  $-1.129E-02$  m na análise harmônica, com deslocamento vertical final no nó 11 de  $-0.1322$  m (praticamente o mesmo valor do modelo com armadura). As tensões obtidas, figura 2, são inferiores aos valores admissíveis considerados. O baixo erro apresentado pelos valores de deslocamentos, na análise não-linear, em relação aos valores reais existentes, valida o modelo teórico elaborado com elementos finitos. Com esse modelo validado, além de se obter valores de tensões associados às cargas de vento, puderam ser feitas comparações de tensões entre cabos com e sem armaduras, e a partir de dados experimentais de vibrações eólicas (por exemplo, medidas obtidas através do PAVICA), extrapolou-se a vida útil de cabos com armadura. Percebeu-se que praticamente não houve influência no comportamento global do cabo, em termos de flechas, com a colocação de armadura. No entanto, alterações nos valores de tensões são esperadas.

### III. ANÁLISE COMPARATIVA PARA OS CABOS COM E SEM ARMADURA

#### A. Relação entre tensões – fator multiplicativo fm

Como citado, a utilização do medidor PAVICA para obtenção de dados experimentais para avaliação de vida útil de cabos submetidos à vibração eólica somente é possível para cabos sem armadura. No entanto, com o uso do modelo de elementos finitos validado, é efetuada análise comparativa de tensões para cabos com e sem armadura, de forma a possibilitar o cálculo de vida útil de cabos submetidos à vibração para ambas as condições. Foram elaborados modelos para diversos cabos, a saber: Grosbeak, Hen, Hawk, Linnet, Partridge, Leghorn, Oriole, Alumoweld 7x9, Aço Galvanizado 3/8” e Aço Galvanizado 5/16”. Cada um dos cabos acima descritos foi analisado de acordo com o procedimento apresentado na seção II deste trabalho. As tensões máximas resultantes para as condições sem armadura e com armadura, apresentadas na tabela 1, foram utilizadas para determinação de um fator multiplicativo fm, mostrado na tabela 2.

Tabela 1 – Tensões (Von Mises) para cada tipo de cabo

Tipo de CABO	Tensão Máxima (MPa)		
	Sem armadura	Armadura Fabricante 1	Armadura Fabricante 2
Grosbeak	146.3	112.6	113.8
Hen	144.0	118.1	118.3
Hawk	137.5	113.5	113.9
Linnet	128.5	111.5	110.2
Partridge	123.5	111.3	112.5
Leghorn	195.6	179.1	181.1
Oriole	134.4	-----	114.7
Alumoweld 7x9	293.8	-----	276.4
Aço galv. 3/8	278.2	-----	260.8
Aço galv. 5/16	269.8	-----	256.8

Tabela 2 - Fatores multiplicativos

Tipo de Armadura	Tipo de Cabo	Fator multiplicativo para máxima tensão (fm)
Fabricante 1	Grosbeak	0.7697
	Hen	0.8201
	Hawk	0.8255
	Linnet	0.8677
	Partridge	0.9012
Fabricante 2	Leghorn	0.9156
	Grosbeak	0.7779
	Hen	0.8215
	Hawk	0.8284
	Linnet	0.8576
	Partridge	0.9109
	Leghorn	0.8534
	Oriole	0.8534
	Alumoweld 7x9	0.9408
	Aço galv. 3/8	0.9375
Aço galv. 5/16	0.9518	

Esse fator multiplicativo pode agora ser usado para se estimar a vida útil de cabos com armadura, com conhecimento da estimativa de vida útil para o mesmo cabo, porém sem armadura. Tal procedimento é mostrado a seguir.

#### B. Utilização do fator multiplicativo fm

De acordo com medidas de campo obtidas na Europa Central [3], o número total de oscilações em cabos condutores, devidas às excitações eólicas, é, em média, 30 milhões de ciclos por ano (30E06). Em terrenos planos, valores aproximadamente oito vezes maiores têm sido medidos, ou seja, cerca de 250 milhões de ciclos de tensões por ano. Assim, durante o período de vida útil total de condutores, ou seja, 30 anos [2], o número total de ciclos de tensões seria de  $30 \times 250$  milhões, ou seja, 7.5E09 ciclos. É importante observar que o valor de 1.0E09 ciclos coincide com resultados de campo de 33 milhões de ciclo por ano [3].

A referência [3] apresenta resultados de várias centenas de estudos de campo mostrando os efeitos de vários parâmetros na resistência mecânica de cabos condutores. Com base naqueles dados, cita-se: “Uma expectativa de vida útil média dos cabos de 30 anos parece uma estimativa razoável, tecnicamente e também economicamente.” O cálculo da vida útil de um cabo condutor, em função do dano total acumulado durante um período de medições pode ser realizado com uso da regra de Palmgren-Miner [5], da seguinte forma:

$$V = \frac{30}{D}, \quad (1)$$

onde V representa a vida em anos e D, o dano total acumulado. Nas medições realizadas com o aparelho PAVICA, obtém-se o Índice de Expectativa de Vida (Lifetime Index ou Life Expectancy) [1], resultado do logaritmo da vida (V) do cabo, ou seja,

$$L_i = \log_{10}(V). \quad (2)$$

Assim, uma vez realizada a medição com o aparelho PAVICA para cabo sem armadura, e obtido o  $L_i$ , faz-se:

$$V = 10^{L_i}, \quad (3)$$

obtendo-se assim a vida útil do cabo em anos; como os cabos sofrem cerca de 33 milhões de oscilações por ano, calcula-se o número de oscilações Noscil que ocorrerão durante os anos de vida do cabo, ou seja

$$N_{oscil} = 33E06 * V. \quad (4)$$

Agora, conhecido o número de oscilações que o cabo sofrerá durante sua vida útil V, com a ajuda da “Safe border line”, obtém-se a correspondente tensão para o cabo sem armadura:

$$\sigma = 450 N_{oscil}^{-0.200} \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ para } N_{oscil} \leq 2E07, \quad (5)$$

$$\sigma = 263 N_{oscil}^{-0.168} \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ para } N_{oscil} > 2E07. \quad (6)$$

Assim, é possível calcular-se a tensão existente para cabos com armadura, usando:

$$\sigma_{ca} = f_m \times \sigma_{sa}, \quad (7)$$

sendo  $\sigma_{ca}$  a tensão no cabo com armadura,  $\sigma_{sa}$  a tensão no cabo sem armadura e  $f_m$  o fator multiplicativo apresentado na tabela.2. Em seguida, avalia-se o número de ciclos de oscilações  $N_{oscil}^{ca}$  para o cabo com armadura por meio de

$$N_{oscil}^{ca} = \left[ \frac{\sigma_{ca}}{450} \right]^{-5}, \text{ para } N_{oscil} \leq 2E07. \quad (8)$$

$$N_{oscil}^{ca} = \left[ \frac{\sigma_{ca}}{263} \right]^{-6}, \text{ para } N_{oscil} > 2E07. \quad (9)$$

e, assim, torna-se então possível avaliar a vida útil para o cabo com armadura, da seguinte forma:

$$V_{ca} = \frac{N_{oscil}^{ca}}{33E06}, \quad (10)$$

sendo  $V_{ca}$  o valor da vida útil, em anos, para o cabo com armadura.

**C. Resultados dos programas “fadiga.f” e “vutil.f”**

Baseados na formulação apresentada em [1], foram desenvolvidos dois programas em linguagem fortran para se estimar a vida útil de cabos condutores em função dos dados obtidos em campo com o medidor e analisador PAVICA. As rotinas desenvolvidas, diferentemente do analisador PAVICA, calculam essas estimativas tanto para cabos sem armadura, quanto para cabos com armadura. A tabela 3, apresenta os valores de “Lifetime Index” obtidos, para os cabos condutores sem armadura e a tabela 4 para cabos com armadura. As diferenças entre as medidas realizadas se limitam aos tempos de medidas e números de medições realizadas.

Tabela 3 – “Lifetime Index” para cabos HAWK sem armadura

Medida	Pavica (campo)	fadiga.f (calculado)	erro(%)	vutil.f (calc.)	erro(%)
M10	7.0340	6.8980	-1.93	6.5180	-7.33
M13	4.6992	4.6213	-1.66	6.7975	44.65

Tabela 4 – “Lifetime Index” para cabos HAWK com armadura

Medida	fadiga.f (calculado)	vutil.f (calculado)
M4	5.283	4.903
M5	5.823	5.443

**IV. CONCLUSÕES**

Foi considerado validado procedimento para avaliação experimental de vida útil diretamente em cabos com armadura, sem que haja necessidade de novas medidas para o mesmo cabo sem a mesma. É possível ainda efetuar a extensão de resultados em análises experimentais em cabos sem armadura para cabos com armadura, de forma a avaliar a eficácia de sua utilização. A metodologia desenvolvida tem sido aplicada em diversas linhas de transmissão da empresa, possibilitando a definição de sistemas mais eficazes de amortecimento, com otimização na aplicação de amortecedores e predição dos intervalos de manutenção, com otimização de recursos e custos.

A metodologia poderá ser aperfeiçoada a partir de novas pesquisas que resultem em levantamentos de curvas de fadiga para cada tipo de cabo, proporcionando maior precisão na previsão de vida útil dos cabos.

**V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] Rocrest, “PAVICA Instruction Manual”, 1997.  
 [2] CIGRE Study Committee 22, Working Group 04, “Recommendations for the Evaluation of the Lifetime of Transmission Line Conductors”, Electra No. 63, March 1979.  
 [3] CIGRE Study Committee 22, Working Group 04, “Endurance Capability of Conductors”, Final Report, July 1988.  
 [4] Hardy, C., e Leblond, A., “Statistical Analysis of Stranded Conductor Fatigue Endurance Data”, Fourth International Symposium on Cable Dynamics, Montréal, Canada, May 28-30, 2001.  
 [5] N. E. Dowling, “Mechanical Behavior of Materials”, Prentice-Hall, Inc., 1999, p. 402.



## FURNAS

# Medição de fator solar garante uso eficiente de vidros e janelas

Conhecer o fator solar dos vidros e janelas pode contribuir muito para o uso adequado do material nas construções e, conseqüentemente, para proporcionar maior eficiência energética às edificações.

Com esse objetivo, Furnas Centrais Elétricas S/A e a Fundação de Ensino de Engenharia de Santa Catarina (FEESC) construíram um calorímetro para aferir o fator solar de diversos tipos de vidros, proteções solares e janelas.

O calorímetro é composto por absorvedores de calor, por um sistema de resfriamento e por um equipamento que mede a intensidade do calor absorvido. Um trailer foi usado para montagem do aparelho, por sua facilidade de transporte e pela proteção oferecida.

A partir do conhecimento das propriedades térmicas e ópticas dos vidros e janelas será possível certificá-los quanto aos impactos diretos de sua utilização no consumo de energia dos edifícios.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Furnas Centrais Elétricas S/A

**Título:** Desenvolvimento de Métodos de Avaliação de Transferência de Calor em Janelas

**Ciclo:** 2002/2003

**Investimento:** R\$ 366.176,27

**Execução:** Fundação de Ensino de Engenharia de Santa Catarina (FEESC)

# Projeto e construção de um calorímetro para verificação do fator solar de vidros e janelas

Deivis Luis Marinoski<sup>(1)</sup>, Saulo Guths<sup>(2)</sup>, Roberto Lamberts<sup>(3)</sup>, João L. Armelin<sup>(4)</sup> e Simone M. Oliveira<sup>(5)</sup>

**Resumo** – Este estudo apresenta o desenvolvimento do projeto e construção de um calorímetro solar para verificação do fator solar em vidros e janelas. O Fator Solar é um dos índices de desempenho termoenergético mais importante para estes produtos. O conhecimento do Fator Solar contribui para a escolha e aplicação correta dos vidros e janelas nas edificações. Quando associado à simulação computacional e outros processos de análise, possibilita a elaboração de projetos melhores e mais eficientes. A aplicação de elementos construtivos que melhorem a eficiência energética dos edifícios brasileiros é de interesse para o setor elétrico, uma vez que resulta em menor necessidade de investimentos na geração e transmissão de energia.

**Palavras-chave:** Calorímetro; Instrumentação; Fator Solar; Vidros e Janelas.

## I. INTRODUÇÃO

As janelas podem ocupar desde uma pequena fração da área da fachada até mesmo chegar a compor grandes paredes envidraçadas, e constituem a maior parte do envelope construtivo. Por isso, em muitos casos elas são consideradas um elemento dominante na aparência da edificação. Além dos fatores estéticos, as aberturas apresentam originalmente outras funções, tais como permitir a passagem da luz e a ventilação. Também é reconhecida a sua influência psicológica na satisfação, saúde e produtividade dos ocupantes [1], mas com a evolução da tecnologia, algumas dessas funções passaram a ser supridas por sistemas artificiais para o conforto e a manutenção de condições ambientais estáveis de moradia e trabalho. Deste modo, atrelou-se diretamente este elemento ao uso e também aos custos com energia.

A radiação solar incidente nas janelas é um fator muito significativo sobre o consumo de energia gerado pelas cargas de resfriamento e aquecimento. Estudos e simulações energéticas de edifícios comerciais na cidade de Hong Kong mostraram que o consumo de energia com ar condicionado está entre 50% e 60% do uso total de energia elétrica. O ganho de calor solar, principalmente pelas janelas, é o maior responsável pela carga de resfriamento [2].

O Fator Solar (FS) é um dos mais importantes índices de desempenho energético de vidros e janelas. Este índice representa a fração de ganho térmico devido à radiação solar que a abertura transmite diretamente e que é absorvido e reemitido pela mesma para o interior da edificação. O FS é dado como um número adimensional entre 0 e 1. Este valor pode ser especificado apenas para o vidro ou ser indicado para todo o conjunto da janela [3]. O conhecimento do FS, associado à simulação computacional e outros processos de análise, possibilita a elaboração de projetos de edificações melhores e mais eficientes.

Os calorímetros solares são dispositivos comumente utilizados nas pesquisas relacionadas com a avaliação de desempenho térmico de janelas. Por estes sistemas é possível realizar medições para determinar o FS sob condições reais de utilização ou situações específicas de teste. No caso de sistemas de aberturas complexos (proteções solares, vidros prismáticos, etc.) os resultados das medições são utilizados para auxiliar o processo de certificação de janelas.

## II. PROJETO DO CALORÍMETRO

Como referencial teórico e embasamento técnico para o projeto e construção do calorímetro em questão, foi realizado previamente um levantamento do estado-da-arte dos dispositivos existentes ao redor do mundo [4], [5], [6], [7].

Devido à complexidade do projeto do dispositivo final, foram elaborados subprojetos para cada um dos componentes básicos do equipamento (absorvedores de calor, sistema de resfriamento, sistema de monitoramento e trailer de abrigo), apresentados a seguir.

### A. Absorvedores de calor

Os absorvedores são cavidades posicionadas do lado interno da janela. Eles absorvem o calor solar que penetra

através da janela e permitem sua quantificação e remoção por um sistema de refrigeração.

Dois processos de medição podem ser aplicados para medir o ganho de calor solar pela janela. O método fluximétrico, no qual um sensor plano composto pelo agrupamento de centenas de micro termopares, gera um sinal proporcional à diferença de temperatura devido ao fluxo de calor transmitido. E no método calorimétrico, no qual a função da diferença de temperatura do líquido (água) que resfria o absorvedor de calor na entrada e na saída do mesmo, calcula-se o ganho térmico levando-se em conta a vazão e o calor específico do líquido.

Para o desenvolvimento deste projeto foram utilizadas duas cavidades (ou absorvedores de calor). Uma, denominada “principal”, com abertura de medição de 1500x1200mm, onde podem ser testadas janelas em tamanho real. E uma segunda, denominada “referência”, com abertura de medição de 500x500mm, que pode ser utilizada como padrão comparativo para a cavidade principal ou para teste de rápidos com vidros. Na cavidade principal foi utilizado o método calorimétrico, e na de referência, o método fluximétrico. A inovação deste projeto é a aplicação dos dois métodos de medição em um mesmo equipamento.

### B. Sistema de resfriamento

Um sistema de resfriamento é necessário para remover o calor adquirido por meio dos absorvedores. Este sistema de resfriamento foi concebido no formato de um grande banho termostático, composto por uma unidade condensadora (1,5HP), reservatório de água (150 litros) e resistências aquecedoras (3000W). A água do reservatório é bombeada e circula pelas cavidades em um circuito fechado. O controle de temperatura deste sistema é realizado por um software que gerencia também a aquisição de dados dos sensores de monitoramento.

### C. Trailer de abrigo

Uma vez que a montagem de um calorímetro envolve a utilização de diversos componentes, foi definido que estes seriam abrigados em um trailer. A opção foi baseada na facilidade de movimentação que este tipo de veículo permite e também pela proteção às intempéries.

As dimensões principais adotadas para o trailer (altura x comprimento x largura) foram determinadas a partir da definição das características dos componentes internos (absorvedores de calor e sistema de resfriamento). Também foi levada em consideração a necessidade de condições para movimentações internas durante a instalação, monitoramento e manutenção dos sistemas.

Dessa forma, optou-se pelo projeto e construção de um trailer com dimensões de 1,90m x 3,50m x 1,60m e com capacidade de carga para aproximadamente 350kg.

(1) UFSC - deivis@labeee.ufsc.br

(2) UFSC - saulo@lmpt.ufsc.br

(3) UFSC - lamberts@labeee.ufsc.br

(4) FURNAS - armelin@furnas.com.br

(5) FURNAS - simone@furnas.com.br

Foram previstas no projeto duas portas traseiras de acesso, também duas aberturas laterais (para a cavidade principal e referência), e uma plataforma frontal. Sob o assoalho da parte traseira são previstos dois macacos para apoio e nivelamento, e na dianteira é prevista uma roda auxiliar para facilitar as movimentações. A Figura 1 apresenta um esquema do arranjo interno dos diversos componentes que compõem o sistema completo do calorímetro e estão alojados na parte interna e também na plataforma externa do trailer.

#### D. Distribuição elétrica e hidráulica

Para alimentar os equipamentos que estão abrigados no trailer foram previstas instalações elétricas no interior do calorímetro. Já as ligações hidráulicas foram realizadas através da utilização de mangueiras flexíveis de PVC reforçado. Uma bomba de recalque é usada para forçar a circulação do líquido pelas cavidades. Nas entradas de cada uma das faces das cavidades (cinco faces na cavidade principal e uma face na cavidade de referência) são instalados registros de gaveta para regulação da vazão. Por fim, no retorno do líquido para o reservatório é instalado um medidor de vazão na saída de cada uma das cavidades. Os medidores de vazão permitem tanto a leitura direta, por meio de um mostrador analógico, como também a leitura de um sinal digital para verificação da vazão no sistema de aquisição de dados.

#### E. Sistema de monitoramento e controle

Diversos sensores de monitoramento são utilizados para verificar as condições ambientais e o fluxo de calor na estrutura do calorímetro. A Tabela 1 apresenta um resumo com os tipos de sensores utilizados, quantidades e pontos de instalação. Tanto a quantidade como o tipo de sensores foram definidos em função das necessidades de informações para o cálculo de ganho de calor e posteriores análises de incertezas nos resultados.

Para realizar a aquisição contínua dos dados durante o período de medição será utilizado um sistema de condicionamento e gravação do sinal gerado pelos sensores de monitoramento. Este sistema foi desenvolvido pela equipe de eletrônica do LMPT/UFSC.

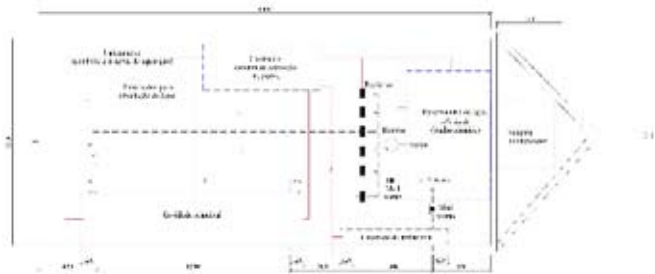


Figura 1. Esquema da distribuição interna dos componentes (vista em planta, cotas em mm, sem escala)

Basicamente, o funcionamento do sistema de aquisição segue a seguinte lógica: inicialmente os sinais em micro voltagem são lidos individualmente nas placas de aquisição; estas placas por sua vez estão ligadas a um multímetro digital que transmite o sinal por um cabo serial para um micro computador; já os sensores que respondem em baixa voltagem são lidos diretamente por um componente intermediário desenvolvido no LMPT (chamado TUR), o qual também controla as placas de aquisição; o TUR está ligado a uma placa mãe que se comunica um software específico no micro computador; o software por sua vez gerencia o armazenamento do sinal e realiza a conversão para as unidades típicas de cada variável.

Tabela 1. Sensores de monitoramento utilizados

Tipo de sensor	Aplicação	Qtd.
Piranômetros	Radiação solar horizontal e no plano de medição	2
Anemômetro	Velocidade do ar externo e no interior da cavidade principal	2
Fluxímetros	Ganho de calor na cavidade de referência e fugas de calor duas cavidades	6
Termopares	Temperatura em diversas superfícies, água e ar	27
Termistor	Junção de referência dos termopares	1
Medidor de vazão	Saída da cavidade principal e de referência	2
Medidor de coef. de convecção	Plano de medição externo	1
<b>Total</b>		<b>41</b>

### III. CONSTRUÇÃO DO CALORÍMETRO

A construção do calorímetro ocorreu a partir da montagem de cada um dos componentes fabricados em separado. Alguns destes componentes foram produzidos simultaneamente para acelerar o processo de construção. Antes da montagem, todos os sensores de monitoramento foram calibrados e testados. O fluxograma da Figura 2 apresenta a sequência de fabricação e montagem aplicada em seis etapas. A Figura 3 apresenta a vista externa do calorímetro montado, durante um teste com uma amostra de vidro incolor 3mm.

### IV. CONCLUSÕES

O conjunto completo do calorímetro já foi montado e o equipamento em fase de testes. O FS de diferentes tipos de vidros, proteções solares, ou janelas completas (incluído esquadrias) poderá ser determinado e o equipamento, utilizado para certificação destes elementos. O conhecimento das propriedades térmicas e ópticas de vidros e janelas é de grande importância, pois estes elementos têm impactos diretos no consumo de energia das edificações. Neste sentido, a aplicação de elementos que melhorem a eficiência energética dos edifícios brasileiros é de interesse para o setor elétrico, pois resulta em menor necessidade de investimentos na geração e transmissão de energia.

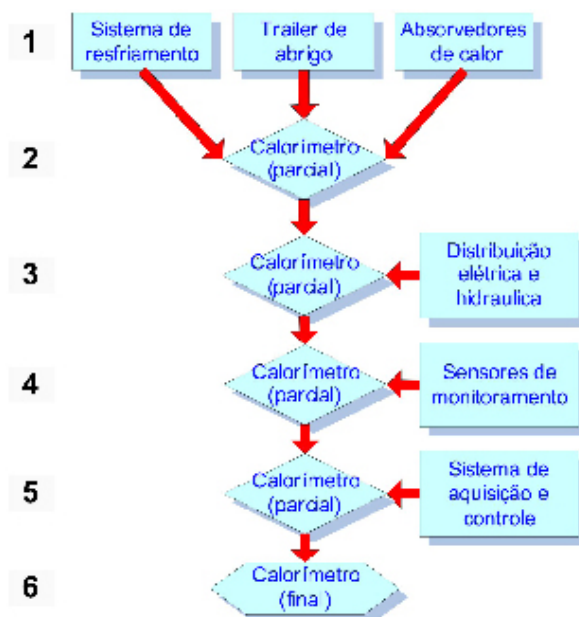


Figura 2. Fluxograma da sequência de montagem do calorímetro

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Carmody, J.; Selkowitz, S.; Lee, E.; Dariush, A.; Willmert, T. Window Systems for High-Performance Buildings. 1a Edição, NY, USA, 2004.
- [2] Li, D. H. W. and Lam, J. C. Solar heat gain factors and the implications to building designs in subtropical regions. Energy and Build-ings v. 32, p. 47-55, 2000.
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Fundamentals Handbook 2005. Capítulo 31 – Fenestration. Atlanta, GA, USA, 2005.
- [4] Harrison, J. S. e van Wonderen, S. J. Evaluation of Solar Heat Gain Coefficient for Solar-Control Glazings and Shading Devices. ASHRAE Transactions 104(1), p. 1051-1062, 1998.
- [5] Tseng, C.C. and Goswami, D. Y. Effect of Tilt Angle and Temperature Difference on Solar Heat Gain Coefficient Measurement of Fenestration System. ASHRAE Transactions, AT-01-10-2, p 684-690, 2001.
- [6] Lawrence Berkeley National Laboratory, LBN Facilities. 2007. Disponível em: <<http://windows.lbl.gov/facilities/default.htm/>>. Acesso em: Novembro de 2007.
- [7] Collins, M.R. and Harrison, S.J. Estimating the solar heat and thermal gain from a window with and interior venetian blind. 2004, ASHRAE Transactions 110(1): 486-500.



Figura 3. Vista externa do calorímetro durante um teste

RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD  
RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD

projetos de  
**distribuidoras**



RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD  
RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD RD





# AMPLA

## Distribuidora aposta no carro elétrico

Depois de um ano e meio de estudos, técnicos da AMPLA e da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) concluíram que veículos elétricos, em substituição aos tradicionais, podem gerar bons resultados econômicos, ambientais e energéticos.

O carro testado durante atividades comerciais, administrativas e operacionais da empresa foi um Palio Weekend Elétrico movido a energia com bateria capaz de proporcionar autonomia de 100 quilômetros (km), em média. O tempo de recarga, no eletroposto montado na AMPLA, é de oito horas com tensão de 220 Volts (V), com custo de R\$ 10 conforme tarifa de energia elétrica praticada pela empresa à época.

Para se ter uma idéia da economia obtida, um modelo Uno Mille Flex alcança a mesma autonomia com R\$ 15,62, ou seja, com custo quase 60% mais caro a partir da estimativa de preço da gasolina de R\$ 2,50 por litro.

Ao desenvolver a metodologia de avaliação de desempenho de carros elétricos, a AMPLA oferece uma alternativa mais eficiente e socialmente responsável ao uso do petróleo como combustível para o transporte. Além disso, o resultado dos estudos pode vir a representar fonte extra de faturamento para as distribuidoras a partir da criação de um novo negócio: a recarga de baterias.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Ampla Energia e Serviços S/A

**Título:** Avaliação de Desempenho de Veículos Elétricos Atuando em Frotas de Empresas Distribuidoras de Energia Elétrica

**Ciclo:** 2005/2006

**Investimento:** R\$ 399.704,00

**Execução:** Universidade do Estado do Rio de Janeiro

# Estudos realizados para o estabelecimento de metodologia de análise e avaliação de desempenho de veículos elétricos

José F.M. Pessanha<sup>(1)</sup>, L. A. Pecorelli Peres<sup>(2)</sup>, Acacio Barreto<sup>(3)</sup>, Maria B.A Medeiros<sup>(4)</sup>, David Targueta<sup>(5)</sup> e Felipe M. S. de Abreu<sup>(6)</sup>

**Resumo** – Este trabalho desenvolveu uma metodologia de avaliação de desempenho de veículos elétricos (VE) a bateria para atuar em frotas de empresas distribuidoras de energia elétrica para atender ao seu planejamento estratégico e às suas políticas socioambientais. Diversos aspectos de interesse foram estudados de forma a identificar os benefícios da sua utilização, inclusive no tocante ao funcionamento do veículo, oportunidades, procedimentos, legislação, opinião e difusão tecnológica.

**Palavras-chave:** baterias, energia alternativa, meio ambiente, sistema elétrico, veículos elétricos.

## I. INTRODUÇÃO

A iniciativa de estudar o desempenho de veículos elétricos se justifica em grande parte pela intensa utilização do transporte rodoviário à combustão (geralmente de baixa eficiência) no Brasil. Neste sentido, foi elaborado um projeto de P&D ANEEL pela Ampla e UERJ. O projeto teve duração de 17 meses, iniciado em setembro de 2006.

Conforme dados do MME, aproximadamente um terço da energia final consumida no país provém do petróleo, do qual quase metade supre o setor de transportes. Por outro lado, a eletricidade, da qual cerca de 80% provém de hidroelétricas, é responsável por 42% da energia final e pouco mais de 1% é destinada para a área de transportes. [1]. O papel das empresas distribuidoras de eletricidade neste contexto é fundamental para o desenvolvimento da tecnologia de VE [2,3].

De fato, os compromissos destas empresas em prol de soluções mais eficientes e de responsabilidade ambiental vão em concordância com a adoção desses veículos em suas frotas. Além disso, há a possibilidade de desenvolvimento de novos negócios para este emergente segmento de mercado que resultarão em faturamento adicional, como por exemplo, no tocante à recarga de baterias.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A metodologia adotada exigiu a utilização de diversas áreas do conhecimento com ênfase nos procedimentos e na realização de medições que pudessem caracterizar o desempenho dos VE de forma a adequá-los às necessidades de uma empresa de energia elétrica e dos seus clientes.

Vários aspectos de interesse foram estudados, em destaque o desempenho e comparação com veículos convencionais, a estimativa das emissões, o comportamento dos harmônicos durante a recarga de baterias, a identificação das barreiras e oportunidades de novos negócios para o segmento de VE. [4]

## III. RESULTADOS ALCANÇADOS

### A. Atividades Desenvolvidas

A pesquisa resultou na emissão de treze documentos técnicos. Os estudos e testes realizados propiciaram avanços importantes nos conhecimentos sobre veículos elétricos, destacando-se: elaboração de documentos contendo a metodologia de avaliação do desempenho energético e ambiental [5], familiarização com o uso e funcionamento em frotas de distribuidoras de energia elétrica, obtenção em caráter preliminar das impressões de motoristas e clientes, perspectivas de economias com o uso futuro nas frotas das empresas distribuidoras, estudo da legislação de veículos automotivos no Brasil no tocante a tributos e impostos etc.

### B. O Veículo Elétrico

O veículo testado foi um Palio Weekend Elétrico (Figura 1), adquirido em convênio com a Itaipu Binacional, cujas características principais são:

- **Motor:** 15 kW (aprox. 20 HP), 85 V, 100 Hz.
- **Bateria:** Uma bateria Cloreto de Níquel - Sódio, 253 V, 76 Ah, aproximadamente 165 kg.
- **Autonomia:** 100 km, em média, com carga completa.
- **Tempo de carga:** 8 horas numa tensão de 220 V. [6]



Figura 1 - Pálio elétrico utilizado nos testes, estacionado no eletroposto da Ampla, em Niterói-RJ.

### C. Capacitação para Efetuar Trabalhos Técnicos

Com base nas experiências desenvolvidas, torna-se possível a capacitação tecnológica das equipes das empresas distribuidoras de energia para a execução de diversas atividades na área de avaliação energética e ambiental de VEs. Os conhecimentos adquiridos norteiam a realização de novas pesquisas e o estabelecimento de novos negócios e serviços.

(1) UERJ - pessanha@ime.uerj.br  
 (2) UERJ - lapp@uerj.br  
 (3) AMPLA - abarreto@ampla.com  
 (4) AMPLA - mbeatriz@ampla.com  
 (5) AMPLA - targueta@ampla.com  
 (6) AMPLA - fabreu@ampla.com

**IV. METODOLOGIA CONSTRUÍDA, DESDOBRAMENTOS E APLICAÇÕES**

A metodologia para avaliação de desempenho dos veículos elétricos consistiu no estabelecimento de testes tanto para o modo de descarga da bateria quando o veículo encontra-se em movimento quanto para o modo de recarga quando se encontra estacionado. Para isto, no modo de descarga procura-se analisar o comportamento da aceleração, frenagem, dirigibilidade e a autonomia em diversas situações para as quais se estabelecem percursos típicos com e sem aclives, de acordo com a carga a ser transportada. Cada um dos testes no modo de descarga corresponde a um ensaio no modo de recarga que oferece outro conjunto de resultados preciosos relacionados com o consumo de energia elétrica, o fator de potência, o comportamento harmônico da tensão e da corrente de recarga e o custo de reabastecimento. Adicionalmente, é possível se estimar as emissões evitadas, o combustível economizado ao se comparar com um veículo à combustão interna similar.

Os testes realizados permitiram verificar a adequação da proposta de metodologia e da instrumentação que foi especificada para executá-los. Exemplos típicos dos registros de ensaios realizados em 16 de Maio de 2008 são apresentados.

Na Figura 2 pode-se observar o comportamento da tensão da rede e da respectiva corrente de recarga que de início é praticamente constante e posteriormente decai.

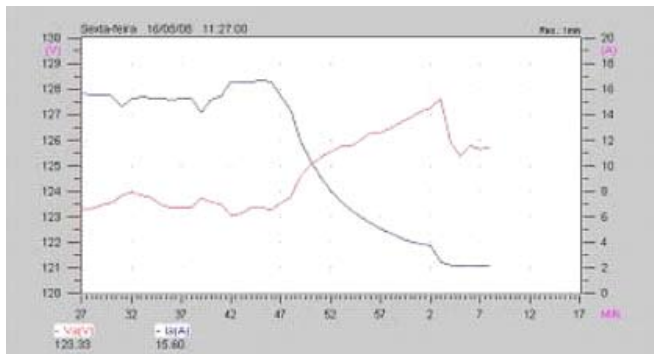


Figura 2 – Comportamento dos valores eficazes da corrente (em azul) e da tensão durante o processo de recarga do veículo

As Figuras 3 e 4 correspondem às amostras da tensão e corrente instantâneas de recarga..

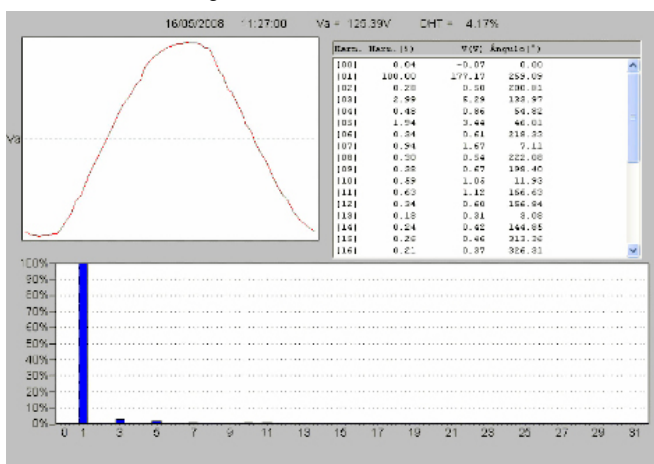


Figura 3 - Amostra da Tensão de Recarga e suas Componentes Harmônicas

Os gráficos de barras ilustram os valores percentuais das componentes harmônicas. Com isto pode-se avaliar a qualidade dos retificadores fornecidos para a recarga das baterias de acordo com as normas existentes.

O veículo adquirido está integrado aos serviços da área comercial e operacional da empresa no transporte de funcionários e materiais e encontra-se, atualmente, na região serrana do Rio de Janeiro. Consta do planejamento da Ampla a aquisição de outros veículos elétricos de forma a se integrarem inclusive nos trabalhos de manutenção da rede. Outra meta é a disponibilização de eletropostos em pontos estratégicos da própria empresa para que se possa evoluir no futuro para novos e promissores negócios propiciados pela tecnologia veicular elétrica.

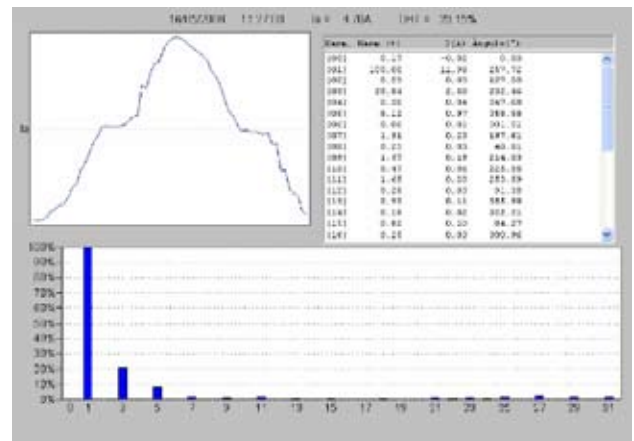


Figura 4 – Amostra da Corrente de Recarga e suas Componentes Harmônicas

**V. BENEFÍCIOS PARA A CONCESSIONÁRIA**

A concessionária que resolve investir na tecnologia veicular elétrica aposta nos frutos da inovação, da eficiência energética, da responsabilidade social e ambiental e seus atrativos econômicos que constituem elementos fundamentais das políticas voltadas para o crescimento sustentável. Os ganhos decorrentes são atraentes ao se verificar que, além dos benefícios da economia de combustível, das emissões evitadas localmente e da ausência de ruído, há um acréscimo esperado de vendas de energia.

Antevê-se em médio prazo, a partir de uma penetração mais densa destes tipos de veículos no mercado, uma melhoria na qualidade do serviço, pois boa parte da recarga ocorre em horário noturno.

A diminuição de custos operacionais é possível, principalmente se a recarga for efetuada em prédios e instalações da empresa utilizando energia própria.

Há ainda maior conforto do motorista e passageiros, seja pela inexistência da troca de marchas, seja pela diminuição notória de ruído. Adicionalmente, nas empresas cujas garagens são situadas em ambientes fechados e até mesmo em subsolos, quando ocupadas com VE, tornam-se menos sujeitas aos efeitos danosos da poluição do ar.

**VI. ESTRATÉGIA DE DIFUSÃO TECNOLÓGICA**

As ações desenvolvidas devem integrar os projetos e atividades da empresa. Inclui comunicar para os colaboradores, para os clientes e para a população em geral a realização de ações, destacando os benefícios dos VE, por meio de mídias e ações de promoção de atividades de interesse educativo e histórico-cultural.

**VII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Os estudos realizados mostraram a possibilidade da utilização de VE nas frotas das empresas concessionárias de energia e pelos seus clientes. O veículo testado apresenta desempenho adequado e compatível para o transporte de cargas e pessoas, principalmente, em centros urbanos. Faz-se necessário a continuidade das pesquisas de avaliação de desempenho de VE e no sentido do desenvolvimento de componentes, em especial baterias. Há necessidade de políticas públicas no Brasil visando uma melhor adequação da incidência de impostos sobre VE que no momento criam barreiras institucionais aos empreendimentos nesta área.

**VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] HOLLANDA, Jayme Buarque. Veículos Elétricos: quebra de um paradigma centenário?, 2o Seminário e Exposição de Veículos Elétricos Híbridos, São Paulo, 27 e 28 de abril, 2005, CD-ROM.  
 [2] EDF - Division Transports Electriques, Bornes de recharge pour véhicules électriques installées sur la voie publique - L'engagement d'Électricité de France envers les collectivités locales, en 2002, 2003 et 2004.  
 [3] PECORELLI PERES, L. A., Veículos Elétricos: Benefícios Ambientais e Energéticos, CD, Rio de Janeiro: Associação Cultural e de Pesquisa Noel Rosa, 2003. ISBN: 85-89640-01-9.  
 [4] PECORELLI PERES, L.A et PESSANHA, J. FRANCISCO - Aquisição dos Equipamentos, Planejamento dos Experimentos e Levantamento de Dados Relatório Técnico Parte 2 (Planejamento Estatístico do Experimento) - 01 / 07.  
 [5] PECORELLI PERES, L.A et al. - Metodologia de Análise de Desempenho Ambiental de Veículos Elétricos. Relatório Técnico – Janeiro / 2008  
 [6] PECORELLI PERES, L.A. -- Electric Vehicle Specification for Ampla Energia E Serviços S. A. / Technical report October 2006



# LIGHT

## Ferramenta revela impactos de mudanças de regras de mercado

Acompanhar a evolução da dinâmica do mercado de comercialização de energia pode ficar mais simples a partir da ferramenta desenvolvida pela LIGHT e pela Engenho Pesquisa e Desenvolvimento e Consultoria. As empresas criaram um ambiente interativo e amigável para avaliação, síntese e desenho das regras e impactos das suas eventuais mudanças.

De forma simples, que não demanda programação de códigos, o usuário introduz informações e obtém análises interativas por meio de gráficos ou diagramas e até mesmo o desenho de mercados. O sistema pode fornecer ainda um completo panorama de sua posição no mercado e sua interação com outros agentes de forma completa e realista.

A plataforma é composta por um editor, responsável pelo ingresso das equações que se deseja analisar, um tradutor, que transforma as variáveis introduzidas em programas computacionais, um gerenciador de informações e um de gráficos e, finalmente, um gerenciador de fluxos de informações para que o usuário possa mapear e compreender o processo de cálculo que gerou o resultado.

O uso da plataforma permite, por exemplo, uma rápida análise dos impactos de uma consulta pública, da proposição de mudanças e da validação ou antecipação de resultados da comercialização, o que pode permitir o provisionamento de caixa frente à sazonalização dos contratos.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Light Serviços de Eletricidade S/A (LIGHT)

**Título:** Laboratório de Simulação de Leilões

**Ciclos:** 2005/2006 e 2006/2007

**Investimento:** R\$ 465.755,00

**Execução:** Engenho Pesquisa e Desenvolvimento e Consultoria

# Uma Ferramenta Interativa e Automática para a Análise, Síntese e Desenho de Regras de Mercado

Luiz Henrique Macêdo<sup>(1)</sup>, Leontina Pinto<sup>(2)</sup>, Fernando Tomaz<sup>(3)</sup>, Ana Pimenta<sup>(4)</sup>, Luiz Aor<sup>(5)</sup>, Marcelo Luna<sup>(6)</sup>

**Resumo** - Este trabalho apresenta uma plataforma inovadora, em nível nacional e mundial, na área de desenho de software. Concebemos um ambiente completo para a produção de programas e análise de resultados interativo e amigável. O usuário pode, com poucos comandos e sem programar uma única linha de código, introduzir equações e criar programas que as executem, especificar análises através de gráficos especiais ou visualizar processos por diagramas de blocos interativos. É possível assim analisar facilmente o impacto de modificações nas regras existentes e até mesmo propor aperfeiçoamentos ou evoluções. A ferramenta pode ser utilizada para a análise, a síntese e mesmo para uma função até agora pouco explorada: o desenho de mercados.

**Palavras-chave:** Desenho de Mercados, Análise de Mercados, Simulação de Mercados e Regras, Comercialização

## I. INTRODUÇÃO

A análise profunda das regras de comercialização e sua aplicação ao mercado é um dos maiores desafios do setor. Por um lado sabe-se que é fundamental ao agente a absorção dos conceitos básicos que as suportam, o entendimento do algoritmo associado e a avaliação realista do impacto de sua aplicação à empresa e ao mercado. Por outro lado, a rápida evolução do arcabouço regulatório e a necessidade de resposta num curto espaço de tempo fazem com que os agentes enfrentem uma grande dificuldade no acompanhamento da evolução da dinâmica do mercado.

Algumas das necessidades das empresas exigem uma quantidade de informações muito grande, que induzem à utilização de simuladores de mercados. No entanto, estes programas são extensos, sistematizam um volume significativo de informações e necessitam atualização ou manutenção constante, pois as regras aperfeiçoam-se continuamente. Não é raro o caso de ferramentas que, quando prontas, encontram-se obsoletas pelas constantes mudanças setoriais, ou de modelos de difícil manejo, capazes de produzir resultados numéricos, mas não o mais importante, que é o entendimento e a análise de sensibilidade.

O setor carecia, ainda, de uma ferramenta ágil, capaz de utilização interativa e resposta imediata, suficientemente flexível para acomodar desde um pequeno conjunto de regras até a totalidade do arcabouço regulatório, apto a produzir não apenas números, mas o completo panorama de sua posição no mercado e sua interação com os outros agentes, onde o impacto de cada aspecto regulatório pudesse ser analisado de forma completa e realista. Este é exatamente o objetivo de nosso trabalho.

## II. A PLATAFORMA DESENVOLVIDA

### A. Os Principais Módulos

A Plataforma desenvolvida pode ser vista como um conjunto de ferramentas integradas que podem ser utilizadas interativamente pelo usuário:

1- Um **editor** que possibilita uma entrada de regras em forma natural; o usuário simplesmente digita as equações e restrições que deseja analisar.

2- Um **tradutor** (ou compilador) que transforma as regras introduzidas em programas computacionais que as integram ao corpo do arcabouço regulatório já disponível e cria o programa computacional que executa o conjunto.

3- Um **gerenciador de informações** que associa a cada variável seu valor numérico a partir do banco de dados

disponível. Esse banco de dados é formado pelas informações iniciais (provenientes, por exemplo, dos relatórios da CCEE), de planilhas Excel fornecidas pelo usuário ou mesmo de cálculos internos executados pelo próprio programa

4- Um **gerenciador gráfico** que permite ao usuário obter, em forma de gráficos customizados, os resultados desejados.

5- Um **gerenciador de fluxos de informações** que permite “mapear” e compreender todo o processo utilizado para o cálculo do resultado em estudo.



Figura 1 – Principais Módulos da Plataforma

O funcionamento da plataforma pode ser descrito pelo caso-exemplo associado à sua aplicação: a análise da nova regra de repasse à tarifa associada à sazonalização de contratos e seus impactos na carteira da Light-Rio.

## III. O LAYOUT DA PLATAFORMA

A Figura 2 ilustra o Layout da Plataforma, realçando seus blocos mais importantes: as caixas de acrônimos, a tela para entrada das regras, o teclado e as funções pré-programadas.

## IV. APLICAÇÃO

Este artigo descreve a aplicação da Plataforma de Regras à Sazonalização dos contratos da Light, desde a formulação das regras até a análise do seu resultado financeiro. Evidentemente, os dados são representativos da realidade, mas foram alterados de modo a proteger sua confidencialidade.

(1) Engenho - lhmacedo@engenho.com

(2) Engenho - leontina@engenho.com

(3) Engenho - fernandotomas@engenho.com

(4) Light - ana.pimenta@light.com.br

(5) Light - luiz.aor@light.com.br

(6) Light - marcelo.luna@light.com.br

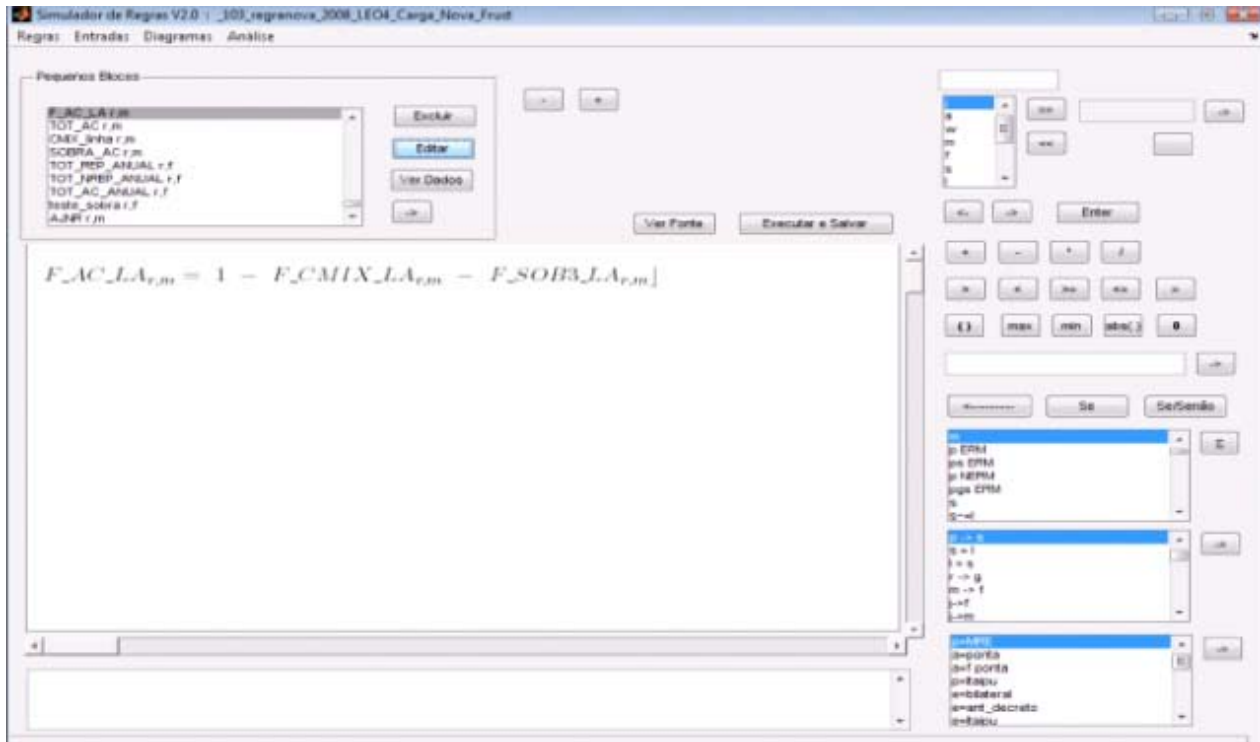


Figura 2 – Layout da Plataforma

### A. A Modelagem matemática

Inicialmente, procedeu-se à etapa de modelagem, que “transforma” o decreto e o detalhamento disponível em um conjunto de equações capazes de descrever completamente os conceitos, metodologia e objetivos da nova regulamentação. O conjunto de regras matemáticas não é o foco deste trabalho e não será portanto detalhado neste artigo. Maiores detalhes podem ser encontrados em [1].

### B. A Edição das Regras

Como anteriormente descrito, a entrada de regras é realizada de forma natural ao usuário, que não precisa programar uma linha de código sequer. A Figura 2 apresenta uma possível expressão do conjunto de regras a ser introduzida no programa, associada ao acrônimo F\_AC\_LA, com dimensões r e m. Seria possível, com a mesma facilidade, modificar ou suprimir qualquer regra existente.

Para maior facilidade de edição, a plataforma conta com um teclado especial e um conjunto com as funções mais utilizadas já pré-programadas, prontas para uso.

### C. A Criação do Programa de Simulação

As regras introduzidas como equações são automaticamente transformadas em um código (Matlab) e integradas ao programa já existente (associado, por exemplo, a outros conjuntos de regras já pertencentes ao banco de informações). Isto é realizado automaticamente, sem a intervenção do usuário, que pode, se desejar, acionar o botão “Ver Fonte”, e examinar o código criado na tela específica, ilustrada na Figura 3.

```

% entradas: CO_P_CO CNRED_F2 CB_F2
TOT_REP_HMMS=zeros(1,12);
for i=1:12;
for m=1:12;
%
MA=[1 2000 2 2000 3 2000 4 2000 5 2000 6 2000 7 2000 8 2000 9 2000 10 2000 11 2000 12 2000];
eM=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12];
eA=[2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000];
F=transd(eM,MA,eA);
soma1=sqrt(CO_P);
soma1=sqrt(eM);
if (size(soma1,2)<size(soma2,2))&&size(soma1,1)==1, soma1= soma2;end;
if isempty(soma1) || size(soma1,1)==0, soma1=0;end;
eC=[2 0 1 1 4 3 3 2 0 1 1 3 3 3 2 0 1 1 1 3 3 3 2 0 1 1 6 4 3 4 2 0 1 1 6 3 3 3 2 0 1 1 2 3 3 3 2 0 1 1 3 3 3 3];
eR=[1];
F=transd(C,F,--eR); & eC; F1= F;
soma2=sqrtP_CO(E,M,'CO_F2(B)+CNRED_F2(B)'); soma1(B), F1;
soma2=sqrt(eM);
if (size(soma2,1)<size(soma1,1))&&size(soma2,1)==1, soma2= soma1;end;
if isempty(soma2) || size(soma2,1)==0, soma2=0;end;
TOT_REP_HMMS(i,m)=soma2;
end;
end;

```

Figura 3 – Código Gerado

### D. Execução do Programa

O simulador gerado pode ser imediatamente executado, ainda dentro do ambiente da plataforma, de forma transparente ao usuário. Basta o acionamento do botão “Salvar e Executar”. Todos os resultados estarão prontos para análise e exame.

### E. Análise dos Resultados

A plataforma oferece um ambiente específico para a análise de resultados: a função “ANÁLISE”, que permite a especificação de gráficos e diagramas de blocos diretamente pelo usuário, através de interfaces intuitivas e amigáveis.

A Figura 4 apresenta a interface especialmente preparada (pelo usuário) para análise do impacto da nova regra de sazonalização de contratos.

É possível selecionar qualquer acrônimo ou dado desejado e estabelecer sua exibição através de linhas, pilhas ou seus valores numéricos.

Neste exemplo, desejamos analisar o resultado da sazonalização: estabelecemos uma “pilha” com cada modalidade ao longo do tempo (utilizando a janela “Barras”) e duas linhas que marcam a Carga a ser atendida (Real e Regulatória) por seus acrônimos TRC\_REP e REG\_TRC. O gráfico aponta os momentos de sobras e déficits mensais, bem como o valor do custo associado à parcela glosada.

Finalmente, o analista poderia, dentro do ambiente da plataforma, modificar dados ou mesmo regras e visualizar automaticamente os resultados.

## V. CONCLUSÕES

Criamos, neste projeto, um ambiente integrado para a análise, a síntese e o desenho de regras de mercado. O usuário dispõe de um ambiente amigável onde a análise de uma regra (existente, nova, até mesmo criada pelo agente) requer apenas a introdução de uma equação, digitada como num processador de textos.

A plataforma encarrega-se, automaticamente, de criar o programa computacional associado às equações digitadas, integrá-las às regras existentes e ao banco de dados necessário. Os resultados são especificados pelo usuário, que pode escolher entre receber variáveis numéricas, gráficos interativos ou diagramas explicativos que resumem o fluxo de informações utilizado.

É possível, assim, analisar rapidamente os impactos de uma consulta pública, propor modificações, validar ou



Figura 4 – Análise da Sazonalização de Contratos

antecipar resultados da comercialização (para, por exemplo, provisionamento de caixa à sazonalização de contratos), ou até mesmo reproduzir (se os dados estiverem disponíveis) parcialmente ou integralmente o processo do Sinercon.

As possibilidades de uso da Plataforma são extremamente amplas, desde a análise e a síntese até o desenho do mercado. Uma das vocações ainda a serem exploradas é a sua aplicação na capacitação dos agentes, que podem facilmente examinar regras, entender seu funcionamento, experimentar modificações – enfim, mergulhar no arcabouço

legal do mercado não mais como seguidores, mas como reais especialistas.

Em poucas palavras, esperamos que a Plataforma ofereça ao agente a possibilidade de efetivamente atuar no mercado, contribuindo para o seu aperfeiçoamento e evolução.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Modelagem Matemática das Regras de Sazonalização, relatório Engenho/Light-Rio, 2008



# COELCE

## Empresa cria alternativas à inspeção visual de isoladores e conexões

Para aprimorar o processo de detecção de furos e trincamentos em isoladores e conexões dos sistemas de distribuição, a COELCE e o Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (CEFET-CE) desenvolveram alternativas que culminaram na criação de um protótipo em uso na vistoria da rede elétrica da distribuidora.

Atualmente, as falhas em isoladores e conexões são reveladas por inspeção visual, o que impede a descoberta de furos e trincas pequenos, responsáveis por transformar um dos elos das cadeias de isoladores em condutores, o que prejudica o isolamento. Isso faz com que os isoladores com defeito respondam por significativa parcela dos desligamentos da rede elétrica.

Duas possíveis soluções para vistoria desses equipamentos resultaram do projeto da COELCE. Uma delas foi observar a estabilidade do sinal de rádio-frequência gerado pelo furo ou trinca por meio de um circuito de transmissão em Frequência Modulada (FM). A outra alternativa foi verificar a tensão de cada um dos três elos da cadeia de isoladores por meio de divisor de tensão.

Apesar de as duas formas poderem ser usadas para determinar as condições de uso dos isoladores em linhas de 13,8 kilovolts (kV), a segunda metodologia apresentou mais vantagens, na avaliação da empresa. Isso porque o divisor mostrou um valor bem aproximado da tensão em cada elo da cadeia de isoladores e também pelo fato de sua alta impedância reduzir o risco de curto-circuito.

Os pesquisadores concluíram que as duas soluções podem ser acopladas em uma vara de manobras pela leveza e facilidade de se encaixarem em caixas plásticas. E por não apresentarem ligação com o aterramento do sistema de distribuição, não causam riscos de quebra do isolamento.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética do Ceará (COELCE)

**Título:** Detetor de falhas em conexões e isoladores para sistemas de distribuição energizados

**Ciclo:** 2005/2006

**Investimento:** R\$ 295.470,00

**Execução:** Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (CEFET-CE)



# Detector de falhas em conexões e isoladores para sistemas de distribuição energizados

Antonio T. Varela<sup>(1)</sup>, André L. C. de Araújo<sup>(2)</sup>, Cláudio M. S. Medeiros<sup>(3)</sup>, Luiz F. C. Coutinho<sup>(4)</sup>, Ítalo J. L. Batista<sup>(5)</sup>, Tiago L. Garcia<sup>(6)</sup>, Rejane C. Sá<sup>(7)</sup>, Valdiberto C. Castro<sup>(8)</sup>

**Resumo** - A sistemática utilizada atualmente para detecção de falhas em isoladores e conexões em sistemas radiais de média tensão de redes energizadas é feita somente por meio de inspeção visual. Desta forma, tornase difícil a detecção de pequenos furos e trincamentos, no caso de isoladores, ou a presença de mau contato, no caso de conexões. Dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da COELCE, foram pesquisadas e implementadas duas formas de determinação das condições dos isoladores, que resultaram em um protótipo funcional utilizado nas atividades de inspeção da rede elétrica da Coelce.

**Palavras-chave:** detecção, falha, isolador.

## I. INTRODUÇÃO

Os isoladores usados no sistema de distribuição de energia elétrica são uma causa relevante de desligamentos. Normalmente, são usadas cadeias de isoladores com o número de elos dependendo da tensão da rede. No caso de linhas de 13,8kV, são usados três elos na cadeia. A tensão da rede é então dividida entre os elos. Quando um dos elos encontra-se com defeito, seja uma trinca ou um pequeno furo, devido ao rompimento da rigidez dielétrica do ar, o elo passa a se comportar como um condutor e faz com que parte do isolamento se perca. Este tipo de defeito não é observado a olho nu, o que dificulta sua detecção pelos métodos usados atualmente. Neste trabalho são apresentadas duas possíveis soluções para a inspeção dos isoladores. Estas soluções baseiam-se no fato de que a tensão da rede é distribuída entre os vários elos da cadeia e que os defeitos, quando acontecem, fazem com que o isolador, por se comportar como um curto-circuito, não apresente tensão em seus terminais.

## II. AS SOLUÇÕES PROPOSTAS

A primeira solução pesquisada baseia-se exatamente na característica dos defeitos no isolador. Um defeito muito frequente no isolador é a ocorrência de um furo ou uma trinca (gap). Isto faz com que o elo defeituoso se comporte como dois eletrodos, que sob uma tensão da ordem de 3 kV consegue romper a rigidez dielétrica do ar presente no furo ou na trinca. Quando isso acontece, o elo e o gap passam a se comportar como um circuito RC[1], conforme pode-se observar na Figura 1.

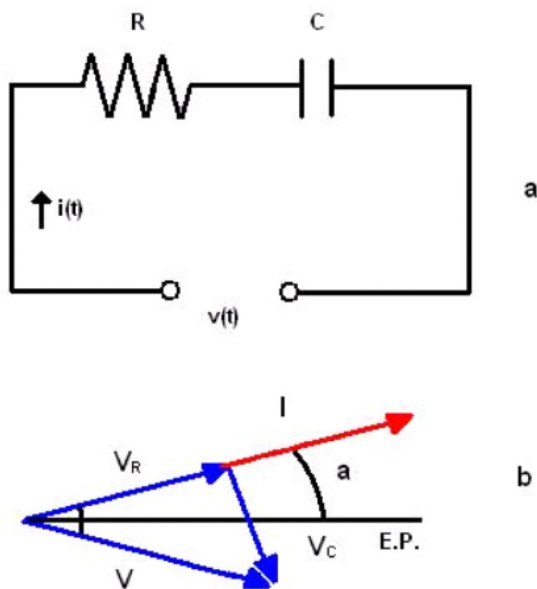


Figura 1. Circuito RC (a) Esquema Elétrico (b) Diagrama Fasorial.

Abaixo, na Figura 2, pode-se visualizar um esquema de funcionamento desta solução.



Figura 2. Diagrama referente à detecção de falhas por meio de circuito RC.

A segunda opção foi baseada na medição da tensão de cada elo da cadeia de isoladores. Na Figura 3 tem-se um diagrama dessa solução.

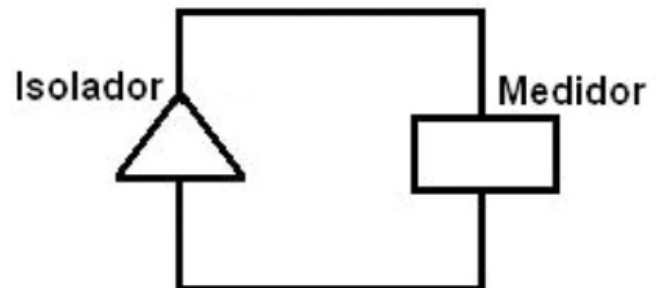


Figura 3. Diagrama referente à medição da tensão nos terminais do isolador

## III. IMPLEMENTAÇÃO

As duas soluções apresentam uma característica em comum: o sinal captado do isolador não pode ser transmitido por meio de fios, pois isso serviria como um condutor para a terra, com destruição da característica de isolamento.

No caso da primeira solução, o sinal gerado pelo gap é uma rádio-frequência, mas sua potência é muito baixa e o sinal sofre atenuação da ordem de 90% a uma distância de 20cm. Desta forma, foi desenvolvido um circuito de transmissão do sinal obtido. Foi escolhida a técnica de modulação em frequência (FM) para essa finalidade a fim de garantir um sinal mais estável[2]. Na Figura 4 tem-se um diagrama da solução com gap completa.

(1) CEFET-CE - themoteo@gmail.com  
 (2) CEFET-CE - andreluiz@cefetce.br  
 (3) CEFET-CE - pregis@cefetce.br  
 (4) CEFET-CE - coutinho@cefetce.br  
 (5), (6) e (7) - CEFET-CE  
 (8) COELCE - vcastro@coelce.com.br

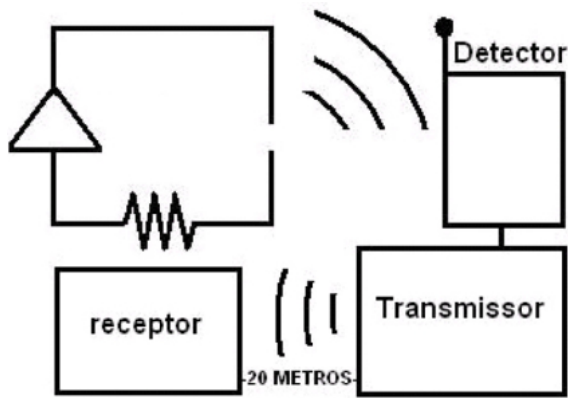


Figura 4. Diagrama completo para detecção de falhas - Circuito RC.

Com a transmissão do sinal, a distância do detector até o receptor pode chegar a mais de 20 metros. A seguir temos o diagrama da segunda solução completa (Figura 5).

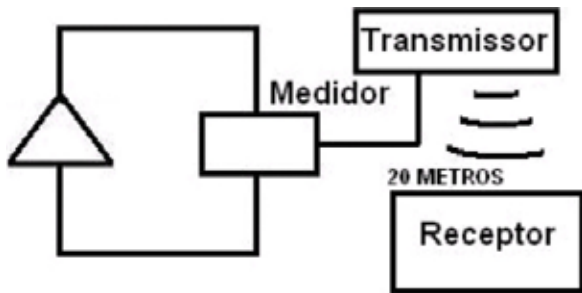


Figura 5. Solução com medidor.

A segunda solução foi baseada na medição da tensão em cada elo da cadeia de isoladores. Para fazer essa medição foi usado um divisor de tensão resistivo com dez elementos, dos quais nove compostos por um resistor de  $10M\Omega$  e o décimo por uma associação.

O sinal proveniente do transmissor é recebido pelo rádio do receptor [4] e processado pelo microcontrolador [3] para visualização no display.

#### IV. TESTES E RESULTADOS

Para realização dos testes com uso de alta tensão [5], foi utilizado um transformador de potencial (TP) monofásico de 115 V para 13.800 V. Antes de proceder aos ensaios do detector, foram feitos experimentos com o transformador e com a ponteira de alta tensão que serão usados, uma vez que as medidas serão realizadas de forma indireta.

Com um primário de 115 V e secundário de 13.800V temos uma relação de transformação de 120 vezes. Desta forma, a curva esperada para o transformador seria com a apresentada na Figura 6:

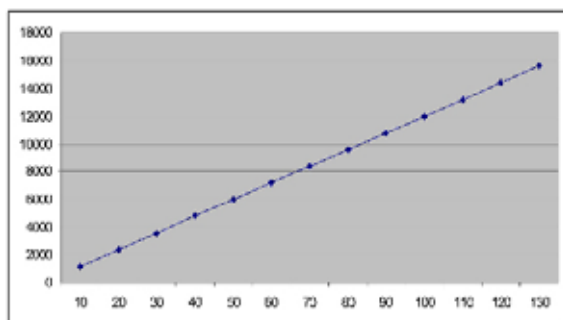


Figura 6. Gráfico da tensão no primário x tensão no secundário do TP - valores teóricos (todos os valores expressos em V).

Pode-se visualizar no gráfico da Figura 7 um comportamento ligeiramente não linear, com valores próximos dos valores ideais.

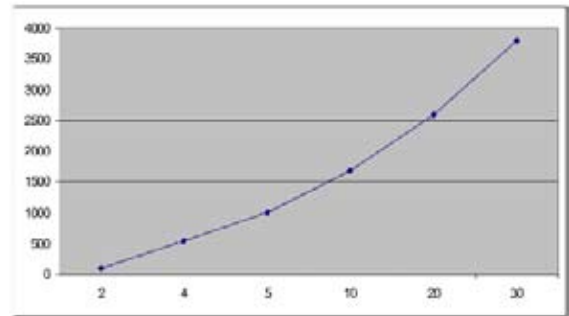


Figura 7. Gráfico da tensão no primário x tensão no secundário do TP - medidos (todos os valores expressos em V).

Este ensaio foi realizado com uma ponteira de alta tensão da Minipa com relação de 1:1000 ligado ao secundário do transformador de potencial (TP) e um multímetro comum ligado ao primário. Com esse resultado foi adotado para os testes que a tensão no primário deve chegar ao máximo a 30 V, o que vai dar uma tensão no secundário da ordem de 4 kV.

Para o ensaio com a ponteira com o gap, a tensão no primário do transformador variou de 0 V até acontecer o rompimento do arco. O detector consegue captar o sinal a uma distância da ordem de 15 cm e consegue retransmitir para o receptor até uma distância de 20 m. Na Figura 8, tem-se uma imagem detalhada da distância do gap para rompimento do arco com uma tensão da ordem de 1.500V.

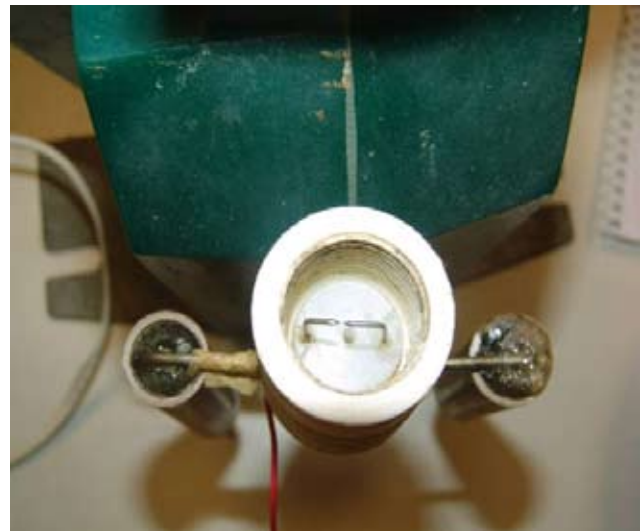


Figura 8. GAP no qual há o rompimento do arco elétrico para uma tensão de 1.500 V.

Os ensaios com o divisor de tensão foram realizados de forma semelhante. Primeiro foi determinada a relação do divisor de tensão, para isso foi montado o circuito mostrado na Figura 9.

#### V. CONCLUSÃO

As duas soluções podem ser usadas para determinar as condições de uso de isoladores em linhas de 13,8kV, mas a solução do divisor de tensão apresenta como vantagem mostrar um valor bem aproximado da tensão a qual está submetido cada elo da cadeia e pelo fato de sua alta impedância apresentar menor risco de ocasionar um curto circuito. As duas soluções podem ser acopladas em uma vara de manobras por serem leves e de fácil condicionamento em pequenas caixas plásticas. Como não apresentam nenhuma ligação com o terra do sistema de distribuição não apresentam riscos de quebra do isolamento. Tais soluções estão presentes nas atividades de inspeção de isoladores na rede elétrica da CO-ELCE, mostram-se eficazes na detecção de falhas.

## VI. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Companhia Energética do Ceará – COELCE pela concessão do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) PD00605 - Detector de Falhas em Conexões e Isoladores para Sistemas de Distribuição Energizados.

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PEREIRA, F. "Microcontroladores PIC: Técnicas avançadas"
- [2] GIMENEZ, S. P. "Microcontroladores 8051"
- [3] Microelectronic Circuits (The Oxford Series in Electrical and Computer Engineering) Adel S. Sedra - Ed. Hardcover
- [4] RFI Circuit Design Christopher Bowick - Ed. Paperback
- [5] Power Electronics Converters, Applications and Design Ned Mohan - Ed. Hardcover



Figura 9. Circuito de testes do divisor de tensão.



## COELBA

# Conjunto de equipamentos possibilita troca de condutor sem desligar rede

O desafio de substituir condutores de fios de cobre nus por cabos protegidos ou multiplexados (isolados) da rede de distribuição com segurança e sem interromper o fornecimento levou a Companhia Energética da Bahia (COELBA) a criar e testar procedimentos e ferramentas em seu projeto de P&D, em parceria com o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec).

Os condutores nus, sujeitos a desgaste causado pela exposição ao meio ambiente, têm sido usados há mais de 50 anos, mas a falta de proteção aumenta as chances de acidentes e de interrupções no fornecimento de energia. O novo ferramental desenvolvido vai contribuir para permitir a substituição da rede nua pela multiplexada sem desligamentos ou prejuízos aos índices coletivos e individuais de duração e frequência de interrupção (DEC, FEC, DMIC, FIC e DIC), além de aumentar a segurança ao trabalho das equipes de eletricitistas.

Os componentes que integram o ferramental foram construídos pela empresa Ferramentas e Equipamentos Elétricos Ltda. (FEERGS) e o pedido de patente encontra-se no Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI). Foram desenvolvidos dois modelos de carretilha de média tensão, um lançador de corda-guia, um acoplador de cabo-corda e uma ferramenta a ser instalada na terminação do cabo para isolamento elétrico, denominada mufla terminal do cabo protegido.

A pesquisa demonstrou a viabilidade da metodologia desenvolvida, com segurança e baixo custo, sem a necessidade de desligamento das unidades consumidoras atendidas em baixa ou alta tensão. Isso deverá permitir a otimização da rotina de manutenção de redes de distribuição da COELBA, com redução de custos e melhoria dos índices de desempenho da empresa e, conseqüentemente, mais satisfação aos clientes.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética da Bahia (COELBA)

**Título:** Desenvolvimento de metodologia e ferramental para manutenções em linha energizada em redes de distribuição

**Ciclo:** 2004/2005

**Investimento:** R\$ 754.706,00

**Execução:** Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec) e Ferramentas e Equipamentos Elétricos Ltda. (FEERGS Ltda.)

# Metodologia e ferramental para manutenções em redes de média tensão energizadas

Marcelo A. Ravaglio<sup>(1)</sup>, Edemir L. Kowalski<sup>(2)</sup>, Mário S. Cabussú<sup>(3)</sup>, Dailton P. Cerqueira<sup>(4)</sup> e Cleuber S.<sup>(5)</sup>

**Resumo** - Este artigo descreve procedimentos e ferramentas para a realização de serviços de substituição de condutores nus por cabos protegidos ou multiplexados em redes de distribuição de média tensão energizadas. Os procedimentos para execução das tarefas foram desenvolvidos e validados em ensaios de cam-po, com resultados altamente satisfatórios. Evita-se assim, desligamento da rede de distribuição, prejuízos nos índices de qualidade coletivos (DEC e FEC) e os individuais (DIC, FIC e DMIC), além do lucro cessante na comercialização de energia elétrica no período, bem como grande insatisfação dos consumidores afetados.

**Palavras-chave:** Linha Viva; Manutenção; Rede de distribuição; Substituição de condutores.

## I. INTRODUÇÃO

A COELBA tem enfrentado problemas com a cristalização de fios de cobre nus, de bitola 6 AWG, em boa parte de sua rede primária de distribuição. A substituição destes condutores com a rede energizada é necessária devido ao elevado percentual de condutores fragilizados em operação em seu sistema de distribuição. Para a execução destas tarefas, todo um novo ferramental foi criado e desenvolvido de forma a garantir a segurança das equipes de eletricitistas, bem como evitar a interrupção do fornecimento de energia elétrica aos consumidores.

## II. FERRAMENTAL DESENVOLVIDO [1]-[6]

Para a execução da tarefa de substituição de cabos energizados por cabos protegidos, ocorreu uma parceria dos pesquisadores do Lactec e da COELBA, com a empresa Ferramentas e Equipamentos Elétricos Ltda. (FEERGS), do Rio Grande do Sul, conceituado fabricante de ferramentas para serviços em linha viva. Todas as ferramentas desenvolvidas, listadas a seguir, encontram-se em processo de solicitação de patente junto ao INPI.

**Carretilha de Média Tensão:** A ferramenta desenvolvida pode ser metálica com revestimento em fibra de vidro ou totalmente em fibra de vidro, a fim de garantir resistência mecânica e isolamento elétrico adequados. Os ensaios de tensão de descarga sob frequência industrial mostram que as ferramentas confeccionadas em metal possuem tensão disruptiva média de 29 kV, enquanto as de fibra de vidro, de 35 kV. Os dois modelos desenvolvidos para esta ferramenta podem ser vistos na Figura 1.



Figura 1. Carretilhas de Média Tensão Desenvolvidas

**Lançador de corda-guia:** Mostrada na figura 2, a ferramenta foi desenvolvida com o objetivo de lançar uma corda isolante fina sobre as carretilhas de média tensão, em procedimento realizado a partir do solo ou a meia altura do poste de distribuição, utilizando-se respectivamente uma vara de manobra do tipo telescópica ou do tipo “pega-tudo”. A ferramenta é confeccionada em fibra de vidro, com adaptador universal para sua fixação na vara de manobra e com ranhura lateral sinuosa para facilitar o desprendimento da corda-guia após seu lançamento.



Figura 2 – Lançador de Corda-Guia

**Acoplador cabo-corda:** o dispositivo mostrado na figura 3 foi desenvolvido com o objetivo de isolar a extremidade do novo condutor em lançamento e garantir o aprisionamento do cabo junto à corda de tração. A ferramenta pode ser usada com cabos protegidos de 35 mm<sup>2</sup>, 70 mm<sup>2</sup> e 185 mm<sup>2</sup>, ou nas bitolas convencionais de cabos nus, na situação do serviço ser realizado com a rede desenergizada.

**Mufra terminal do cabo protegido:** Ferramenta confeccionada em polietileno, para instalação na terminação do cabo protegido em lançamento, junto à bobina que permanece em solo, para seu isolamento elétrico. A ferramenta é mostrada na figura 4.

(1) Lactec - marcelo@lactec.org.br

(2) Lactec - edemir@lactec.org.br

(3) COELBA - mcabussu@coelba.com.br

(4) COELBA - dcerqueira@coelba.com.br

(5) COELBA - cchaves@coelba.com.br

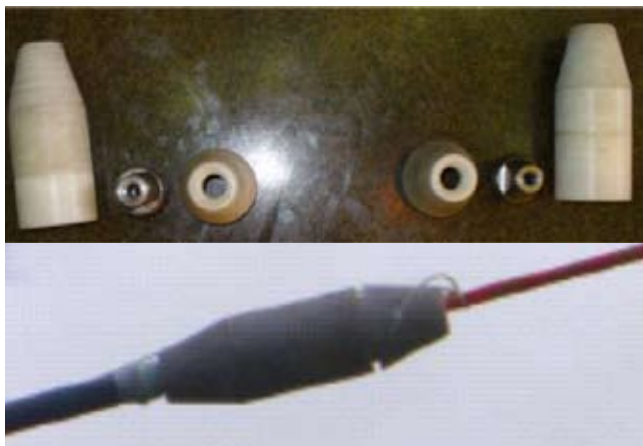


Figura 3 – Acopladores Cabo-Corda de 35 mm<sup>2</sup> e 70 mm<sup>2</sup>



Figura 4 – Mufla Terminal para Cabo Protegido de 185 mm<sup>2</sup>

### III. PROCEDIMENTO PARA SUBSTITUIÇÃO DE CONDUTORES DA REDE DE MÉDIA TENSÃO [1]-[6]

Os procedimentos convencionais de trabalho em linha viva adotados em cada concessionária ou por suas empreiteiras, entretanto, devem ser mantidos, uma vez que o procedimento apresentado refere-se apenas ao lançamento e a instalação dos novos condutores, com uso de técnicas de linha viva, o que está resumido a seguir:

- a) Inspeção prévia das estruturas onde se fará a manutenção em linha viva para verificar se elas possuem condições de trabalho e se possibilitam o recebimento de carga adicional.
- b) A seguir, realiza-se o isolamento e a sinalização completa da área onde será realizado o serviço.
- c) Prepara-se o ferramental a ser usado na execução da ta-refa. Determina-se o sentido de lançamento do cabo, pois esse definirá o melhor posicionamento das carretilhas.
- d) Do solo, com a vara de manobra universal, ou por meio de uma escada e bastão isolante pega-tudo (3,60 m), devem ser lançadas as carretilhas sobre as cruzetas dos postes.
- e) Do solo, com o dispositivo de lançamento de corda-

guia acoplado à vara de manobra telescópica, a corda-guia é lançada sobre as carretilhas.

f) Efetua-se o acoplamento entre a corda isolante e o novo condutor, que deve ser tracionado em cada vão (entre dois postes), de modo a evitar: i) esforço físico excessivo; ii) descarrilamento; iii) vibração excessiva das estruturas.

g) Na bobina do novo condutor, protege-se sua extremidade interna com a mufla terminal.

h) Efetua-se ligação em paralelo (jumper) do novo cabo lançado ao condutor antigo de mesma fase, em uma das estruturas terminais.

i) Transferem-se os ramais de alimentação de consumidores de alta tensão e de transformadores de distribuição para o novo condutor de média tensão.

j) Cortam-se as extremidades do cabo antigo para desenergizá-lo. Posteriormente, deve-se retirar o cabo dos isoladores de pino e das estruturas em manutenção, em respeito a procedimentos convencionais padronizados para esta tarefa.

k) Retira-se o novo condutor das carretilhas de média tensão para instalá-lo nos isoladores de pino, com as amarrações necessárias.

l) Recolhe-se e armazena-se todo o ferramental empregado e a sinalização de segurança.

### IV. CONCLUSÕES

As metodologias desenvolvidas para a substituição de condutores das redes de média em linha viva são totalmente viáveis, seguras, de baixo custo e não requerem o desligamento dos consumidores atendidos em alta e baixa tensão. Para tanto, foi criado um conjunto inédito de procedimentos e ferramentas de linha viva, dando origem à solicitação de pedido de patente junto ao INPI, sob a designação “Sistema para Substituição de Condutores em Redes de Média e Baixa Tensão em Linha Viva”.

Por fim, pode-se afirmar que as técnicas de linha viva desenvolvidas deverão permitir a otimização da rotina de manutenção de redes de distribuição na COELBA, com conseqüente redução de custos, melhoria dos índices de desempenho, alocação eficiente das equipes de linha viva e, especialmente, maior satisfação dos consumidores.

### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASTM F 711-89 “Standard Specification for Fiberglass-R inforced Plastic (FRP) Rod and Tube Used in Live Line Tools”.
- [2] ASTM F 712 – 88 “Standard Test Methods for Electrical Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Workers”.
- [3] IEEE “Guide for Maintenance Methods on Energized Power Lines”. IEEE Std .516-1995 (Revision of IEEE Std. 516 1987).
- [4] IEEE Committee Report “Recommendations for Safety in Live Line Maintenance”, IEEE PAS, v.87, n.2, Feb.1968.
- [5] NBR 11856 “Ferramentas e acessórios para trabalhos em redes energizadas de distribuição”, ABNT.
- [6] NBR 5244 “Determinação da resistência relativa de isolantes sólidos à ruptura causada por descargas superficiais.”, ABNT.



## AMPLA

# Técnicas ambientais recuperam entorno de reservatório de usina

A preocupação com o uso sustentável dos recursos hídricos motivou técnicos da Ampla Energia S/A e da Embrapa Solos, unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a desenvolver tecnologia para recuperação de áreas degradadas no entorno da Usina Hidrelétrica de Tombos. A unidade geradora fica no município mineiro de mesmo nome e está instalada no rio Carangola.

Os estudos detectaram que as sucessivas intervenções humanas modificaram os padrões naturais e transformaram a paisagem em extensas áreas de pastagens. As atividades econômicas predominantes em Tombos são a pecuária de leite e a cultura do café. Os pesquisadores mapearam o risco ambiental e elaboraram um planejamento conservacionista, com participação efetiva da comunidade.

Cinco Unidades de Pesquisa Participativa foram montadas na região degradada próxima à Usina. Palestras e seminários reuniram produtores rurais e a sociedade local para difusão dos resultados e transferência de tecnologia. A nova percepção ambiental da comunidade motivou a criação, pelo município, de uma Área de Preservação Ambiental no entorno da cachoeira de Tombos, local de fomento do turismo.

Outras ações foram a recomendação de práticas de conservação do solo e água, o terraceamento, o cultivo em nível, a rotação das culturas e a criação de cordões vegetados com o capim Vetiver. Os técnicos também indicaram a implantação de sistemas agroflorestais com seringueira, café, árvores frutíferas e pupunha, além da arborização de pastagens. No longo prazo, essas ações contribuirão para a recuperação da paisagem e até para o aumento do volume de água captado pela microbacia.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Ampla Energia e Serviços S/A

**Título:** Desenvolvimento de técnicas para conservação do solo e recuperação de áreas degradadas do entorno de reservatórios, estudo de caso para UHE de Tombos (MG)

**Ciclos:** 2003/2004 e 2004/2005

**Investimento:** R\$ 408.406,00

**Execução:** Embrapa Solos

# Desenvolvimento de técnicas para conservação do solo e recuperação de áreas degradadas do entorno de reservatórios. Estudo de caso para UHE de Tombos (MG)

Aluíso G. Andrade<sup>(1)</sup>, Braz C. Filho<sup>(2)</sup>, Adoildo S. Melo, Celso V. Akil<sup>(3)</sup>, Gilberto Suhett<sup>(4)</sup>, David Targueta<sup>(5)</sup>

**Resumo** - O estado de conservação do solo interfere diretamente na sustentabilidade dos sistemas hídricos. Realizou-se o mapeamento, o uso atual e a avaliação do estado de conservação dos solos no entorno do reservatório de Tombos. Elaborou-se um plano de manejo conservacionista e implantou-se cinco Unidades de Pesquisa Participativa e demonstrativa com espécies de interesse econômico para produção agroflorestal e para fins de recuperação ambiental. Avaliou-se o desenvolvimento vegetativo das espécies implantadas e as condições agrometeorológicas. Foram realizadas palestras e visitas à área e transferência das tecnologias. Os resultados do projeto, além de contribuírem para a melhoria da qualidade da água do reservatório, também auxiliaram no programa de educação ambiental do município de Tombos e colaboraram para iniciar o processo de criação da Área de preservação ambiental da cachoeira de Tombos, com a participação da prefeitura, da AMPLA, de proprietários rurais e da comunidade em geral.

**Palavras-chave:** conservação de solo e água, planejamento conservacionista, recuperação de áreas degradadas.

## I. INTRODUÇÃO

O uso sustentável de sistemas hídricos requer a formulação de planejamentos conservacionistas, integrados e participativos. A capacidade de recarga ou de infiltração de água depende das formas de intervenção do homem e do conhecimento do comportamento edafológico em diferentes modelos de exploração agropecuária.

O uso do solo interfere diretamente na produção e na qualidade da água gerada pelas microbacias hidrográficas. A falta de um planejamento adequado para o uso dessas terras acarretam não só o empobrecimento e êxodo rural mas também graves problemas ambientais, como erosão, e, conseqüentemente, assoreamento de rios, canais e reservatórios. Assim, é necessário conhecer os potenciais e fragilidades do meio físico e as condições sócio-econômicas para que se possa desenvolver sistemas sustentáveis de produção.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Objetivos

**Geral:** Desenvolver tecnologia para recuperação de áreas degradadas com espécies de interesse econômico e para fins de recuperação ambiental.

**Específicos:** elaborar plano de conservação do solo água e de recuperação de áreas degradadas; implantar quatro unidades de pesquisa participativa por meio de áreas de observação e demonstração com técnicas de uso agrícola conservacionista do solo, de controle da erosão, de revegetação de áreas degradadas e recomposição da vegetação nativa da região.

### B. Metodologia

Foram realizadas a caracterização, o mapeamento e a avaliação do estado de degradação do solo. Em agosto de 2004 foi feita uma campanha de campo, com a coleta de 26 perfis extras de solos. Posteriormente, foram coletados os perfis completos de solos e delineados os polígonos definitivos para completar e concluir o levantamento de solos. As amostras foram enviadas aos laboratórios da Embrapa Solos, para caracterizações físicas e químicas dos solos.

A prospecção e identificação dos solos foram executadas segundo o método de exame intensivo, usando-se, para este fim, todos os acessos existentes a veículos e caminhamento com observações a pequenos intervalos, que permitiram visualizar a sequência de distribuição dos solos na paisagem e estabelecer a legenda preliminar, levando-se em conta relevo, declividade, erosão, drenagem, pedregosidade, rochosidade e vegetação original.

A classificação dos solos seguiu o arranjo taxonômico e os nomes técnicos propostos pela Embrapa (1999), conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

A partir de estudos anteriores e de fotointerpretação preliminar foram identificados pontos estratégicos, georreferenciados, e foi realizada a descrição de atributos morfológicos e a caracterização química e física de parâmetros relacionados aos critérios de distinção para a definição do grau de limitação das terras para agricultura de sequeiro e irrigada em diferentes classes de solos.

A análise climatológica compreendeu a obtenção e modelagem dos dados históricos de clima relacionados à região do estudo piloto, por meio de extrapolações, estabelecendo a distribuição sazonal de chuvas, as médias de temperaturas e de umidades relativas, a definição de ventos predominantes (direção e intensidade) e fenômenos climatológicos relevantes (chuvas intensas, veranicos, geadas, granizo, etc.).

O clima predominante da região de Porciúncula (RJ), Tombos (MG) e Carangola (MG) é do tipo tropical quente com inverno seco. Apresenta áreas de transição entre os climas AW e CWa, segundo a classificação climática de Köppen (1948).

Porciúncula, município do Rio de Janeiro, apresenta clima classificado com AW, ou seja clima tropical, com inverno seco, estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm.

À medida que temos uma elevação da altitude e a predominância de um relevo mais acidentado, nos municípios de Tombos e Carangola, o clima tende ao tipo CWa, ou seja, Clima subtropical de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22°C).

Em Tombos, a temperatura média anual é de 20,90 °C, com média máxima anual de 26,50 °C e média mínima anual de 14,40 °C. O Índice médio pluviométrico anual é de 1.200 mm.

A integração entre as informações sobre o uso atual e o uso potencial possibilitou o estudo da vulnerabilidade ambiental da área da Bacia Hidrográfica, mapeando as zonas segundo o risco ambiental e permitindo a formulação do planejamento conservacionista da área, com forte participação da comunidade.

Foram implantadas cinco unidades de pesquisa participativa (UPEPAD) na área degradada próxima à Usina. A difusão de resultados e a transferência de tecnologias para os produtores rurais e todos os atores da área de estudo e das regiões vizinhas foram feitas por meio de palestras, seminários e dias de campo.

### C. Resultados e Discussão

A fisionomia do município de Tombos apresenta diferentes padrões de paisagem, devido às constantes e sucessivas intervenções antrópicas, em função de diferentes usos do

(1) Embrapa Solos

(2) Embrapa Solos

(3) AMPLA - akil@ampla.com

(4) AMPLA - gsuhett@ampla.com

(5) AMPLA - targueta@ampla.com



solo ao longo dos anos. Isso transformou as paisagens do município, outrora cobertas de matas, em imensas áreas de pastagens, muitas das quais encontram-se, hoje, degradadas. O clima predominante da região de Tombos é do tipo tropical quente com inverno seco.

Atualmente o setor primário responde pela maior geração de renda e economia. As lavouras ocupam uma pequena parcela (13%) da área em uso no município. As práticas mecânicas e vegetativas implementadas para controle e estabilização de processo de voçorocamento se mostraram bastante eficientes. Após um ano podemos verificar que esta erosão encontra-se controlada e a área apresenta outro aspecto paisagístico (Figuras 1, 2, 3 e 4).



Figura 1 – Área antes do projeto



Figura 2 - Área depois do projeto



Figura 3 – Área antes do projeto



Figura 4 - Área depois do projeto

As ações de transferência de tecnologia realizadas geraram um aumento da percepção ambiental por toda a comunidade (Figuras 5 e 6), possibilitando iniciar ações de criação de uma Área de Proteção Ambiental (APA) no entorno da cachoeira de Tombos.



Figura 5 – Projeto social



Figura 6 – Educação ambiental

### III. CONCLUSÕES

A ocupação e o uso do solo sem um planejamento adequado vêm acarretando a retirada da cobertura florestal de áreas de alta vulnerabilidade ambiental, que precisam ser recuperadas. Tais como: margens corpos hídricos, e topos de morros e áreas com alto grau de degradação.

A agricultura e pecuária continuam sendo a atividade econômica mais importante no município, destacando-se a produção de café e leite. A agricultura é comumente praticada em terrenos de declividades acentuadas, com a máxima ocupação de áreas íngremes. Nestas áreas recomenda-se a introdução de práticas de conservação de solo e água, como o terraceamento, o cultivo em nível, a rotação de culturas e a implantação de cordões vegetados com o capim Vetiver. Indica-se introduzir sistemas agroflorestais com seringueira, café, espécies frutíferas e pupunha, além da arborização de pastagens.

A implementação do projeto da Ampla, conjugada com o cumprimento das medidas e recomendações propostas e com as ações de recuperação paisagística a promover, permitirá uma reconversão ambientalmente sustentada da área do entorno do reservatório, o respeito pelo meio ambiente, e o aumento do volume de água captado pela microbacia.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. C. Filho Visão Sistêmica como Subsídios para o Planejamento Ambiental da microbacia do Córrego Fonseca. 2003. 240p. (Tese de Mestrado em Geografia) - Departamento de pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [2] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS; Brasília, DF: Embrapa SPI, 1999. 412 p.
- [3] IBGE. Censo Demográfico de 2000. Com características de município de pequeno porte demográfico.
- [4] A. J. T. Guerra, S. B. Cunha, Avaliação e perícia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- [5] J. B. Oliveira, Solos do Estado de São Paulo: Descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: IAC 1999. 112 p. (IAC. Boletim Científico, 45).



# CELPE

## Novas soluções de aterramento na transmissão podem evitar furto de cabos

O furto dos cabos condutores e de aterramento de estruturas de transmissão de energia elétrica, além de representar prejuízo financeiro às empresas, pode causar problemas no fornecimento e provocar graves acidentes. Dados da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) demonstram que o roubo de cabos tem tido crescimento acentuado. Apenas no período de 2003 a 2006, 1.187 quilômetros (km) foram furtados, principalmente em Petrolina, Cabo de Santo Agostinho e região metropolitana de Recife.

As opções para aterramento pesquisadas no projeto de P&D da CELPE, elaborado em conjunto com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e com a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), levaram em conta o uso de materiais menos atraentes ao furto.

Uma das alternativas testadas nas estruturas existentes foi o uso de vergalhões comuns na montagem de vigas e colunas de obras civis, mas encapsulados com inclusão de argamassa de cimento nos eletrodutos para evitar a oxidação do ferro exposto ao ar livre. Essa solução tem baixo custo e atende às características necessárias à condução das correntes de curto-circuito do sistema elétrico da CELPE.

Para as instalações de transmissão futuras, a opção deve ser a utilização das ferragens de postes com inserção de estribos especiais, confeccionados em fios de aço galvanizados e soldados em pontos específicos das ferragens. Essa adequação assegura a condutividade necessária.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética de Pernambuco (CELPE)

**Título:** Estudo de alternativa ao sistema de aterramento utilizado nos sistemas elétricos de distribuição

**Ciclo:** 2004/2005

**Investimento:** R\$ 395.810,00

**Execução:** Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

# Estudo de Alternativa ao Sistema de Aterramento Utilizado na Transmissão de Energia Elétrica

J. M. B. Bezerra<sup>(1)</sup>, A. A. P. Silva<sup>(2)</sup>, A. L. T. Cavalcanti<sup>(3)</sup>, J. A. Lopes<sup>(4)</sup>, M. A. X. Lima<sup>(5)</sup>, E. G. Costa<sup>(6)</sup>, M. G. G. Neri<sup>(7)</sup> e T. V. Ferreira<sup>(8)</sup>

**Resumo** - Este artigo resume os resultados alcançados ao longo do projeto de P&D intitulado "Estudo de Alternativa ao Sistema de Aterramento Utilizado nos Sistemas Elétricos de Distribuição". Foram pesquisados materiais alternativos aos convencionalmente utilizados para aterramento de estruturas de transmissão de energia elétrica e que incorporassem características não atrativas ao furto. A partir da identificação de tais alternativas foram realizados ensaios de curto-circuito procurando-se aferir a característica  $iXt$  (corrente x tempo), que modela a suportabilidade de condutores a correntes elétricas aplicadas durante tempos específicos, respeitadas as temperaturas limites que os materiais podem suportar sem perder as suas características eletromecânicas. São registradas, ainda, aplicações em curso na CELPE. Registra-se que a empresa utiliza usualmente aterramento de estruturas em linhas de transmissão, mas as alternativas apontadas também podem ser adaptadas para uso em sistemas de distribuição.

**Palavras-chave:** Linhas de transmissão; Aterramento; Correntes de curto-circuito; Aquecimento elétrico.

## I. INTRODUÇÃO

O aterramento adequado dos sistemas elétricos de transmissão se constitui de um elo fundamental para assegurar que eventuais correntes de curto-circuito sejam perfeitamente drenadas para o solo, sem por em risco as ferragens de sustentação de cadeias de isoladores, as linhas e a atuação dos dispositivos de proteção instalados nas subestações. O mau aterramento pode levar as ferragens a serem submetidas a um processo de erosão elétrica, quando da passagem de correntes de curto-circuito intensas, o que pode causar desgastes mecânicos, queda da cadeia de isoladores e conseqüente interrupção no fornecimento de energia elétrica aos diversos consumidores, com risco à segurança de pessoas e animais.

Por outro lado, quando da incidência de descargas atmosféricas sobre as estruturas, os seus sistemas de aterramento são projetados de tal forma a assegurar a drenagem da descarga para a terra sem que eventuais sobretensões sejam transferidas para a cadeia de isoladores, o que pode conduzir ao flashover e conseqüente arco de potência e impor, também, os riscos mencionados anteriormente.

A busca de material alternativo que propicie o aterramento adequado das cadeias de isoladores, no lado terra, mas que não seja atrativo a roubos se torna uma ação estratégico-empresarial de ponta, tendo em vista a frequência das ocorrências identificadas, o que tem deixado o sistema vulnerável a conseqüências desagradáveis, associadas a riscos de acidentes com terceiros e de danos financeiros e patrimoniais. O uso de materiais de menor valor comercial inibe a ação de pessoas que praticam o furto com objetivo de aplicações comerciais diversas.

Este artigo descreve as metodologias utilizadas e os resultados alcançados nos estudos de alternativas para aterramento de estruturas de transmissão de energia elétrica que incorporem as características mencionadas ao sistema elétrico da CELPE.

Inicialmente são enfocadas as conseqüências da falta de aterramento de estruturas para o sistema elétrico. Posteriormente são feitas avaliações preliminares sobre as alternativas a serem estudadas. Em seguida são descritos os ensaios elétricos realizados nas alternativas identificadas como promissoras e, finalmente, são apresentadas as avaliações dos resultados obtidos.

## II. FURTOS DE CONDUTORES NO SISTEMA

Estatísticas realizadas apontaram um crescimento acentuado no furto de cabos condutores e de aterramento, totalizando 1.187 km de cabos, no período 2003-2006. Detalhes desses levantamentos apontam as regiões metropolitanas de Petrolina, Cabo de Santo Agostinho e região metropolitana do Recife como as mais afetadas.

## III. FUNÇÕES OPERACIONAIS DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

Os cabos de aterramento devem ser instalados de tal forma a conectarem desde os parafusos de sustentação das cadeias

de isoladores até a malha de aterramento de estruturas de concreto armado (contrapesos e/ou hastes de terra). Quando a linha possui hastes ou cabos para-raios, esses também devem ser conectados às malhas de aterramento por cabos de aterramento. Sua função é a drenagem de correntes elétricas para a terra, quando da ocorrência de curto circuito sobre a cadeia de isoladores ou descargas atmosféricas incidentes sobre as estruturas.

O dimensionamento desses cabos terra está mais associado às correntes de curto-circuito sobre as cadeias de isoladores do que propriamente às correntes de descargas atmosféricas incidentes nas estruturas [1].

Portanto, um problema que naturalmente seria superado sem maiores conseqüências pode evoluir descontroladamente para um acidente de graves proporções devido à ausência do sistema de aterramento.

## IV. DESCRIÇÃO DAS ALTERNATIVAS ESTUDADAS

Foram estudadas duas alternativas de aterramento não atrativo a furtos: vergalhões encapsulados para estruturas em operação e a utilização das ferragens dos postes para novas estruturas. São descritos a seguir mais alguns detalhes de cada uma dessas alternativas.

### A. Vergalhões Encapsulados

Esta alternativa leva à utilização de vergalhão utilizado corriqueiramente para montagem de ferragens de vigas e colunas na engenharia civil. O encapsulamento feito com cimento e eletroduto tem a função de evitar a oxidação do ferro exposto ao ar livre. Trata-se de uma solução barata e que incorpora as características elétricas necessárias à condução das correntes de curto-circuito a que poderão ser sujeitas, como será explicitado mais adiante [2].

### B. Aterramento Através das Ferragens dos Postes

Para utilização das ferragens dos postes com o propósito de condução de correntes de curto-circuito foram propostas adequações especiais voltadas para assegurar a condutividade efetiva da mesma, pela inserção de "estribos especiais" soldados às ferragens em pontos específicos.

## V. ENSAIOS ELÉTRICOS REALIZADOS

Foram realizados ensaios de curto-circuito e surto de corrente nos vergalhões encapsulados e na ferragem do poste no Laboratório de Alta Tensão da UFCG.

Utilizando [3] para aferição da característica  $iXt$  e realizando simulações computacionais, determinou-se a bitola do vergalhão disponível comercialmente, mais econômica e que

(1) UFPE - jmbb@ufpe.br  
 (2) UFPE - alexsandro111@yahoo.com.br  
 (3) UFPE - andretiburcio@hotmail.com  
 (4) CELPE - jose.lopes@celpe.com.br  
 (5) CELPE - marcelolima@celpe.com  
 (6) UFCG - edson@ee.ufcg.edu.br  
 (7) UFCG - maxneri@ee.ufcg.edu.br  
 (8) UFCG - tarso@ee.ufcg.edu.br

garantiria um desempenho térmico superior aos do cabo de aço cobreado 2 AWG e cabo de aço galvanizado 4 BWG, condutores geralmente utilizados no sistema de aterramento da CELPE. Na Figura 1 são comparadas as curvas características  $iXt$  para o vergalhão escolhido e o cabo de aço cobreado 2 AWG para uma temperatura limite de 350°C, na qual fica comprovado o desempenho do vergalhão escolhido (3/8").

Foram aplicadas correntes de 200 A durante 669,4 s entre cada um dos parafusos de sustentação dos isoladores localizados nas extremidades da estrutura e o vergalhão na parte inferior da mesma para simulação do seu comportamento térmico, quando da aplicação de correntes de curto-circuito no sistema da CELPE.

Nos ensaios da armação metálica se escarificou algumas regiões da estrutura para que fosse possível acessar os vergalhões para aplicação da corrente elétrica ou onda de impulso.

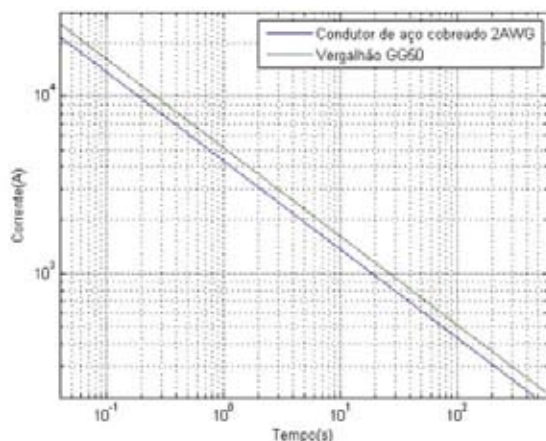


Figura 1. Curvas características para o cabo de aço cobreado 2 AWG e o vergalhão adotado.

Os resultados indicaram sobreaquecimento em alguns estribos devido à ausência de conexão elétrica entre eles e os vergalhões da ferragem. Para aferir melhor o processo, as ferragens de um dos postes foram totalmente expostas. Como solução foram soldados à ferragem “estribos especiais”, confeccionados com fio de aço galvanizado 4 BWG, conforme ilustrado na figura 2.



Figura 2. Vista da parte inferior da armação metálica, mostrando a conexão entre o “estribo especial” e os vergalhões.

## VI. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A aferição da característica  $iXt$  para o vergalhão encapsulado foi realizada pela aplicação de correntes elétricas de 200 A durante determinado intervalo de tempo e para uma temperatura limite de 350°C. Na Figura 3 é registrado o resultado de uma imagem obtida por meio do termovisor alguns instantes após a injeção de corrente na haste de sustentação do isolador do lado direito da cruzeta.

O conjunto de vergalhões apresentou um desempenho térmico satisfatório nos ensaios. Foram medidas temperaturas máximas de 250°C no vergalhão encapsulado da parte inferior

da estrutura, 100°C na superfície do eletroduto e 134°C no conector tipo T, valores inferiores aos suportáveis pelos materiais citados. Infere-se, portanto, que o encapsulamento do vergalhão aumenta a seção do conjunto e, conseqüentemente, a área exposta, o que beneficia a dissipação do calor e a redução das temperaturas máximas.

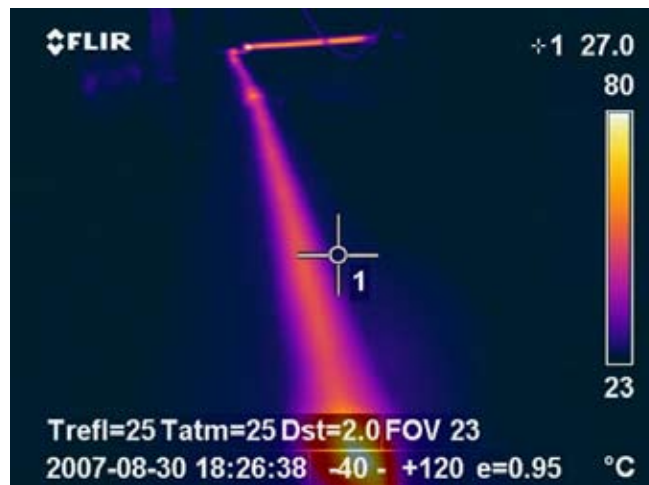


Figura 3. Termovisão dos vergalhões encapsulados sob a estrutura, instantes após a passagem da corrente.

Nos ensaios com a ferragem do poste inteiramente exposta, sem realização de nenhuma soldagem, a corrente elétrica, injetada em vergalhões de um lado da estrutura e coletada em vergalhões do lado oposto, distribuiu-se de forma não uniforme pela ferragem da estrutura, o que causa elevação mais acentuada da temperatura nos vergalhões onde a corrente é injetada.

Ao se distribuir pela ferragem a corrente elétrica percorre alguns dos arames utilizados para fazer a amarração dos estribos e esquadros aos vergalhões. Devido às dimensões de suas bitolas, alguns desses arames apresentaram aquecimento excessivo, chegando a iniciar processo de fusão. Tal fato pode comprometer as características mecânicas das estruturas.

Nos ensaios com a ferragem do poste inteiramente exposta foi medida a corrente elétrica nos vergalhões em vários trechos ao longo da armação metálica da estrutura. Tais medições de corrente foram realizadas com uma pinça amperimétrica modelo i400, fabricada pela Fluke. As correntes medidas apresentaram uma distribuição mais uniforme devido à soldagem dos “estribos especiais” à ferragem do poste. Como as correntes que percorrem os vergalhões da armação metálica são menores que a injetada no “estribo especial”, acontece um ganho em seu desempenho térmico. Os valores máximos de temperatura nos “estribos especiais” também foram bem inferiores ao máximo suportável.

Foram realizados ainda ensaios de surto de corrente visando simular descargas atmosféricas incidentes na estrutura ou linha. Foram aplicadas ondas de impulso da ordem de 50 kA sem que houvesse nenhuma alteração notável no estado térmico dos vergalhões encapsulados e da ferragem do poste.

Essas recomendações estão sendo implementadas no sistema CELPE, a exemplo das montagens registradas nas figuras 4 e 5.



Figura 4. Novo processo de montagem em fábrica de poste.



Figura 5. Aplicação da nova solução no sistema CELPE.

## VII. CONCLUSÕES

Fruto das constatações feitas ao longo de todo o projeto de pesquisa, no qual se procurou exaustivamente aferir o desempenho das alternativas em laboratório, podem ser encaminhadas as recomendações descritas a seguir.

Para as estruturas em operação, o aterramento pode ser realizado por vergalhões encapsulados, que apresentaram desempenho elétrico satisfatório para as correntes de curto-circuito características do sistema elétrico da CELPE. Tal solução apresenta baixo custo de instalação e pouca atratividade ao furto, mas requer, entretanto, a implementação de novos processos industriais que agilizem os procedimentos de enchimento do eletroduto com argamassa de cimento.

No caso das novas estruturas que comporão o sistema da CELPE em expansão, as mesmas podem ser projetadas e montadas com as adaptações elétricas propostas de tal forma a assegurar a utilização das ferragens para desempenhar, também, as funções de aterramento elétrico. Esses procedimentos estão em curso na empresa.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D'Ajuz, Ary. "Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento", Universidade Federal Fluminense, Editora Universitária.
- [2] Santos, R. B.; Lima, O. V. F. "Corrosão em hastes de âncora em torres estaiadas 500 kV - causas e soluções adotadas" VIII SNPTEE, GLT, São Paulo, 1986
- [3] IEC-60949. "Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects". 1988



## BANDEIRANTE

# Filtro ativo com controladores síncronos tem desempenho efetivo contra distúrbios

A distribuidora Bandeirante Energia S/A e a Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (FUPAI) aprimoraram e testaram um protótipo de filtro ativo de potência instalado em suas redes, a fim de torná-lo mais adequado à instalação em cargas geradoras de harmônicos (fenômenos elétricos que causam distorções na tensão e na corrente elétrica).

Com o projeto, foram produzidas algumas unidades “cabeça-de-série”, em parceria com um fabricante, para testar a robustez do equipamento sob condições adversas relacionadas à produção de distúrbios harmônicos gerados nos clientes da concessionária. O adequado funcionamento do equipamento, submetido a sistemas reais e condições diversas de poluição harmônica, contribui para a melhoria da qualidade dos serviços prestados aos clientes. Foram desenvolvidos ajustes e melhorias também no sistema de controle do filtro para torná-lo mais adequado à instalação em cargas geradoras de harmônicos e mais independente possível da carga.

Para operação desses dispositivos, o projeto baseou-se na técnica da Referência Síncrona Modificada, ou Modified Synchronous Reference Frame Technique (MSRF). Após resultados experimentais, os pesquisadores concluíram que o filtro ativo de potência controlado pela técnica MSRF, depois de testado em diferentes condições operacionais, apresentou respostas efetivas, mesmo sob a ação de cargas constantes e com grandes variações, independentemente de perturbações de tensão e de corrente ocorridas na rede de distribuição.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Bandeirante Energia S/A

**Título:** Aprimoramento e Aplicação de Filtro Ativo de Potência

**Ciclos:** 2004/2005 e 2005/2006

**Investimento:** R\$ 749.840,00

**Execução:** Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (FUPAI)

# Filtro Ativo de Potência Controlado pelo Método da Referência Síncrona Modificada

Edson Hideki Takauti<sup>(1)</sup>, Luiz Eduardo Borges da Silva<sup>(2)</sup>, Germano Lambert Torres<sup>(3)</sup>, Carlos Henrique da Silva<sup>(4)</sup> e Rondineli Rodrigues Pereira<sup>(5)</sup>

**Resumo** - Este artigo apresenta os desenvolvimentos realizados no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Energias do Brasil - Bandeirante. Este projeto, de dois anos, teve os seguintes objetivos principais: (a) produzir alguns filtros, chamados aqui de "cabeças de série" em parceria com um fabricante, (b) diagnosticar clientes que apresentem condições adversas relacionadas a produção de distúrbios harmônicos, e (c) instalar esses filtros ativos de potência nas redes da Bandeirante para verificar seu desempenho em sistemas reais e condições diversas de poluição harmônica, dessa forma, contribuir para a melhoria da qualidade dos serviços prestados aos clientes. Foram desenvolvidos ajustes e melhorias no protótipo do sistema de controle do filtro ativo de potência para torná-lo um equipamento mais adequado para instalação em cargas geradoras de harmônicos, tornando-o o mais independente possível da carga.

**Palavras-Chave:** Eletrônica de potência, harmônicos, sistemas de controle, operação de sistemas, qualidade de energia.

## I. INTRODUÇÃO

Os algoritmos para implementação do Phase Lock Loop (PLL) trifásico foram propostos por Kaura [1] e estabeleceram uma técnica robusta com o uso da Referência Síncrona normal ou (Synchronous Reference Frame (SRF)). Essa metodologia produziu um comportamento adequado, com resposta transitória satisfatória, porém somente quando as tensões envolvidas estavam desprovidas de distorções não críticas ou sujeitas a pequenos desbalanceamentos. Qualquer situação diferente dessas especificações implicava em perda de sincronismo de fase, perda de travamento, sinal de saída distorcido etc, o que acarreta compensação incorreta dos harmônicos.

É bem conhecido que equipamentos tais como retificadores PWM, UPS e Filtros Ativos têm sua capacidade de executar suas atribuições dependentes fundamentalmente da precisão do PLL, especialmente aqueles cuja estratégia de controle esta baseada na técnica da Referência Síncrona (SRF). Algoritmos de PLL usando a teoria das Potências Instantâneas também apareceram na literatura técnica e apresentam os mesmos problemas descritos. A literatura sobre PLL apresenta uma enorme quantidade de algoritmos para PLL trifásicos, muitos deles usam Referência Síncrona [1] e outros com a Teoria da Potência Instantânea [2].

Cada nova estratégia proposta tenta atingir um comportamento mais confiável, robusto e com resposta dinâmica mais rápida. Porém, todos eles estão estritamente dependentes do controlador linear PI instalados na malha de controle.

Quando aparecem distorções harmônicas, desbalanço de tensão ou offset, o controlador PI introduz um travamento incorreto para a fase, fato que distorce o sinal senoidal que deve estar sincronizado e gera uma resposta dinâmica pobre [1,3].

O algoritmo para o PLL proposto neste trabalho, descrito em [4], está baseado na técnica da Referência Síncrona Modificada ou Modified Synchronous Reference Frame technique (MSRF) e apresenta uma rápida capacidade de travamento sem o uso de controladores PI e também não necessita da medida da tensão nas três fases.

O PLL proposto, quando aplicado às tensões trifásicas do sistema de distribuição, usa apenas a medida da tensão da fase A, e, conseqüentemente, reduz o número de sensores e aumenta a confiabilidade. Além disso, desbalanço de tensão ou distorções harmônicas não interferem no comportamento do PLL, sem comprometer a extração de harmônicos produzida pela aplicação da Referência Síncrona no Filtro Ativo de Potência.

A estratégia proposta neste trabalho não faz uso do controlador PI na malha principal. Dessa forma, a resposta dinâmica é mais rápida e as saídas estarão sempre se apresentando como perfeitos senos e cossenos, absolutamente necessários como sinais de controle para o Controlador usando a Referência Síncrona.

## II. A ESTRUTURA DO PLL

A idéia central do PLL é mostrada na Figura 1.

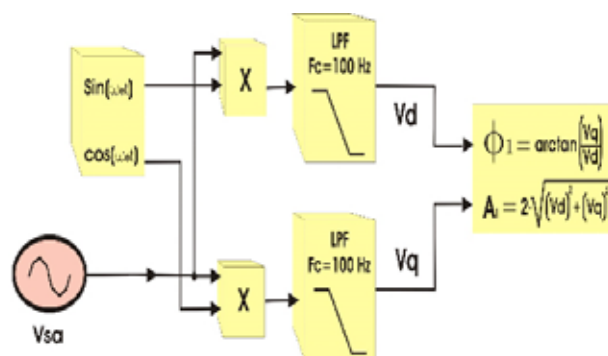


Figura 1. Estrutura Principal do MSRF-PLL.

A transformada síncrona padrão SRF utiliza a medida das três tensões de fase para gerar o sinal de sincronismo, seno e cosseno, utilizados para decompor as tensões do sistema ABC para coordenadas DQ, onde apenas a informação contida no eixo síncrono Q é utilizada para obtenção da fase e da frequência da tensão da rede.

De maneira semelhante à SRF, o MSRF\_PLL utiliza a informação do eixo síncrono Q para obter a informação de fase e frequência de maneira a sincronizar ao sinal desejado, porém sem precisar da informação de tensão das três fases. Apenas a medida de tensão da fase A é necessária.

A Figura 2 mostra o diagrama de bloco do controle em malha fechada do MSRF\_PLL.

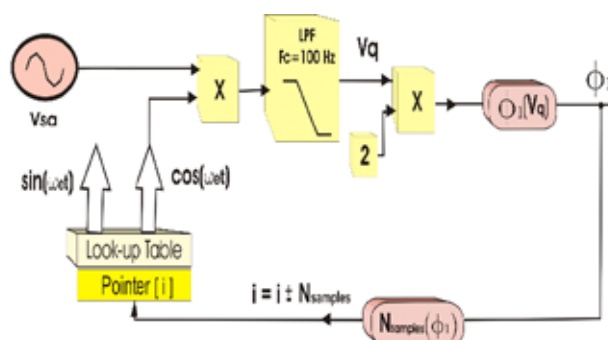


Figura 2. Controle do Laço Fechado do MSRF-PLL.

A frequência de amostragem do PLL é 40 KHz, o que resulta em 668 amostras a cada período T da frequência fundamental da rede. Isso significa que cada amostra representa 0,53 graus elétricos. Então, a diferença de fase calculada pode ser diretamente relacionada a um número específico de amostras (Nsamples).

A ação para se obter o sincronismo (phase lock) é alcançada apenas com o deslocamento do ponteiro da tabela de senos (i) por um número de amostras (Nsamples) proporcional a

(1) Bandeirante Energia S/A. - hideki@enbr.com.br  
(2), (3), (4) e (5) - FUPAI - fupai@fupai.com.br

diferença de fase  $\varnothing 1$ . Este procedimento garante o sincronismo entre o sinal  $\sin(\omega_e t)$ , gerado a partir da tabela de senos, e a tensão de entrada  $V_{sa}$ . Ressalta-se que os sinais  $\sin(\omega_e t)$  e  $\cos(\omega_e t)$ , gerados a partir da tabela, são puramente senoidais, livres de harmônicos, quando o sincronismo é obtido. O erro de fase é calculado a cada amostra, i.e., a cada  $25 \mu\text{sec}$ . O máximo erro de fase aceito é de 2 graus elétricos ou 4 amostras, adiantado ou atrasado. O tempo total de execução do algoritmo do PLL é de apenas  $4 \mu\text{sec}$ , com uso do DSP TMS320F2812.

**III. O FILTRO ATIVO PARALELO**

O diagrama do filtro ativo paralelo é mostrado na Figura 3 [5].

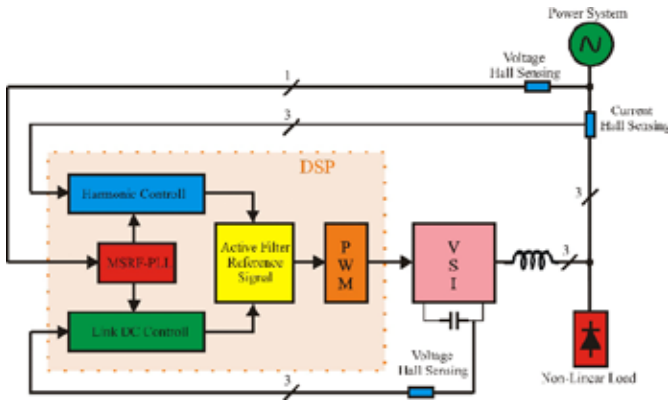


Figura 3. Diagrama em Blocos do Filtro Ativo Paralelo.

Os conceitos e o comportamento dos filtros ativos de potencia paralelos (SAPF) são extensivamente descritos na literatura bem como a eficiência da topologia.

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho do filtro ativo paralelo baseado em controladores síncronos com utilização do MSRF\_PLL. A resposta dinâmica, a estabilidade durante a variação de carga e a eficiência da compensação harmônica das correntes são extremamente dependentes da resposta do PLL.

Ao considerar que o sinal de saída do MSRF\_PLL é livre de distorções harmônicas e sua resposta transitória é aproximadamente de meio ciclo da frequência fundamental sob severas perturbações na tensão da rede, a resposta do SAPF para variações na corrente de carga deve ser tão rápida quanto à variação de carga. A ausência de controladores PI no algoritmo do MSRF\_PLL impõe a resposta dinâmica do sistema ativo próximos à do sistema de potência. A Figura 4 mostra o sinal de sincronismo para um afundamento de tensão de 0,5 pu. O sinal de sincronismo para o SAPF não é afetado pelo afundamento de tensão.

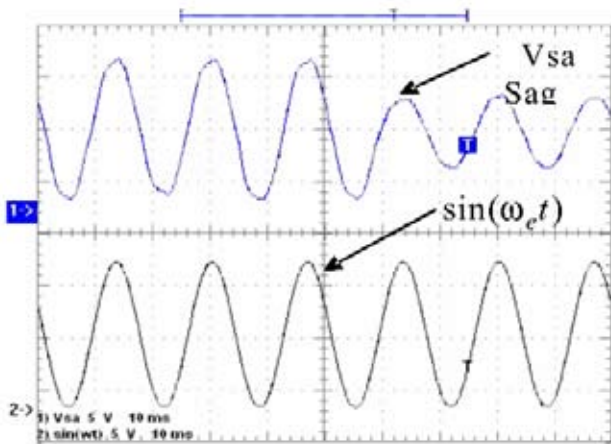


Figura 4. Resposta do MSRF-PLL para valores abaixo de 0.5pu.

Esse efeito garante que, sob variações da tensão da rede, o controle de tensão do link DC do SAPF não seja afetado. O sinal de referência para carga e regulação da tensão do link DC,

$V_{dcA}^*$ ,  $V_{dcB}^*$  e  $V_{dcC}^*$  (Figura 7) deve estar em fase com a respectiva tensão da fonte e ser livre de distorção harmônica de modo a garantir uma tensão DC constante e livre de oscilações.

A Figura 5 mostra o sinal de sincronismo, para o SAPF, sob severa distorção harmônica da tensão da rede. O sinal de saída exhibe a excelente performance do PLL.

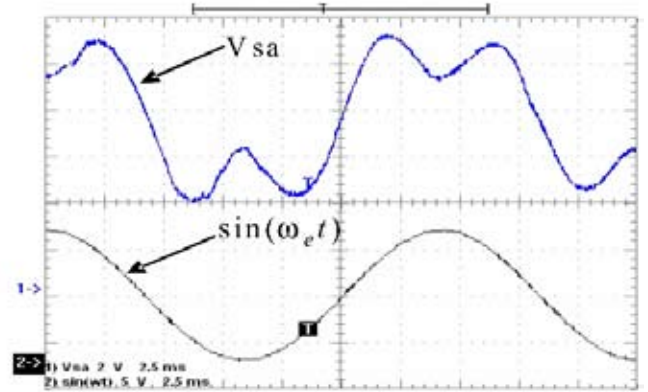


Figura 5. Comportamento do MSRF-PLL sob uma distorção de tensão

A característica não linear do SAPF, durante a carga e a regulação da tensão do link DC, função do sinal de referência senoidal, injeta corrente harmônica no sistema de potência.

A Figura 6 mostra a corrente injetada no sistema de potência quando a tensão do link DC é regulada em 500 V e o SAPF não compensa o conteúdo harmônico do sistema. O controle realimentado é desativado nessa condição.

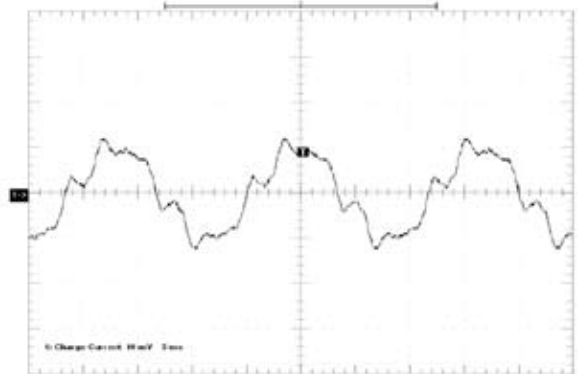


Figura 6. Corrente injetada devido ao link de regularização SAPF DC.

A corrente harmônica de referência para o SAPF é obtida via transformada síncrona sem a utilização de controladores PI, embora a corrente harmônica de compensação esteja em malha fechada. O SAPF é composto de três inversores VSI monofásicos, em ponte completa, 75 kVA cada módulo, acionados a 40 kHz. A tensão do link DC é ajustada em 500 Vdc. O indutor de alisamento utilizado para acoplar o SAPF ao sistema de potência é de 5 mH. A corrente harmônica injetada é controlada via PWM. A tensão fase-fase do sistema de potência é 220 V. A carga não-linear do sistema, retificador de 6 pulsos do tipo CSI, é de 100 kVA.

O diagrama de blocos, que representa a extração do conteúdo harmônico (SRF Controller), e o controlador da tensão do link DC são mostrados na Figura 7.

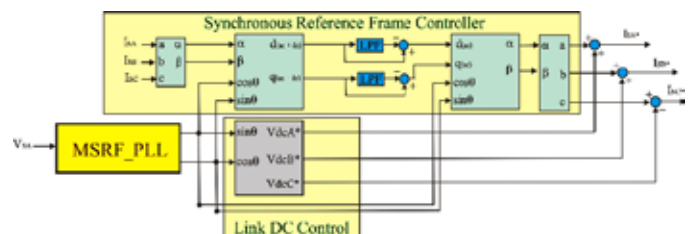


Figura 7. Diagrama em blocos do controle SAPF.



#### IV. RESULTADO EXPERIMENTAL

A Figura 8 exibe o comportamento do SAPF utilizando o MSRF\_PLL para uma corrente de carga de 30 A. A THDi da corrente da fonte muda de 29% (antes da compensação) para 3% após a compensação.

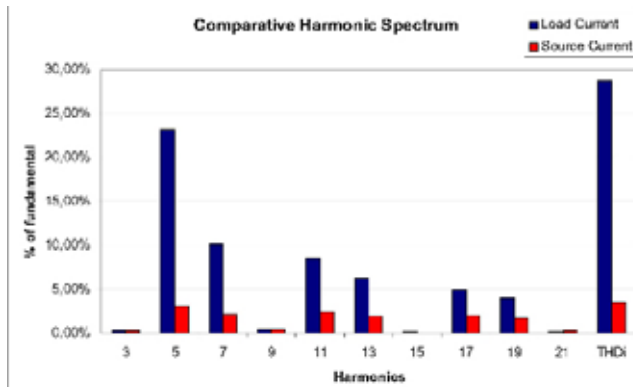


Figura 8. Comparativo do conteúdo harmônico da corrente.

O cálculo da THD é feita com o uso de 21 componentes harmônicos. A Figura 9 mostra as respectivas correntes: corrente da carga, corrente injetada pelo filtro ativo e a corrente compensada na fonte. As correntes são referentes à fase A.

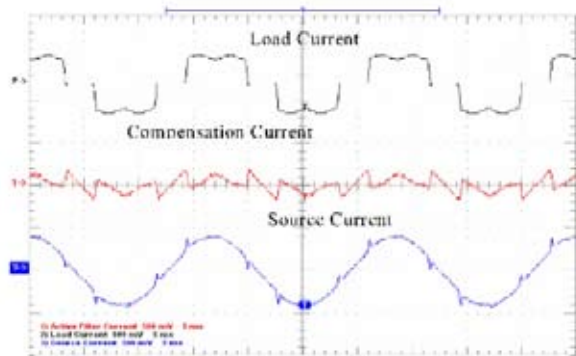


Figura 9. Correntes da fase A com SAPF based MSRF\_PLL.

#### V. CONCLUSÕES

O MSRF\_PLL aplicado ao Filtro Ativo de Potência Paralelo mostrou um comportamento extremamente robusto sob a ação de cargas constantes e com grandes variações, independente das perturbações de tensão e corrente ocorridas na rede de distribuição. A resposta dinâmica do Filtro Ativo de Potência Paralelo devido ao uso da técnica MSRF\_PLL, mesmo sob a ação de perturbações severas e não usuais, apresentou uma resposta transitória rápida e com muito pouca oscilação.

O algoritmo é também tolerante a ruídos, o que é uma característica muito importante nas aplicações onde inversores de alta frequência são usados. O Filtro Ativo de Potência Paralelo baseado na técnica MSRF\_PLL foi testado em diferentes condições operacionais e mostrou em todas elas a efetividade da estratégia e a robustez do algoritmo.

A estabilidade e capacidade de rastrear o sinal foram testadas e confirmadas sob perturbações harmônicas severas e flutuação da carga. O algoritmo pode ser facilmente implementado em um microprocessador tipo DSP e não exige nenhuma condição especial para ser aplicado.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] V. Kaura and V. Blasko, "Operation of a phase locked loop system under distorted utility conditions," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 33, No. 1, pp. 58-63, 1997.

[2] S.-K.Chung, "Phase-locked loop for grid-connected three-phase power conversion systems" IEE Proc-Electr. Power Appl., Vol. 147, No. 3, pp. 213-219, May 2000

[3] S.A. Silva e E.A.A. Coelho., "Analysis and Design of a Three-Phase PLL Structure for Utility Connected Systems under Distorted Conditions" in Proceedings of Sixty International Conference on Industrial Applications IEEE/INDUSCON - IEEE, 2004.

[4] C.H. da Silva, V.F. da Silva, L.E. Borges da Silva, G. Lambert-Torres e R.R. Pereira, "DSP Implementation of Three-Phase PLL using Modified Synchronous Reference Frame", in IEEE IECON07, Taiwan, 2007.

[5] C. H. Silva, V. F. Silva, L. E. Borges da Silva, G. Lambert-Torres e E.H. Takauti, "Optimizing the Series Active Filters under Unbalanced Conditions Acting in the Neutral Current", in Proceedings of International Conference on Industrial Electronics IEEE/ISIE, 2007.

**CELPE**

## Estudo avalia interferências eletromagnéticas em subestações

Diversos dispositivos eletroeletrônicos instalados em subestações são altamente sensíveis a descargas elétricas e a campos magnéticos, o que leva a falhas que podem resultar na interrupção indevida do fornecimento de energia e na propagação de defeitos a outras instalações, com prejuízo ao desempenho e confiabilidade do sistema e reflexo nos indicadores de qualidade das concessionárias.

Por essa razão, a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), em conjunto com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e o Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia (CEFET-BA), decidiu avaliar as interferências eletromagnéticas em equipamentos de proteção, controle e automação instalados em subestações de tensão 138-69/13,8 kilovolts (kV).

O objetivo foi investigar o comportamento dos campos elétricos e magnéticos presentes nas subestações e a sua relação com a ocorrência de atuações indevidas das proteções quando há operação de chaves e outros equipamentos, o que pode provocar desligamento completo de subestações com interrupção no fornecimento de energia. Desligamentos indevidos geram custos adicionais para a normalização da rede e danos incomensuráveis à imagem corporativa.

Após o mapeamento do ambiente eletromagnético nas subestações selecionadas, concluiu-se que é necessário evitar a instalação de equipamentos sensíveis em locais com acentuados campos elétricos e magnéticos. Observou-se, também, que a adoção de algumas medidas, como alteração do procedimento de aterramento do quadro de controle e a blindagem de cabos de conexão de equipamentos eletrônicos sensíveis, podem mitigar as interferências.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética de Pernambuco (CELPE)

**Título:** Avaliação das interferências eletromagnéticas em subestações 138-69/13,8 kV

**Ciclos:** 2004/2005 e 2005/2006

**Investimento:** R\$ 354.410,00

**Execução:** Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia (CEFET/BA)

# Avaliação das interferências eletromagnéticas em subestações 138 – 69 / 13,8 kV

Luiz H. A. de Medeiros<sup>(1)</sup>, Zanoni D. Lins<sup>(2)</sup>, Pedro Rosas<sup>(3)</sup>, Anderson Lopes<sup>(4)</sup>, Bergson de Souza<sup>(5)</sup>, Fabiano da R. Bastos<sup>(6)</sup>, German U. P. Alvarenga<sup>(7)</sup>, Cristina Silveira<sup>(8)</sup>, Alexandre D. F. dos Anjos<sup>(9)</sup>, José Mário de S. Melo<sup>(10)</sup>, Nilson G. Santos<sup>(11)</sup>, George M. da Fonseca<sup>(12)</sup>, Heldemárcio L. Ferreira<sup>(13)</sup>

**Resumo** - Este trabalho apresenta uma avaliação das interferências eletromagnéticas em subestações CELPE (138 – 69/13,8 kV) sob o ponto de vista da compatibilidade eletromagnética. Serão apresentados resultados, nas subestações, obtidos por medições de campos elétricos e magnéticos em baixa frequência e medições de transitórios eletromagnéticos provenientes de chaveamentos operacionais realizados, e também um estudo de acoplamentos radiados devido aos chaveamentos.

**Palavras-chave:** Compatibilidade Eletromagnética, Medições de Campos Elétricos e Magnéticos em Baixa Frequência, Medições de Transitórios Eletromagnéticos.

## I. INTRODUÇÃO

A Compatibilidade Eletromagnética (CEM) é uma área relativamente recente da engenharia elétrica e tem merecido a cada dia uma maior atenção dos diversos setores eletroeletrônicos, em função da crescente densidade dos campos eletromagnéticos presentes na vida cotidiana da sociedade moderna.

Diversos dispositivos eletroeletrônicos instalados nas plantas das subestações constituem-se de equipamentos altamente sensíveis e vulneráveis às solicitações elétricas e magnéticas do processo elétrico, seja em condição de regime permanente, seja em condições transitórias.

Transitórios de correntes e campos eletromagnéticos de amplitudes significativas e frequências elevadas podem surgir quando chaveamentos de alta tensão são realizados [1], [2]. Os principais ruídos eletromagnéticos presentes em uma subestação se propagam pelos cabos de alimentação e controle, entretanto, estudos recentes revelam que as Interferências Eletromagnéticas (IEM) radiadas tendem a se tornar importantes à medida que novos sistemas de automação distribuída são introduzidos nas subestações.

Falhas nos equipamentos eletrônicos sensíveis de uma subestação podem causar interrupções no fornecimento de energia e ainda provocar falhas em outras instalações [3], [4]. Estas falhas comprometem o desempenho e a confiabilidade do sistema, o que reflete diretamente nos indicadores de qualidade de energia das empresas concessionárias.

Diante deste problema, é necessário desenvolver estudos para investigar o comportamento dos campos elétricos e magnéticos presentes em subestações. Este estudo se inicia no processo de avaliação dos acoplamentos eletromagnéticos e de seus efeitos sobre a instalação e sobre os equipamentos eletrônicos sensíveis (EES).

Há relatos sobre subestações da CELPE com ocorrência de atuações indevidas das proteções quando da simples operação de chaves sem carga. Essas atuações indevidas têm ocasionado o completo desligamento de subestações que acometem aproximadamente cem mil pessoas sem energia. As medições foram realizadas em subestações de 138/69/13,8kV e em subestações de 69/13,8kV e, as principais ocorrências estão presentes no nível 69kV.

Os custos associados ao religamento, assim como à imagem corporativa, têm sido importantes no novo ambiente regulatório do setor elétrico, o que torna inconcebíveis essas operações indevidas. Nessa perspectiva, esse artigo apresenta o estudo do fenômeno de incompatibilidade eletromagnética em subestações de 138/69/13,8 kV com as investigações de suas causas e recomendações.

Neste trabalho é apresentado um mapeamento dos campos elétricos e magnéticos em subestações do sistema de distribuição com particular ênfase nas áreas com tensões em 69 kV. O mapeamento tem por objetivo definir a área de influência e a localização dos equipamentos eletrônicos sensíveis no pátio das subestações sob o aspecto da IEM. Também são apresentados registros de transitórios eletromagnéticos nos

terminais dos equipamentos de proteção e controle nos pátios de subestações em 69 kV relacionados com aberturas de chaves seccionadoras sem carga. Os transitórios presentes nos terminais dos equipamentos se configuram como interferências eletromagnéticas conduzidas e radiadas que tem ocasionado a falha em equipamentos.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa foi desenvolvida ao longo do projeto e consiste de mapeamento do ambiente eletromagnético e posteriormente medições de transitórios nas subestações escolhidas. A metodologia foi aplicada a três subestações do sistema de distribuição da CELPE (Companhia Energética de Pernambuco). Apesar da medição nas três subestações: Arcoverde, Boa Vista (ambas 69/13,8 kV) e Cabrobó (138/69/13,8 kV), somente em Arcoverde foi encontrada uma situação crítica de amplitude dos transitórios eletromagnéticos nos circuitos de controle e automação sendo assim, essa é apresentada em detalhe.

## III. MAPEAMENTO ELETROMAGNÉTICO

O mapeamento do ambiente eletromagnético pode ser caracterizado pela localização dos níveis dos campos elétricos e da indução magnética presentes no pátio de manobra. Para tal foram realizadas medições in loco das duas grandezas (campo elétrico e indução magnética). As medições foram realizadas em regime permanente de maneira a identificar e classificar o ambiente eletromagnético da subestação [5].

A partir deste mapeamento é possível definir aspectos de conexão dos dispositivos à malha de terra, e aspectos relativos à segurança dos sistemas e dos operadores, que possibilitem o estabelecimento de critérios e de procedimentos para promover a CEM nas instalações do sistema elétrico de potência.

As medições dos campos elétricos e magnéticos foram realizadas com equipamento de medição de campos da Narda Safety Test Solutions, modelo EFA 300 (na faixa de frequência de 5 Hz a 32 kHz considerando valores isotrópicos de campos). O equipamento consiste em duas unidades: uma de indução magnética e outra de campo elétrico. As medições foram realizadas na altura de 1 metro do solo, seguindo as alturas médias dos quadros de sistemas de proteção controle e automação instalados nas subestações.

Na Figura 1 é apresentado o mapa do campo elétrico registrado na subestação Arcoverde com reticulado de 1mX 1m. As medições foram realizadas no pátio de 69 kV.

(1) UFPE - lhm@ufpe.br

(2) UFPE - zdl@ufpe.br

(3) UFPE - prosas@ufpe.br

(4) UFPE - aalopes22@yahoo.com.br

(5) UFPE - bergson\_jose@hotmail.com

(6) UFPE - fabiano.bastos@ufpe.br

(7) UFPE - ulisesalvarenga@yahoo.com.br

(8) CEFET - caabreu@gmail.com

(9) UFPE - dantaspe@hotmail.com

(10) CELPE - ngsantos@celpe.com.br

(11) CELPE - jmarios@celpe.com.br

(12) CELPE - heldemarcio@celpe.com.br

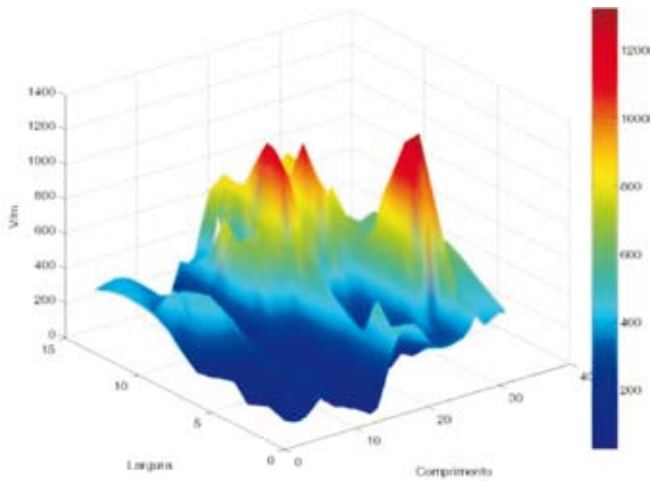


Figura 1. Níveis de campo elétrico na SE Arcoverde.

Na Figura 1, a barra graduada à direita indica o valor de campo elétrico associado à respectiva tonalidade de cor do gráfico. As medições indicaram que os campos elétricos mais intensos foram registrados nas proximidades dos três disjuntores e transformadores de corrente. Relaciona-se este fato à maior proximidade dos condutores em relação ao solo, ressalta-se que as medições são realizadas nos níveis dos quadros ao longo do pátio da SE.

Na Figura 2 é apresentado o mapeamento da indução magnética registrado na SE Arcoverde, no pátio de 69 kV com reticulado de 1 m x 1 m.

Na Figura 2, os números 1, 2 e 3 indicam os disjuntores das saídas de linha. O número 4 indica a localização do quadro de controle, automação e proteção deste lado do pátio de 69 kV. O número 5 indica a posição do transformador de potencial.

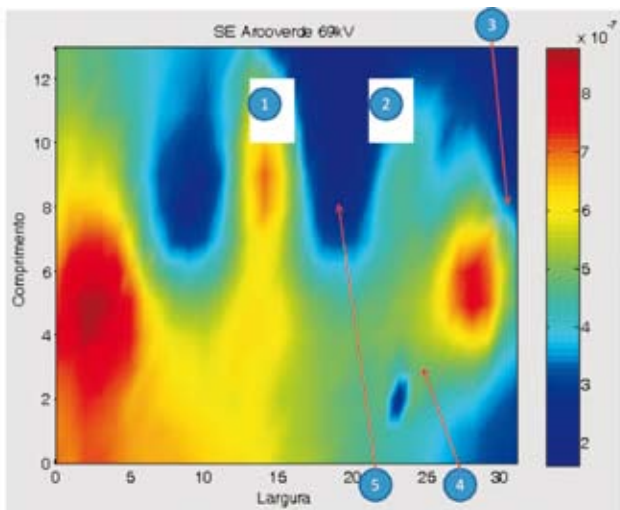


Figura 2 - Indução Magnética da SE Arcoverde no pátio 69 kV com a localização dos principais equipamentos investigados.

#### IV. MEDIÇÕES DOS TRANSITÓRIOS RÁPIDOS

Acompanhando a metodologia, nas subestações também foram registradas os transitórios elétricos resultantes de manobras em chaves seccionadoras, em disjuntores e em religadores nos circuito de baixa tensão de alimentação do sistema de proteção, controle e automação das subestações.

As medições validaram os indicativos de acoplamentos eletromagnéticos, conforme registrado pelos níveis de transitórios transferidos ao circuito de proteção e controle da subestação.

Foi verificado que somente as manobras de chaves seccionadoras relacionadas com os transformadores de corrente resultaram em transitórios expressivos. Isso se deve, em grande parte, à relação entre os transitórios e as correntes provenientes dos arcos elétricos, que no caso de disjuntores são atenuados por meio de circuitos de extinção de arco.

Os registros apresentaram dois fenômenos temporais diferentes. O primeiro é relacionado com longos períodos de tempo, e é caracterizado por inúmeras repetições de picos transitórios chamados de macrobursts conforme definições apresentadas em [2], o tempo associado a esse fenômeno é de aproximadamente de 30 ms para manobras de abertura e 15 ms para manobras de fechamento. A segunda escala de tempo avaliada é chamada de micropulses conforme definições apresentadas em [2]. Os tempos relacionados com esses fenômenos são de 10  $\mu$ s.

Os macrobursts se apresentam como uma série de repetições de transitórios que podem ter amplitude crescente ou decrescente, de acordo com a manobra realizada.

Nas manobras de abertura da chave seccionadora, os transitórios tendem a aumentar com o tempo, conforme pode ser verificado na Figura 3. Nesta referida figura é apresentada a tensão CA presente no quadro de alimentação dos relés de proteção e do sistema de automação a partir dos TP.

Os micropulses se caracterizam por transitórios de alta frequência ocasionados pela interação entre a os acoplamentos indutivos e capacitivos no pátio de 69 kV. Encontram-se frequências da ordem de 1 MHz nas medições realizadas.

Os resultados das medições realizadas em abertura e fechamento dos micropulses são similares. A Figura 4 apresenta as tensões CA provenientes dos TPs nos terminais do sistema de automação e controle durante as manobras de abertura e fechamento da chave seccionadora respectivamente.

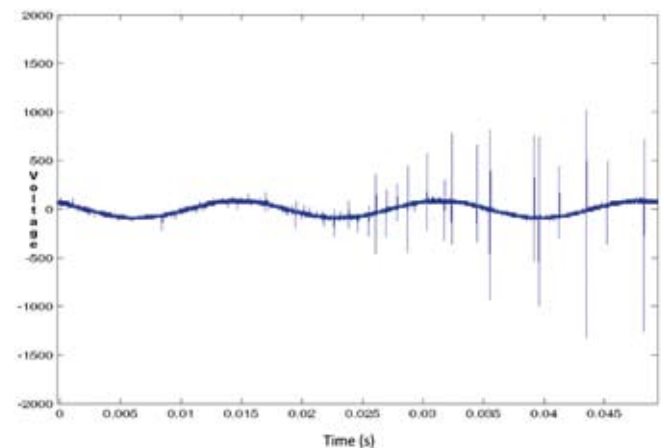


Figura 3. Transitório de tensão AC registrada nos secundários dos TPs na caixa de automação e proteção no pátio de 69 kV após abertura da chave.

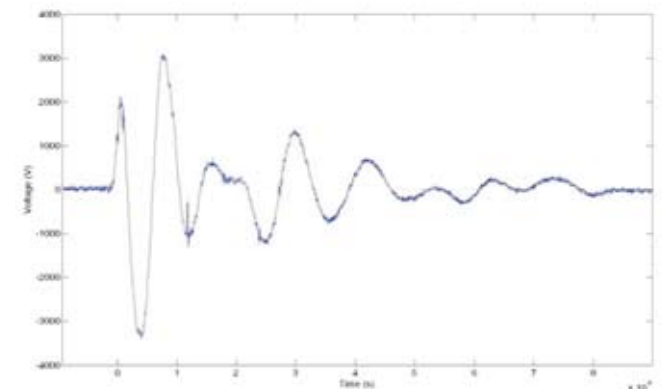


Figura 4. Tensão transitória registrada durante a manobra da chave seccionadora em abertura.

A partir dos registros, verifica-se que os níveis de tensão atingidos nos terminais dos dispositivos de controle no pátio da subestação podem facilmente atingir 20 vezes o valor nominal. Foram registrados valores de 7 kV pico a pico em equipamentos com tensão nominal de 115 Vca-rms.

## V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma contribuição na avaliação dos ambientes em subestações de 138/69/13,8 kV com relação às Interferências Eletromagnéticas em dispositivos de proteção, controle e automação instalados nos pátios das subestações. A partir dos estudos, várias conclusões podem ser obtidas, em particular com relação ao cruzamento das informações obtidas do mapeamento dos campos elétricos e magnéticos e das medições dos transitórios rápidos.

Uma das primeiras conclusões indica que na SE Arcoverde, apesar de os níveis dos campos elétricos e magnéticos em regime permanente estarem compatíveis com as topologias, níveis de tensão e corrente das subestações analisadas, existem acoplamentos elétricos e magnéticos entre os circuitos de média e baixa tensão que amplificam os transitórios eletromagnéticos.

Adicionalmente, a localização do quadro elétrico com os dispositivos de proteção, controle e automação no pátio de 69 kV encontra-se sobre forte influência de campos elétricos e magnéticos. Essa mesma constatação foi encontrada em outras subestações.

Nas medições dos transitórios de alta frequência (durante as manobras), as elevadas amplitudes de campos podem justificar o aparecimento de acoplamentos radiados significativos que resultam nos elevados transitórios registrados. Adicionalmente, foram realizadas medições em diferentes chaves seccionadoras e os transitórios com amplitudes significativas são aqueles relacionados com as chaves de manobra com maior intensidade de campos elétricos e magnéticos. Os mesmos foram apresentados nesse artigo.

Uma análise criteriosa dos resultados indica que os procedimentos de localização dos dispositivos de maior sensibilidade elétrica, ou seja, os dispositivos mais propensos a fenômenos de incompatibilidade eletromagnética, deve ser feita evitando-se os locais com fortes campos elétricos e magnéticos.

Recomenda-se, dessa maneira, evitar a localização dos quadros de equipamentos de proteção, controle e automação digitais em locais com acentuados campos elétricos e magnéticos, o que evita transferência de fenômenos transitórios por meio de acoplamento radiado.

A adoção de medidas de mitigação, tais como alteração no procedimento de aterramento do quadro de controle e ligação da blindagem dos cabos de controle e alimentação dos relés, possibilitou uma significativa redução dos níveis de tensão resultantes dos chaveamentos na SE Arcoverde.

Dessa maneira, recomenda-se a blindagem dos cabos de conexão dos equipamentos eletrônicos sensíveis e um estudo criterioso do sistema e dos procedimentos de aterramento em subestações com consideração as altas frequências envolvidas durante os chaveamentos.

Os transitórios conduzidos também podem ser incluídos no conjunto de responsáveis pelas IEM ocorridas. Esses podem ser resolvidos por filtros, porém, se o dispositivo se encontra na área de influência dos campos elétricos e magnéticos radiados, uma especificação mais criteriosa dos filtros precisa ser realizada.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. E. Thomas, C. M. Wiggins, F. S. Nickel, C. D. Ko, Prediction of electromagnetic field and current transients in power transmission and distribution systems, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 4. No. 1, January 1989.
- [2] C. M. Wiggins, F. S. Nickel, A. J. Haney, S. E. Wright, Measurement of switching transients in a 115 kV substation, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 4. N.1, Jan 1989.
- [3] C. M. Wiggins, S. E. Wright, Switching transient fields in substations, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 6. No. 2, April 1991.
- [4] C. M. Wiggins, D. E. Thomas, F. S. Nickel, S. E. Wright, Transient electromagnetic interference in substations, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 9. No. 4, October 1994.
- [5] Silveira, C. A.; Fonseca, G. M.; Costa, Caiuby Alves da; de Aquino, B. R. R.; de Medeiros, L. H. A. Analyzing Low Frequency Couplings In Substations Under Steady-State Conditions - Part I. IN: 2004 IEEE/PES, Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2004, São Paulo - Brasil. Proceedings, 2004. V. 1. p. 737-742.



# AMPLA

## Equipamento faz inspeção de medidores com precisão e rapidez

Uma maleta desenvolvida pela AMPLA Energia e Serviços S/A se constitui em uma solução simples e eficaz contra perdas técnicas de energia causadas por medidores em pane ou por fraudes cometidas por consumidores.

Em vez de usar lâmpadas como carga e o relógio do funcionário da distribuidora como cronômetro, método bem menos confiável, a Maleta de Inspeção em uso pela AMPLA garante mais precisão ao trabalho.

Portátil, fácil de manusear e com baixo custo, o equipamento é capaz de fazer leituras de energia ativa e reativa em inspeções de medidores de baixa tensão instalados em residências e em pequenos comércios e indústrias.

Outra vantagem do novo equipamento é a inclusão de uma placa de Global Position System (GPS). Essa característica evita fraudes durante a inspeção, pois a localização exata do aparelho, bem como a hora da fiscalização, são captados pelo GPS e incluídos nos resultados do trabalho.

O sucesso do projeto levou a empresa a programar a fabricação de um lote piloto para equipar todas as equipes de inspeção da companhia. Atualmente, cinco maletas têm sido utilizadas, com boa aceitação.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Ampla Energia e Serviços S/A

**Título:** Desenvolvimento de Maleta de inspeção para Medidores de Energia Elétrica

**Ciclo:** 2005/2006

**Investimento:** R\$ 303.005,00

**Execução:** Universidade Católica de Petrópolis

# Maleta de Inspeção para Medidores de Energia Elétrica

Paulo C. L. Leite<sup>(1)</sup>, Gisele A. S. Nogueira<sup>(2)</sup>, David Targueta<sup>(3)</sup>, Marcello A. Patrizzi<sup>(4)</sup>

**Resumo** - Este trabalho apresenta o projeto, a implementação e os ensaios preliminares de uma Maleta de Inspeção (MI) para medidores de energia elétrica de baixa tensão normalmente utilizados em consumidores residenciais e pequenos comércios e indústrias. A partir de especificações de projeto elaboradas em conjunto com os técnicos da AMPLA, foi projetado um equipamento microprocessado cuja arquitetura de hardware e software possibilita a inspeção dos medidores de energia elétrica "in loco", de forma rápida, precisa e confiável. O comportamento dos circuitos desenvolvidos foi analisado por diversos ensaios de linearidade, correteude e estabilidade. Por fim, o desempenho funcional da Maleta de Inspeção foi avaliado por uma série de ensaios de campo realizados em conjunto com os técnicos da AMPLA.

**Palavras-chave:** Inspeção de medidores de energia elétrica, Medidores de Energia e Perdas comerciais.

## I. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios enfrentados pelas concessionárias de energia elétrica é a identificação dos consumidores que causam perdas comerciais. Dentre as diversas formas de perdas, duas delas envolvem os medidores de energia elétrica: falhas mecânicas ou elétricas, devido ao desgaste, e alterações intencionais provocadas pelos consumidores. Uma das soluções encontradas é inspecionar os medidores dos consumidores por medições e conferir a aferição dos mesmos.

Atualmente, a inspeção dos medidores de energia no próprio local de instalação é feita de forma tecnicamente precária, devido à indisponibilidade de equipamentos específicos para este fim. Normalmente, utilizam-se lâmpadas como carga e o relógio do funcionário como cronômetro para cálculo da energia real a ser comparada com a energia apresentada pelo medidor em inspeção. Esse processo acarreta alto grau de imprecisão nos valores medidos, degradação da imagem da empresa e baixo grau de confiabilidade perante o consumidor.

Os equipamentos de calibração disponíveis no mercado possuem nível de precisão superior ao necessário, preços elevados, características de laboratório e, portanto, se mostram inadequados aos serviços no campo. [1]

O objetivo deste trabalho é apresentar uma Maleta de Inspeção (MI) portátil, de baixo custo, de fácil manuseio, capaz de realizar leituras de energia ativa e reativa de inspeções em medidores residenciais e pequenos comércios e indústrias de forma mais confiável e precisa que os procedimentos atuais. Seu custo será bastante reduzido comparado às maletas de calibração existentes no mercado, o que viabiliza forma o seu uso.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Especificação

#### 1) Características Físicas e Ambientais

A MI permite o transporte a distâncias de até 400m. Seu peso está adequado aos padrões do Ministério do Trabalho e Emprego. A MI é à prova de poeira e água, com grau de proteção IP65, e dispositivos que garantam a estanqueidade necessária. A umidade e a temperatura de operação se situam em uma faixa de valores tipicamente de 10 a 40 graus Celsius e até 100% de umidade sem condensação.

#### 2) Características Técnicas

A Maleta de Inspeção pode ser utilizada em medidores monofásicos, bifásicos ou trifásicos, pois a inspeção é feita por fase e atende a medidores eletromecânicos e eletrônicos. [3]

Pode ser utilizada em medidores de clientes residenciais, comerciais e pequenas industriais.

O circuito de medição de energia é monofásico e tem uma precisão melhor que 5%. A corrente que circula no circuito de medição é ajustada para 1,5A, 5A ou 15 A.

O tempo estimado de inspeção para cada fase é de 90 segundos.

#### 3) Dados Gerados

A cada inspeção realizada, a MI fornece os seguintes dados: nº do cliente, dados do medidor, nº do inspetor, nº do

gestor, nº da MI, nº da inspeção, data e hora, latitude e longitude (coletada pelo GPS), energia medida pela MI, energia medida pelo medidor, resultado da inspeção, tensão de ensaio, corrente de ensaio, tempo de duração.

#### 4) Resultados da Inspeção

O objetivo da inspeção não é verificar a calibração de medidores e sim identificar medidores em pane ou que tenham sido intencionalmente alterados pelos consumidores. Dessa forma, o medidor é aprovado sempre que o erro do medidor estiver dentro da faixa estabelecida pela empresa.

## B. Arquitetura de Hardware

A Figura 1 apresenta a arquitetura da MI: microprocessador e periféricos, cargas, circuitos de medição de potência e medição de pulsos e GPS.

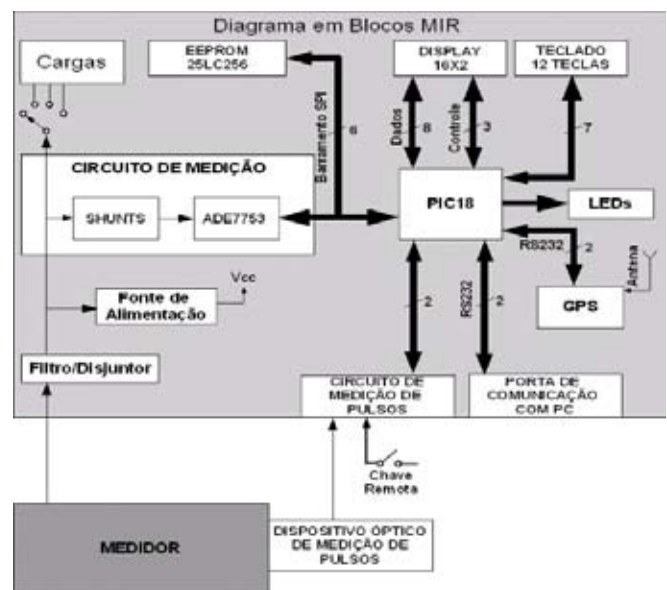


Figura 1. Diagrama de blocos da Arquitetura da MI.

#### 1) Microprocessador e Periféricos

Para gerenciamento do funcionamento da MI é usado um microcontrolador da família PIC-18, tendo como periféricos um display LCD, um teclado de membrana de 12 teclas, LED's de sinalização e uma memória serial não volátil capaz de armazenar dados de até 40 inspeções.

#### 2) Cargas

Foi utilizada carga fantasma no intuito de conciliar alta potência com baixo aquecimento da MI durante as inspeções. A máxima potência dissipada em forma de calor durante uma inspeção é de aproximadamente 10W.

(1) Universidade Católica de Petrópolis - paulo.leite@ucp.br  
 (2) Universidade Católica de Petrópolis - gisele.nogueira@ucp.br  
 (3) AMPLA - targueta@ampla.com  
 (4) AMPLA - mpatrizzi@ampla.com

### 3) Circuito de Medição de Potência/Energia

O circuito de medição de energia indica a tensão RMS, a corrente RMS, a potência ativa, a potência aparente, potência reativa e fator de potência. [2] [4] [5]

### 4) Circuito de Medição de Pulsos

Foram desenvolvidos três circuitos para a MI:

- sensor óptico passivo para medidores eletrônicos,
- sensor óptico ativo para medidores eletromecânicos,
- chave manual tipo “pera” onde for difícil a utilização dos sensores ópticos.

### 5) GPS – Sistema de Posicionamento Global

Uma pequena placa de GPS com comunicação serial foi incluída na MI no intuito de evitar fraudes nas inspeções. Ou seja, a latitude, a longitude e a hora recebidas do GPS são armazenados junto com o resultado da inspeção.

## C. Descrição básica de funcionamento

O funcionamento da MI é baseado em menus e submenus. A Figura 2 apresenta o fluxograma do menu principal.

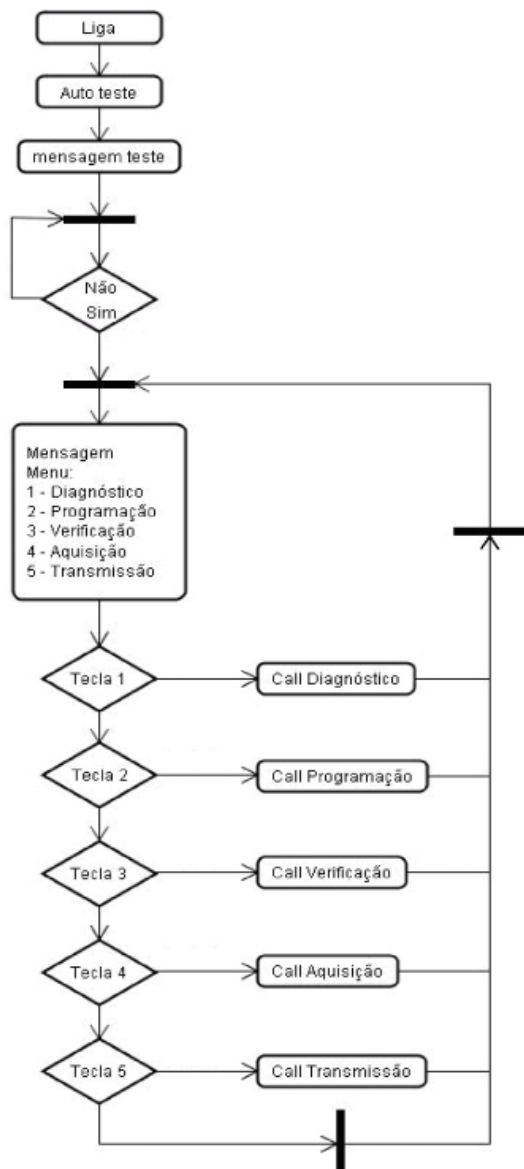


Figura 2. Fluxograma

#### 1) Diagnósticos

O submenu Diagnósticos foi implementado de forma a simplificar a manutenção preventiva e/ou corretiva da MI. Assim, é possível verificar, por testes, o funcionamento das seguintes partes: memória, display, LEDs, teclado, comunicação, cargas, circuitos de medição e GPS.

#### 2) Programação

O submenu “programação” permite ao operador a entrada de parâmetros de inspeção na própria MI. São eles: o número de fases do medidor, o valor da constante Kd, a corrente nominal e o tipo (eletromecânico ou eletrônico). A MI pode também receber programações de computadores via USB.

#### 3) Verificação

A opção “verificação” permite ao operador averiguar o funcionamento da maleta já instalada no medidor. Com isso, é possível observar o disparo de pulsos, ligar o GPS, e verificar tensão e corrente e ajustar corrente de carga mínima.

Durante a aquisição dos dados, a MI apresenta no display as informações solicitadas. Ao final da inspeção, a MI executa os seguintes eventos: alarme sonoro de fim de inspeção e, no display, apresentação do resultado da inspeção, desconexão da carga, gravação dos dados na memória, confirmação de corrente final zero para desconexão da fiação.

#### 5) Transmissão

O submenu “transmissão” permite que a MI comunique-se com computadores remotos, via conexão USB, de forma a receber inspeções pré-programadas e dados de inspeções realizadas.

## D. Ensaios

Os ensaios [6] foram realizados no laboratório da UCP com uso de um medidor de energia eletromecânico, disponibilizado pela Ampla. Os ensaios funcionais realizados em inspeções reais demonstraram a viabilidade do produto, que apresentou grandes vantagens.

#### 1) Ensaios de linearidade

Foram realizados variando apenas uma variável a cada vez.

	Tensão entre 80 e 140 Vca / 15A	Corrente entre 1,5A e 15A /127Vca
Erro máximo	2,89%	1,10%
Erro médio	2,11%	0,29%
Desvio padrão	0,66	0,83

#### 2) Ensaios de repetibilidade:

Os ensaios de repetibilidade foram realizados durante 8 dias com medições de 12 em 12 horas.

Variáveis	Erro máximo	Erro médio	Desvio padrão
Tensão 127Vca	2,28%	1,47%	0,73
Corrente 5A	0,63%	0,29%	0,24
Corrente 1,5A	1,38%	0,41%	0,90
Energia	2,11%	0,92%	1,12

#### 3) Ensaios de estabilidade com a temperatura

Foram realizados variando-se a temperatura ambiente com o auxílio de uma estufa de temperatura controlada.

Temperatura Ambiente	Erro Max. Tensão	Erro Max. corrente	Erro Max. energia
31° C	2,09%	1,13%	0,47%
37° C	2,17%	1,36%	2,12%
45° C	3,27%	1,77%	2,34%
60° C	4,33%	2,76%	3,72%



## E. Benefícios

Dentre os diversos benefícios sobre o procedimento atualmente utilizado, destacam-se: registro automático de inspeção (o que evita a possibilidade de fraudes) com dados de entrada (tensão, corrente nominal, etc) e saída (energia, tensão, corrente, tempo de inspeção, etc.); posicionamento geográfico e diagnóstico do medidor; maior confiabilidade da inspeção e maior precisão em relação ao método anterior. **F. Implementação**

A figura 3 a seguir mostra o protótipo da Maleta de Inspeção.



Figura 3 – Protótipo da Maleta de Inspeção

## III. CONCLUSÕES

A Maleta para Inspeção desenvolvida é um equipamento de inspeção portátil, preciso, de fácil manuseio e custo reduzido. Os resultados dos ensaios de laboratório mostraram que a qualidade das medições está compatível com inspeção. Atualmente, cinco maletas estão em uso pelas equipes de inspeção da Ampla com boa aceitação. A utilização de lâmpadas como método de inspeção é precária, além de gerar reclamações e desconfiança por parte dos clientes e não condiz com o atual estágio de inovação tecnológica. Então, a MI agrega mais do que uma funcionalidade técnica, mas também a melhoria de imagem e o aumento na confiança dos clientes no que se refere às inspeções em seus medidores. Está prevista a fabricação de um lote piloto de MI para equipar todas as equipes de inspeção da companhia com uma ferramenta eficiente no combate as perdas comerciais.

## IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rossi, R.; Jardim, J. A. Medição de Energia Elétrica, Estado da Arte Nota Técnica CED153/SUPC A01/ RL 002/ OR, São Paulo, CESP-CPFL-ELETROPAULO-EPUSP-IEE/USP, Janeiro, 1995.
- [2] Djokic, B. et AL. New Method for Reactive Power and Energy Measurement. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 41, n.2, p. 280-285, April 1992.
- [3] NBR6997 Medidor-padrão de energia elétrica monofásico, 11/1981.
- [4] NBR8377 Medidor de energia ativa, 10/1995.
- [5] NBR8372 EB1478 Medidor de energia reativa, 01/1984.
- [6] NBR8374 Medidor de energia reativa – Ensaios, 01/1984.



# CELPA

## Ferramenta de gestão permite simulação de demanda por energia

A capacidade de prever a carga é fundamental para o planejamento e operação dos sistemas elétricos. Com essa informação, as distribuidoras podem estimar satisfatoriamente a compra de energia baseada na demanda futura e nos preços dos fornecedores e, assim, conseguir economizar recursos com a redução da diferença entre a energia comprada e a consumida.

Com esse objetivo, a CELPA, em conjunto com pesquisadores da Universidade Federal do Pará (UFPA), desenvolveu uma ferramenta de suporte à decisão que usa métodos matemáticos e de inteligência computacional para estimar o mercado.

O Sistema de Suporte à Decisão para Estimação de Cargas e Modelagem de Dependência em Sistemas Elétricos (Predict) permite também antecipar a tomada de decisões por meio da exploração de cenários projetados por meio de redes bayesianas, que são modelos gráficos de dependência probabilística.

O Predict aborda a simulação do consumo por meio de regressão e faz sua correlação e análise de dependências. Assim é possível simular a situação do setor elétrico a partir de dados históricos de consumo e sua relação com outras variáveis como temperatura, umidade e até mesmo aspectos socioeconômicos, com dados sobre arrecadação do Governo e geração de empregos. Além da CELPA, outras empresas do Grupo Rede, como a CELTINS, a CEMAT e a Rede Sul, têm usado o Predict.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Centrais Elétricas do Pará S/A (CELPA)

**Título:** PREDICT - Ferramenta de Suporte à Decisão para Estimação de Cargas de Sistemas Elétricos

**Ciclos:** 2003/2004 e 2004/2005

**Investimento:** R\$ 391.246,89

**Execução:** Universidade Federal do Pará (UFPA) e ELUCID Partners S.A

# Predict - Sistema de Suporte à Decisão para Estimação de Cargas e Modelagem de Dependência em Sistemas Elétricos

Liviane P. Rego<sup>(1)</sup>, Ádamo L. de Santana<sup>(2)</sup>, Guilherme Conde<sup>(3)</sup>, Carlos Renato L. Francês<sup>(4)</sup>, Pedro Vitor M. Araújo<sup>(5)</sup>, João Gabriel R. de O. Lima<sup>(6)</sup>, Cláudio Rocha<sup>(7)</sup>, Armando A. A. Tupiassú<sup>(8)</sup>, José Marcelo A. Vale<sup>(9)</sup>, Pedro Pinto<sup>(10)</sup> e Vanja Gato<sup>(11)</sup>

**Resumo** – A capacidade de planejamento da compra e venda de energia elétrica para o futuro é um dos pontos almeçados pelas concessionárias de energia elétrica. A predição do consumo, além de estar relacionada a fatores intrínsecos do sistema elétrico, é influenciada por aspectos socioeconômicos e climáticos, o que torna fundamental para as concessionárias projetar e correlacionar os parâmetros supracitados. Este artigo apresenta os métodos implementados no Predict, sistema para predição de cargas elétricas baseado em métodos de séries temporais e para correlacionar grandezas utilizando redes bayesianas.

**Palavras-chave:** Correlação, predição de carga, séries temporais, sistemas elétricos e redes bayesianas.

## I. INTRODUÇÃO

A previsão de carga (em MW) é uma estratégia primordial dos sistemas elétricos e é baseada nessa informação que se planejam e operam esses sistemas de forma confiável e segura [1], [2]. Tipicamente, em previsão de carga, pretende-se definir qual o consumo de energia futura de uma dada região de modo, por exemplo, a projetar ou adequar o sistema elétrico para atender esses consumidores quando essas demandas se concretizarem no futuro. Além disso, ao utilizar as prospecções propostas neste trabalho, as concessionárias de energia elétrica podem estimar de maneira satisfatória a compra de energia baseada na demanda futura e nas relações de preços apresentados pelos fornecedores do Brasil, o que pode levar a uma economia financeira substancial em função da diminuição da diferença entre a quantidade de energia comprada e consumida.

O trabalho aqui apresentado descreve um sistema de suporte à decisão chamado Predict, em uso pela concessionária Celpa, bem como pelas outras concessionárias do Grupo Rede (CELINS, CEMAT e Rede Sul). O Predict utiliza métodos matemáticos e de inteligência computacional para prever as necessidades de compra de energia no futuro e para realizar inferências sobre a situação do sistema elétrico, a partir de dados históricos de consumo e suas correlações com outras variáveis exógenas aos sistemas elétricos (e.g. temperatura, umidade e até mesmo sócio-econômicas, como arrecadação, variação do número de empregos gerados em determinados setores da economia, entre outros), o que pode contribuir também para a tomada de ações de maneira antecipada, baseada na exploração dos cenários que as redes bayesianas podem projetar.

O Predict se baseia em duas abordagens: (a) Predição de consumo por meio de regressão; (b) Correlação e análise de dependências, por meio de redes bayesianas [3].

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na seção II são descritas as técnicas implementadas no Predict, sendo que em sua subseção A é demonstrada a abordagem que utiliza métodos de regressão para predição de carga e em sua subseção B são apresentadas as redes bayesianas geradas para modelar as correlações entre consumo de energia e condições climáticas e sócio-econômicas do estado do Pará. Na seção III estão as conclusões a respeito das técnicas realizadas.

## II. MÉTODOS IMPLEMENTADOS

### A. Modelo de séries temporais e regressão para a predição de carga

O estudo realizado se valeu do histórico de dados disponíveis de energia requerida no período de janeiro de 1991 a dezembro de 2006. Como discutido em trabalhos anteriores [4], a série do consumo é tendenciosa e não-estacionária. A série ainda, ao estudar seus correlogramas, não atinge estacionariedade em sucessivas diferenciações. Assim, utilizou-se uma nova abordagem, seccionando a série única de dados, antes mensal, em doze séries anuais, correspondentes aos meses de

janeiro a dezembro. No entanto, ao se trabalhar com cada mês individualmente, é factível a perda de conhecimentos decorrentes de eventos ou situações exógenas ao comportamento padrão do sistema.

O estimador estabelecido para realizar a predição dos valores futuros de energia se utiliza da análise de regressão múltipla ([5]-[7]), baseada na análise do valor do consumo obtido previamente e de dois termos adicionais: uma variável quantificando a tendência anual obtida por uma análise fatorial e uma variável para contenção do impacto exercido por anomalias existentes (de Jun/01 a Fev/02, caracterizado pela ocorrência da medida de racionamento de energia nacional [8]).

Nos testes efetuados, foram utilizados apenas os valores referentes ao intervalo de 1991 até o final de 2004 para realizar, com base neles, uma estimação dos seus valores para o ano de 2005 e 2006 (Figura 1).

O resultado obtido pela estimação apresentou um erro de aproximadamente 1,76%, valor considerado aceitável e inferior aos obtidos pelos métodos estatísticos utilizados pela concessionária de energia elétrica, as quais giram em torno 4,1%.

De modo a caracterizar um estudo comparativo com os métodos de regressão, foi também realizada uma predição utilizando redes neurais [9]. A rede neural usada neste estudo foi a feed-forward multicamada com 2 camadas ocultas (8 neurônios na primeira camada e 6 na segunda). O algoritmo de aprendizado escolhido foi o backpropagation adaptativo.

Os dados da série temporal foram submetidos como os vetores de entrada da rede neural de duas formas: como uma única série mensal e como séries anuais. Os resultados obtidos pelas redes neurais apresentaram um erro aproximado de 4,13% para a abordagem mensal e 4,08% para a anual. Tais resultados ficam em torno da mesma taxa de erro já alcançada pela concessionária de energia elétrica, o que demonstra que o modelo de estimação baseado nos métodos de regres é bem mais eficiente.

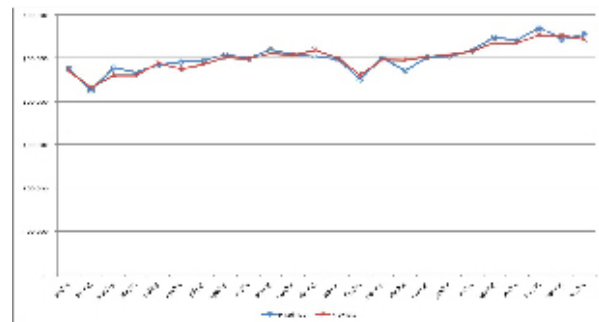


Figura 1. Valores reais e estimados de Jan/05 a Dez/06.

- (1) UFPA - liviane@ufpa.br  
 (2) UFPA - adamo@ufpa.br  
 (3) UFPA - conde@ufpa.br  
 (4) UFPA - rfrances@ufpa.br  
 (5) e (6) - UFPA  
 (7) Unama - alex@bcc.unama.br  
 (8) CELPA - armando.tupiassu@redenergia.com  
 (9) CELPA - jose.vale@redenergia.com  
 (10) CELPA - pedro.pinto@redenergia.com  
 (11) CELPA - vanja.gato@redenergia.com

## B. Redes Bayesianas para a medida das correlações de consumo, condições climáticas e sócio-econômicas

As redes bayesianas podem ser entendidas como modelos que codificam os relacionamentos probabilísticos entre as variáveis que representam um determinado domínio [10]. A escolha das redes bayesianas para integrar o Predict deve-se principalmente à semântica deste modelo, que facilita, dada a inerente representação causal dessas redes, o entendimento e o processo de tomada de decisão, por parte dos usuários [11]. Isso se deve, basicamente, ao fato de as relações entre as variáveis do domínio poderem ser visualizadas graficamente, além da quantificação, em termos probabilísticos, dos efeitos dessas relações.

As estratégias de correlação são realizadas por arranjo e pré-processamento dos dados climáticos, socioeconômicos e de consumo, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Secretaria Executiva de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças (SEPOF) e CELPA, respectivamente. São então submetidos à técnica de mineração de dados de redes bayesianas para a análise de dependências e correlações e posterior geração de conhecimento (Figura 2).

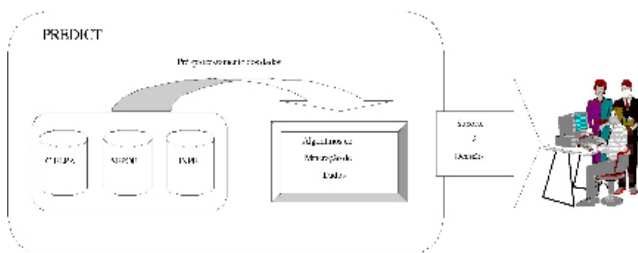


Figura 2. Modelo de correlação instituído.

O módulo de correlação do Predict é capaz de analisar as dependências entre os mais diversos tipos de consumo, como o faturado total e energia requerida, por exemplo, e os fatores socioeconômicos e climáticos. Este módulo é capaz de construir a estrutura da rede bayesiana e calcular as probabilidades condicionais entre as variáveis dessa rede.

É implementado um algoritmo de propagação orientado a metas baseado no método de árvore de junção [12], de modo a prover um processo de tomada de decisão quantificado através de probabilidades. Para o aprendizado das relações existentes entre as variáveis, o Predict implementa o algoritmo de busca e pontuação K2 [13].

A partir da Figura 3, é possível visualizar as correlações entre as variáveis sócio-econômicas e o consumo total de energia no Pará, além das probabilidades marginais, geradas pelo Predict.

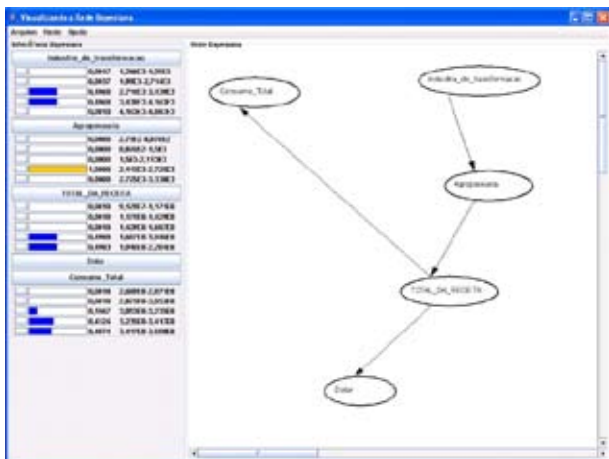


Figura 3. Rede bayesiana gerada a partir consumo total e fatores socioeconômicos.

É possível, a partir das prospecções (inferências) sobre as redes bayesianas obtidas com o Predict, apresentar aos usuários de níveis decisórios os diversos cenários que podem promover variações no consumo de energia elétrica, dadas

as condições climáticas e sócio-econômicas do Pará. Essa análise pode colaborar consideravelmente com o processo de análise das demandas de energia, o que pode levar à tomada de ações de maneira antecipada e, consequentemente, à diminuição dos custos de operação do sistema.

## III. CONCLUSÕES

A intenção da realização dos estudos propostos foi diagnosticar as relações entre o consumo e aspectos socioeconômicos e climáticos do Pará, bem como efetuar a predição do consumo de energia. Assim, torna-se possível disponibilizar um sistema de suporte à decisão capaz de prover à concessionária de energia o estabelecimento de contratos mais vantajosos de energia no mercado futuro e a análise de cenários favoráveis, com base nas variações climáticas e nas condições sócio-econômicas de uma determinada região. Além disso, permite fornecer subsídios aos usuários de nível decisório dos órgãos de governo para instituição de políticas e investimentos, tendo em vista que a expansão do fornecimento de energia, principalmente na região amazônica (que possui ainda muitas áreas sem energia firme) é fator preponderante de desenvolvimento.

Os resultados preliminares obtidos encorajam fortemente o uso das técnicas utilizadas. Isso pode ser atestado pela implantação do Predict nas demais concessionárias do Grupo Rede, como Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins (CELTINS), Centrais Elétricas Matogrossenses S. A. (CEMAT) e Rede Sul.

Naturalmente, outros estudos de prospecção precisam ser realizados, tais como a análise de fatores como segurança do sistema e qualidade da energia suprida aos consumidores. Além disso, novas grandezas podem ser incluídas para avaliação do impacto das variáveis sócio-econômicas no consumo de energia. Poderia ser analisado, dentre outros aspectos, a variação do consumo de energia residencial ou comercial, quando ocorre uma elevação acentuada, por exemplo, na produção de cimento, bem como o impacto das exportações no consumo total de energia elétrica, haja vista que o Pará é um grande exportador de riquezas, principalmente de minérios. Estas investigações fazem parte da próxima etapa do projeto Predict.

## IV. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CELPA pelo financiamento do projeto que fundamenta este artigo.

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A.P. Douglas, A.M. Breipohl, F.N. Lee, R. Adapa. "The impacts of temperature forecast uncertainty on Bayesian load forecasting," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 13, pp. 1507-1513, Nov. 1998.
- [2] T. Senjyu, H. Takara, K. Uezato, T. Funabashi, "One-hour-ahead Load Forecasting Using Neural Network," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 17, pp. 113-118, Fev. 2002.
- [3] D. Heckerman, "Bayesian Networks for Data Mining," Data Mining and Knowledge Discovery, vol. 1, pp. 79-119, 1997.
- [4] C. Rocha, A. L. Santana, C. R. Frances, L. Rego, J. Costa, V. Gato and A. Tupiassu, "Decision Support in Power Systems Based on Load Forecasting Models and Influence Analysis of Climatic and Socio-Economic Factors," Proceedings of SPIE Optics East, vol. 6383, pp. 11, 2006.
- [5] R. S. Pindyck, D. L. Rubinfeld, "Econometric Models and Economic Forecasts," 4th ed., Boston: McGraw Hill, 1998.
- [6] J. F. Hair, R. E. Anderson, R. L. Tatham, W. Black, "Multivariate data analysis," Prentice-Hall, 5th ed., 1998.
- [7] J. A. Rice, "Mathematical Statistics and Data Analysis," 2nd ed., Ed. Duxbury Press, 1995.
- [8] ANEEL, "Atlas de energia elétrica do Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília," DF, 2003.
- [9] S. Haykin, "Neural Networks: a comprehensive Foundation," 2nd ed., Ed. Prentice Hall, 1998.
- [10] S. Russel, P. Norvig, "Artificial Intelligence – A Modern Approach," Prentice Hall, 2003.
- [11] K. B. Korb, A. E. Nicholson, "Bayesian Artificial Intelligence," Ed. CRC Press, 2003.
- [12] F. V. Jensen, F. Jensen, "Optimal junction trees," In Proceedings of the 10th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, pp. 360-366, 1994.
- [13] G. Cooper, E. Herskovitz, "A Bayesian Method for the Induction of Probabilistic Networks from Data," Machine Learning, vol. 9, pp. 309-47, 1992.



## BANDEIRANTE

# Sistema aumenta confiabilidade de ações contra raios

Os raios são responsáveis por metade dos desligamentos permanentes não-programados e por mais de 80% das interrupções decorrentes de pequenos aumentos de tensão nas correntes elétricas e que são rapidamente restabelecidos. Esses distúrbios prejudicam a qualidade do fornecimento, provocam perdas de faturamento e aumento de gastos com manutenção, além de sujeitarem as distribuidoras a penalidades contratuais.

Diante desse cenário, técnicos da Bandeirante Energia S/A, do Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da empresa Lógica CMG desenvolveram uma ferramenta que permite determinar a área de influência de uma descarga sobre a rede de distribuição. Isso possibilita à concessionária estabelecer de forma mais precisa os impactos da ocorrência de raios e adotar novos procedimentos de engenharia para minimizar suas consequências.

O SITRaios é um novo módulo do Sistema de Informações Técnicas (SIT) da concessionária, que armazenada sobre descargas atmosféricas incidentes tanto em sua área de concessão da distribuidora quanto na região de influência associada à rede. Assim, torna-se possível prever a localização dos raios com precisão, informação que é associada, em tempo real, a outras do cadastro elétrico georreferenciado existente e a reclamações de clientes.

O cruzamento das informações da ocorrência de raios com as reclamações dos clientes dá mais confiabilidade à tomada de decisões e mais agilidade aos trabalhos de manutenção. Dentre os benefícios esperados pela empresa com a adoção da ferramenta está a possibilidade de subsidiar programas voltados a novas tecnologias e ao estudo do desempenho do sistema elétrico face às descargas atmosféricas.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Bandeirante Energia S/A

**Título:** Desenvolvimento de sistema para automatização em tempo real da avaliação da influência das descargas atmosféricas em desligamentos de rede de distribuição

**Ciclo:** 2005/2006

**Investimento:** R\$ 850.000,00

**Execução:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Lógica CMG

# SIT Raios - Desenvolvimento de sistema para automatização em tempo real da avaliação da influência das descargas atmosféricas em desligamentos da rede de distribuição

V.L.G. Gardiman<sup>(1)</sup>, A.A. de Moraes<sup>(2)</sup>, S.A. Montoani<sup>(3)</sup>, A.C. Santos<sup>(4)</sup>, O. Pinto Jr.<sup>(5)</sup>, K.P. Naccarato<sup>(6)</sup> e M.B. de Martino<sup>(7)</sup>

**Resumo** - Este artigo descreve o sistema SIT Raios desenvolvido para dar suporte a análise de ocorrências no sistema de distribuição da Bandeirante Energias do Brasil causadas por descargas atmosféricas por projeto de P&D realizado em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Lógica CMG. O sistema foi desenvolvido em uma plataforma SIG (Sistema de Informações Geo-Referenciadas) em que as informações do sistema de distribuição e as informações de descargas atmosféricas provenientes da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDat) são integradas. Diferentemente de outros sistemas existentes no mundo, o SIT Raios permite determinar uma área de influência da descarga sobre o sistema de distribuição, o que permite a empresa estabelecer de forma mais precisa o impacto das descargas sobre seu sistema, o que estabeleceu novos procedimentos de engenharia. Os resultados indicam novas perspectivas no assunto.

**Palavras-chaves:** Danos ao sistema elétrico, Descargas atmosféricas, Desligamentos não programados, Eficiência energética, Qualidade de energia.

## I. INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 50% dos desligamentos permanentes não programados e mais de 80% dos desligamentos transientes com subsequente religamento de linhas de distribuição são atribuídos a descargas atmosféricas. Tais desligamentos causam distúrbios na qualidade do suprimento e da oferta de energia, além de perdas de faturamento e elevação dos gastos com serviços de manutenção. Além disso, as concessionárias podem vir a ser penalizadas em função dos desligamentos.

No passado, muitas técnicas têm sido utilizadas para tentar definir quando tais ocorrências são devido a descargas atmosféricas. Contudo, uma das dificuldades encontradas para a utilização efetiva dessas técnicas é a determinação com confiabilidade da localização da descarga em relação ao sistema de distribuição e da área de influência da descarga ao redor deste ponto sobre o sistema. Tais dificuldades geram distorções nas informações e impedem que ações operativas possam ser tomadas com alto grau de confiabilidade.

Por outro lado, a utilização de dados provenientes de redes de detecção de descargas atmosféricas na engenharia de proteção é uma prática recente no país e no mundo [1, 2]. A baixa eficiência de detecção de descargas individuais (strokes) e a incerteza na localização e intensidade das mesmas pelos sistemas de detecção têm limitado a aplicabilidade dos dados obtidos. Tais limitações, contudo, têm sido, ao longo dos anos, parcialmente superadas, o que tem tornado possível o desenvolvimento de ferramentas computacionais capazes de agregar valor a práticas de engenharia antes não possíveis.

A Bandeirante Energia S.A. é uma das maiores distribuidoras de energia elétrica do estado de São Paulo e atende a uma população de cerca de 4 milhões de habitantes em 28 municípios localizados nas regiões do Alto Tietê e Vale do Paraíba, numa área de 9,6 mil km<sup>2</sup>. Sua área de concessão está localizada em uma região altamente desenvolvida em termos de infraestrutura, escoamento de produção e ambiente empresarial. A área de atuação da Bandeirante coincide com uma região de alto índice de descargas atmosféricas e a região do país onde estas informações possuem o mais alto nível de qualificação, devido à proximidade dos sensores da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDat).

Tal infraestrutura permite monitorar e estudar as descargas nesta região com os melhores parâmetros de qualidade que se tem no mundo atualmente: eficiência em torno de 90%, precisão de localização média de 500m e precisão de intensidade de corrente de 20-50%.

De modo a minimizar o impacto das descargas atmosféricas sobre o sistema de distribuição é fundamental que a empresa de energia elétrica disponha de informações precisas em tempo real e, também, que estas informações sejam integradas numa base de dados georeferenciada, interligada ao sistema georeferenciado utilizado pela empresa.

O conhecimento das características das descargas

atmosféricas nuvem-solo é de grande importância para o desenvolvimento de métodos e critérios com objetivo de otimizar instalações/equipamentos, no que se refere ao desempenho frente a surtos atmosféricos, assim como para a melhoria de qualidade da energia ofertada.

Frente a esse cenário, a Bandeirante desenvolveu em conjunto com o INPE e a Lógica CMG, por um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento, um novo módulo de seu Sistema de Informações Técnicas (SIT), denominado SIT Raios, que armazena todas as informações de descargas atmosféricas incidentes em sua área de concessão, inclusive com estimativa da área de influência associada sobre a rede de cada descarga. O SIT Raios permite determinar a localização/visualização das descargas com alto grau de precisão. É capaz de cruzar essas informações com todo o cadastro elétrico georeferenciado existente no SIT com todas as ocorrências e reclamações de clientes existentes no sistema elétrico em tempo real ou por históricos.

Neste artigo é apresentada esta nova ferramenta para uso na análise de ocorrências no sistema de distribuição. O SIT Raios permite determinar a área de influência de uma descarga sobre o sistema, o que gera mais confiabilidade na tomada de decisão na avaliação do desempenho do sistema de distribuição e uma maior agilidade nos trabalhos de manutenção. O SIT Raios permite também reavaliar de forma precisa e confiável as regiões críticas do sistema de distribuição, onde ações diferenciadas de proteção deverão ser tomadas.

## II. DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO

O desenvolvimento do aplicativo SIT Raios partiu da necessidade de comparar os dados de descarga com maiores detalhes da rede de distribuição. Desenvolvido para ser incorporado a todas as aplicações do SIT, num primeiro momento somente incorporou-se ao PowerOn, aplicativo integrante do sistema e que gerencia os atendimentos a reclamações de clientes e operação da rede de distribuição da Bandeirante.

A integração dos dados de descargas com a plataforma de georreferenciamento do sistema elétrico é dada basicamente por um banco de dados de descargas, também georreferenciado, alimentado pelo INPE em tempo real, que é acessado pelo SIT (figura 1). Esse banco de dados contém informações precisas sobre a incidência (horário, localização e área de influência) e

(1) BANDEIRANTE - vlugg@enbr.com.br

(2) BANDEIRANTE - alex.moraes@enbr.com.br

(3) BANDEIRANTE - sandromontoani@enbr.com.br

(4) BANDEIRANTE - acarlos@enbr.com.br

(5) INPE - osmar@dge.inpe.br

(6) INPE - kleberp@dge.inpe.br

(7) Lógica CMG - marcello.martino@edinflogica.com

características (intensidade e polaridade) individuais dos raios na área de concessão da empresa, além de mapas temáticos para realização de estudos. Para isso, foi desenvolvido um software dedicado que alimenta a base de dados Oracle da Bandeirante.

A integração dos dados de descargas com a plataforma de georreferenciamento do sistema elétrico é dada basicamente por um banco de dados de descargas, também georreferenciado, alimentado pelo INPE em tempo real, que é acessado pelo SIT (figura 1). Esse banco de dados contém informações precisas sobre a incidência (horário, localização e área de influência) e características (intensidade e polaridade) individuais dos raios na área de concessão da empresa, além de mapas temáticos para realização de estudos. Para isso, foi desenvolvido um software dedicado que alimenta a base de dados Oracle da Bandeirante.

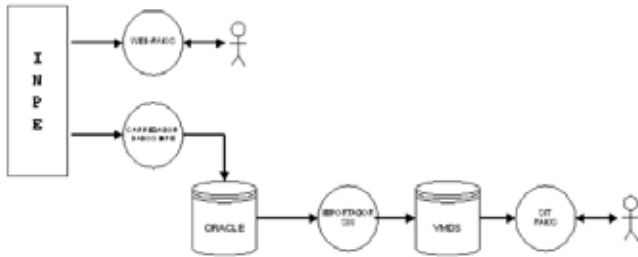


Figura 1. Exemplificação ilustrativa da arquitetura do sistema.

Esse banco de dados Oracle é acessado pelo SIT, que passa a armazenar todo o banco de dados de descargas atmosféricas, e permite, a visualização e localização geográfica exata de cada descarga, o que contempla não só o ponto geográfico de incidência, como também sua elipse de influência, conforme mostrado na figura 2.



Figura 2. Visualização da área de influência de descarga atmosférica.

Com essas informações localizadas geograficamente dentro do SIT, foram desenvolvidas funcionalidades que permitem rapidez e praticidade na utilização das mesmas, conforme relacionadas abaixo:

- I. Consultas de descargas atmosféricas por períodos: Dia/hora/minuto/segundo;
- II. Consultas de descargas atmosféricas por períodos e por áreas delimitadas ou pré-definidas;
- III. Consultas de descargas atmosféricas por períodos cujas áreas de influências tenham interferência em determinados trechos da rede elétrica ou com circuitos alimentadores;
- IV. Consultas por intensidade, polaridade e demais atributos correlatos às descargas.

Todo o resultado é fornecido no formato de listagem, o que permite uma melhor análise dos dados, uma vez que as informações do cadastro elétrico, das reclamações de clientes e ocorrências de desligamentos não programadas são cruzadas com as informações geográficas das descargas (figura 3).

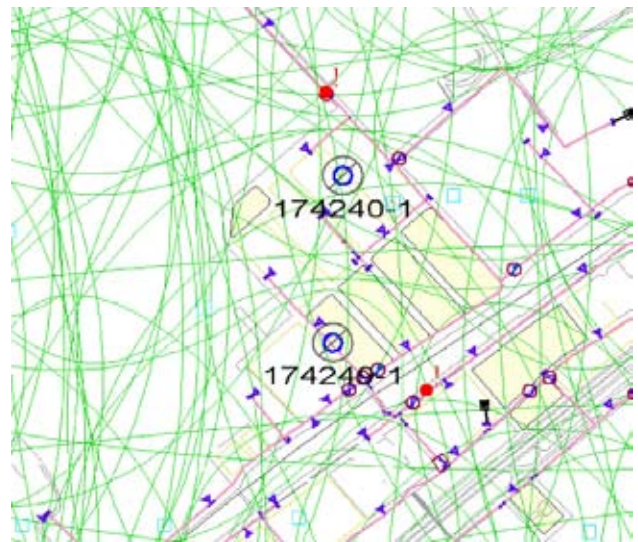


Figura 3. Janela gráfica do PowerOn: Visualização de reclamações de clientes em região atingida por várias descargas.

Também integra o produto SITRaios a visualização de mapas temáticos históricos, confeccionados e fornecidos pelo INPE, o que permitem estudos mais abrangentes, como por exemplo, identificação das cidades ou regiões com maior incidência de descargas (figura 4).

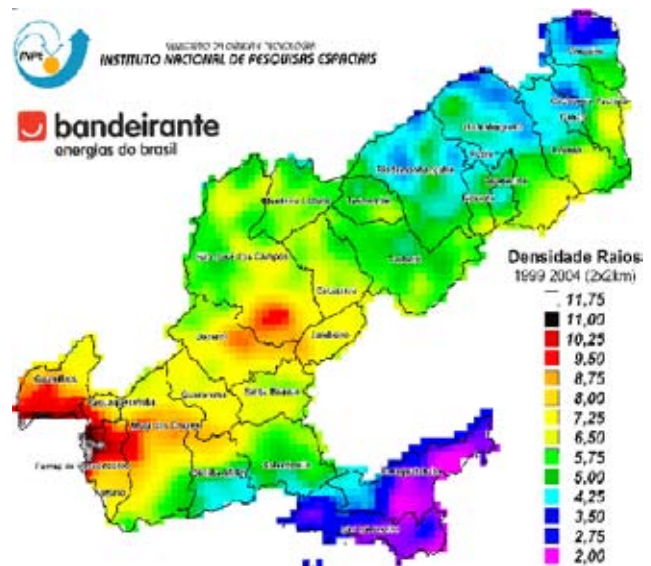


Figura 4. Exemplo de mapa temático que pode ser integrado ao SITRaios.

### III. CONCLUSÕES

A implantação do SITRaios permitirá a Bandeirante Energia S.A. agregar uma série de benefícios como:

- Subsidiar programas de implementação de novas tecnologias, melhora a qualidade do sistema elétrico e facilita seu planejamento;
- Subsidiar a implementação de modelos para estudar o desempenho do sistema elétrico face às descargas atmosféricas;
- Subsidiar a análise de questões de seguro frente aos consumidores.
- Permitir análises de eventos, com a ocorrência de descargas elétricas para permitir tomada de decisões referentes ao desenvolvimento e aperfeiçoamento do sistema elétrico.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Cummins, K.L., E. P. Krider and M. D. Malone, The U.S. national lightning detection network and applications of cloud-to-ground lightning data by electric power utilities, IEEE Trans. Electr. Compatibility, 40,465-480, 1998.

[2] O. Pinto Jr., A arte da Guerra contra os raios, Ed. Oficina de Texto, São Paulo, 2005, p. 110.



# CELESC

## Sistema acoplado a analisador de gás permite avaliação remota de transformadores

Um equipamento portátil desenvolvido por pesquisadores da Centrais Elétricas de Santa Catarina S/A (CELESC) e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) é capaz de analisar o processo de isolamento de até três transformadores, simultaneamente, com uso de um sistema de medição acionado localmente pelo operador da subestação, ou remotamente, por uma rede corporativa da CELESC. A comunicação remota pode ocorrer via Internet ou pela rede de telefonia móvel via tecnologia General Packet Radio Service (GPRS).

Os transformadores têm como isolante um líquido (geralmente óleo mineral), que, submetido aos efeitos de temperatura e tensões elétricas, sofre decomposição química que resulta na formação de gases dissolvidos total ou parcialmente no óleo. O sistema de medição criado é acoplado ao analisador para permitir, por meio da multiplexação (envio de informações de várias fontes por um mesmo sistema), o acionamento de eletroválvulas que liberam o fluxo do óleo dos transformadores para realização das análises. A avaliação de amostras permite que sejam obtidas informações sobre o estado de deterioração das partes do transformador que ficam em contato com o óleo.

O analisador de gás ajuda a prevenir falhas nos transformadores de potência, equipamentos essenciais à transmissão e à distribuição de energia. A possibilidade de comunicação via GPRS dá autonomia de acesso remoto ao equipamento e é uma alternativa de baixo custo, passível de ser utilizada no monitoramento de outros dispositivos.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Centrais Elétricas de Santa Catarina S/A

**Título:** Otimização de um sistema de medição multiplexado da concentração de gases dissolvidos em óleo de transformadores para a monitoração on-line de transformadores - Fase III: Otimização do Protótipo (MAGO)

**Ciclo:** 2004/2005

**Investimento:** R\$ 274.386,96

**Execução:** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)



# Monitoramento remoto (via GPRS) de falhas incipientes em transformadores de potência

Mauro E. Benedet<sup>(1)</sup>, Marco A. M. Cavaco<sup>(2)</sup>, César A. A. Nogueira<sup>(3)</sup> e Régis H. Coelho<sup>(4)</sup>

**Resumo** – Um dos procedimentos mais consagrados para de-tecção de falhas em transformadores de potência é a análise da concentração de gases dissolvidos no óleo mineral isolante desses equipamentos. Essa análise é comumente realizada em laboratório através de cromatografia em fase gasosa. Embora apresente resultados confiáveis, a cromatografia traz alguns inconvenientes, como elevado período de amostragem e a distância do laboratório em relação às subestações. Existem sistemas de medição capazes de realizar esta análise em campo. Contudo, esses dispositivos apresentam custo elevado, o que não justifica sua utilização de forma dedicada em transformadores de pequeno e médio porte. Desta forma, iniciou-se um projeto para o monitoramento de múltiplos transformadores com um único sistema de medição. Uma das maiores necessidades do equipamento desenvolvido é o seu controle e monitoramento remotos. Para tanto foi empregada a tecnologia GPRS (General Packet Radio Service), baseada em telefonia móvel, possibilitando assim o desenvolvimento de um equipamento mais autônomo.

**Palavras-chave:** automação, gás dissolvido em óleo, GPRS, instrumentação, transformador de potência.

## I. INTRODUÇÃO

Transformadores de potência são equipamentos essenciais na transmissão e distribuição de energia elétrica e por isso merecem especial atenção no programa de manutenção de empresas desse setor.

Uma das partes mais importantes de um transformador é o sistema de isolamento, constituído basicamente por um líquido, geralmente óleo mineral, e uma isolação sólida, o papel isolante.

Durante o funcionamento de um transformador, o óleo mineral fica submetido às ações de temperatura e de tensões elétricas e sofrem processos de decomposição química que resultam na formação de gases.

Os gases formados pela decomposição dos materiais isolantes são dissolvidos total ou parcialmente no óleo e são diluídos e transportados por todo seu volume. Tal decomposição é mais intensa quando existem falhas no funcionamento do transformador. A diluição dos gases possibilita obter-se, pela análise de uma amostra, informações a respeito do estado de deterioração dos diversos pontos que estejam em contato com o óleo[1].

Por esse motivo, a análise de gases dissolvidos é um dos procedimentos mais consagrados para detecção de falhas em transformadores de potência. Essa análise é comumente realizada em laboratório por meio de cromatografia em fase gasosa. Embora apresente resultados confiáveis, a cromatografia traz alguns inconvenientes, como elevado período de amostragem e a distância do laboratório em relação às subestações.

Existem sistemas de medição capazes de realizar a análise em campo, o que determina a concentração de gases específicos dissolvidos no óleo. Contudo, esses dispositivos apresentam custo elevado, o que não justifica sua utilização de forma dedicada em transformadores de pequeno porte. Desta forma, iniciou-se um projeto para o monitoramento remoto de múltiplos transformadores com um único sistema de medição. Foram realizados testes de viabilidade e posteriormente construído um protótipo.

## II. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Para a análise do óleo mineral dos transformadores de potência, foi desenvolvido um equipamento portátil capaz de realizar a multiplexação da amostragem de até três transformadores.

Essa multiplexação é realizada através do acionamento de eletroválvulas que liberam o fluxo de óleo do transformador que se deseja analisar.

Na figura 1 pode-se observar o equipamento desenvolvido realizando a análise de um transformador na subestação de Coqueiros, em Florianópolis.

O sistema elétrico desenvolvido aliado à utilização de um sofisticado CLP, programado em linguagem LabVIEW, é o responsável pelo controle e monitoramento das eletro-

válvulas, medidor de gás, transdutores de vazão e demais funcionalidades do equipamento.

Parte fundamental no funcionamento do equipamento é a comunicação com o usuário. Foram implementadas duas formas básicas de operação, uma para o usuário presente na subestação (comunicação local) e outra para o usuário que deseja realizar uma medição a distância (comunicação remota).



Figura 1 - Analisador de gás em operação [2]

Foram desenvolvidas duas formas de comunicação remota, uma que conecta o equipamento diretamente à Internet e outra que utiliza a rede de telefonia móvel.

## III. COMUNICAÇÃO REMOTA VIA INTERNET

O acesso ao equipamento via Internet é realizado por um cabo de rede conectado diretamente no controlador. A transferência de dados no pátio de manobras é realizada via fibra óptica, o que a torna imune a interferências eletro-magnéticas.

Ao CLP é atribuído um endereço IP fixo dentro da rede onde está instalado. Uma página em HTML, hospedada no próprio controlador, é responsável pela interface com o software embarcado. Dessa forma, o usuário pode operar o equipamento de qualquer computador que tenha acesso à mesma rede.

(1) UFSC - mauroedb@yahoo.com.br

(2) UFSC - cavaco@labmetro.ufsc.br

(3) UFSC - can@labmetro.ufsc.br

(4) CELESC - regishc@celesc.com.br

#### IV. COMUNICAÇÃO REMOTA VIA GPRS

Embora traga uma série de facilidades, a comunicação via Internet está condicionada à existência de acesso à rede de computadores no local de instalação. Na grande maioria das subestações da CELESC, cerca de 70 %, este acesso é inexistente.

Para contornar esse problema foi desenvolvida uma comunicação pela tecnologia GPRS (General Packet Radio Service).

O GPRS é um serviço implementado sobre a estrutura GSM (Global System for Mobile Communication), que utiliza, para o gerenciamento dos recursos, uma combinação de duas técnicas, a TDMA (Time Division Multiple Access) e a FDMA (Frequency Division Multiple Access).

O GPRS é um serviço oferecido pelas operadoras de telefonia móvel que incrementa a rede GSM pela inclusão do método de chaveamento de pacotes para transferência de dados[3].

Diferentemente do método de comutação de circuitos, empregado pelas tecnologias anteriores, na comutação por pacotes os recursos são compartilhados e alocados somente no momento da transferência de dados. Dessa maneira, pode-se considerar que os usuários estão sempre conectados e recebem o recurso somente no momento do envio e recebimento de dados[4][5].

O GPRS fica acoplado à Internet através de Gateway WAP (Wireless Application Protocol), padrão internacional para aplicações que utilizam comunicação sem fio[6].

Para implantação dessa tecnologia no analisador de gás dissolvido em óleo, optou-se por um modem GPRS que possui uma interface serial RS-232, o que permite assim a comunicação com o CLP.

Devido à característica "sempre conectado" da rede GPRS, as operadoras têm que lidar com uma limitação no número de IPs disponíveis. A saída encontrada pelas operadoras foi conceder os endereços com uma característica dinâmica. Com os IPs dinâmicos, os dispositivos perdem seus endereços quando permanecem ociosos durante um determinado tempo, obtendo-os novamente de maneira aleatória através de DHCP.

Essa política adotada pelas operadoras incrementa uma significativa dificuldade nas aplicações que utilizam essa tecnologia, que, a priori, é impossível localizar um dispositivo móvel na rede. Consequentemente, a iniciativa de conexão deve partir do dispositivo remoto, que aponta sempre para um local fixo. Isso inviabilizaria o acompanhamento do equipamento de diversos locais, o que restringe o local de supervisão a um único ponto.

A solução encontrada foi desenvolver um servidor com IP estático, com o qual o modem GPRS sempre tenta estabelecer conexão. Dessa maneira, depois de realizada a conexão, a localização do equipamento não é mais desconhecida, ao menos até a próxima renovação do seu IP, quando o processo tem que ser realizado novamente.

A inclusão de um servidor centralizado propiciou uma topologia modular ao sistema de comunicação, que desacoplou a interface do sistema, o que possibilita assim uma maior gama de supervisores de operação (figura 2).



Figura 2 – Topologia do sistema de comunicação GPRS

#### V. CONCLUSÕES

O uso do analisador de gás dissolvido em óleo ajuda a prevenir falhas críticas dos transformadores de potência graças ao monitoramento mais eficaz das suas condições de operação.

A comunicação via GPRS desenvolvida possibilitou a autonomia do acesso remoto ao equipamento e mostrou ser uma alternativa viável e de baixo custo, passível de ser utilizada também no monitoramento de outros dispositivos.

Sugere-se, para continuidade do projeto, a agregação de novos sistemas de medição para o monitoramento de diferentes grandezas igualmente importantes na avaliação dos transformadores de potência. Além disso, devem ser consideradas modificações como a miniaturização do equipamento, com vistas a aumentar ainda mais a sua portabilidade e a associação de sistemas de regeneração do óleo, com aumento do seu campo de aplicação.

#### VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao departamento técnico da subestação de Coqueiros, aos bolsistas de iniciação científica André S. Noronha e Lucas C. Pires pela contribuição no desenvolvimento do projeto, ao Laboratório de Metrologia e Automatização (LABMETRO-UFSC) pela estrutura e à ANEEL pelo financiamento da pesquisa desenvolvida.

#### VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Milasch. "Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante". São Paulo, Edgard Blücher, 1984.
- [2] M. E. Benedet. "Otimização de um Analisador de Gás Dissolvido em Óleo de Múltiplos Transformadores de Potência". Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial. Uni-versidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- [3] Agilent Technologies Brasil. "A Rede GSM e a Interface Aérea". Material de Apresentação. São Paulo, 2006.
- [4] E. Seurre; P. Savelli; P. J. Pietri. "GPRS for Mobile Internet". Artech House Publishers, ISBN 1-58053-600-X, Norwood, MA, USA, Janu-ary, 2003.
- [5] R. J. Bates. "GPRS: General Packet Radio Service". McGraw-Hill Professional, 1st edition, ISBN 0-07-138188-0, USA, November, 2002.
- [6] J. Hoffman. "GPRS Demystified". McGraw-Hill Professional, 1st edition, ISBN 0-07-138553-3, USA, September, 2002.



# CELPE

## Sensor atua na prevenção de falhas em isolamentos elétricos

As falhas em isolamentos elétricos são as principais responsáveis pelas interrupções do fornecimento de energia e, por essa razão, é estrategicamente importante investir em tecnologias confiáveis para identificação do processo de desgaste desse sistema. O projeto da CELPE com pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) estudou o uso de um sensor de ultrassom para monitoramento dos defeitos em unidades isolantes.

A empresa adquiriu 254 isoladores, que foram submetidos a testes de raios X para identificação de possíveis falhas de isolamento. Posteriormente, os isoladores passaram por ensaios elétricos, com registro dos sinais de ultrassom e de detecção de descargas parciais. Aos sinais foram aplicadas técnicas de reconhecimento de padrões e uma Rede Neural Artificial foi desenvolvida.

Nos testes preliminares na rede de 13,8 Kilovolts (kV) da Universidade, foi aplicada uma rotina de diagnósticos para identificação de isoladores defeituosos. Testes semelhantes estão sendo realizados na rede de distribuição da própria CELPE.

O protótipo construído para os testes de ultrassom poderá se tornar portátil e demandar recursos humanos e materiais menores. Os pesquisadores acreditam que, com os aprimoramentos, essa ferramenta preventiva será ainda mais importante para realização de manutenção na rede antes que falhas, interrupções e acidentes possam ocorrer.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética de Pernambuco (CELPE)

**Título:** Estudo para aplicação de sensor de ultrassom como técnica preditiva na manutenção de subestações e linhas de transmissão e distribuição.

**Ciclo:** 2004/2005

**Investimento:** R\$ 455.146,00

**Execução:** Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

# Avaliação de Sensor de Ultrassom como Técnica Preditiva na Manutenção de Subestações e Linhas de Transmissão e Distribuição

J. M. B. Bezerra<sup>(1)</sup>, R. R. B. Aquino<sup>(2)</sup>, J. B. Oliveira<sup>(3)</sup>, O. Nóbrega<sup>(4)</sup>, T. M. A. Silveira<sup>(5)</sup>, E. G. Costa<sup>(6)</sup>, M. G. G. Néri<sup>(7)</sup>, T. V. Ferreira<sup>(8)</sup>, J. L. P. Dantas<sup>(9)</sup> e P. L. Mendonça<sup>(10)</sup>

**Resumo** – Este artigo resume os resultados alcançados ao longo do projeto de P&D intitulado “Estudo para aplicação de sensor de ultra-som como técnica preditiva na manutenção de subestações e linhas de transmissão e distribuição”. Foram constituídas amostras a partir de isoladores submetidos previamente a ensaios de raios x e, após pré-classificação como “com defeito” ou “sem defeito”, foram submetidas a ensaios elétricos, durante os quais se constituiu banco de sinais de ultrassom. Esse banco viabilizou a construção de conjunto de treinamento para elaboração de sistema de diagnóstico. Na montagem desse sistema foram testadas diversas técnicas de reconhecimento de padrões: Fisher, Karhunen-Loève, redes neurais artificiais lineares e não lineares, como também a aplicação de diversos atributos dos sinais adquiridos. O artigo descreve protótipo montado a partir da técnica de classificação que apresentou melhor desempenho. São feitas considerações quanto a refinamentos que podem ser incorporados a futuras versões do processo de diagnóstico implementado.

**Palavras-chave:** Diagnóstico de defeitos; Isoladores de alta tensão; Reconhecimento de Padrões; Redes neurais artificiais; Sensor de Ultra-Som.

## I. INTRODUÇÃO

A monitoração de componentes elétricos de um sistema de potência por processos visuais ou de sensores especiais representa uma ação preditiva de grande valia no sentido de se evitar falhas que comprometam o fornecimento normal de energia elétrica à sociedade.

Nesse contexto, as falhas em isolamentos elétricos são as principais responsáveis por interrupções no suprimento adequado aos diversos consumidores. De uma forma mais enfática, pode ser afirmado que o desempenho das instalações está diretamente relacionado com o desempenho do seu sistema de isolamento. A introdução de tecnologias confiáveis que possibilitem identificar o desenvolvimento de processo degenerativo de isolamentos representa, portanto, uma ação estratégica importante, tanto para a operação normal do sistema quanto para a sociedade que será poupada do infortúnio da falta intempestiva da energia.

A avaliação do sensor de ultrassom para monitorar tais defeitos prende-se ao fato de que o dispositivo já existe na CELPE e é de baixo custo, quando comparado com outros sensores (ultravioleta, termovisor, etc) além do que esses sensores mais elaborados também possuem as suas limitações técnicas. Optou-se, inclusive, por centrar esforços na monitoração de unidades isolantes uma vez que se tinha uma expectativa maior quanto a bons resultados pela monitoração de defeitos internos nos isoladores, aplicando tais sensores.

O artigo descreve inicialmente a metodologia utilizada, introduzindo as técnicas de reconhecimento de padrões aplicadas e os diversos atributos testados. Posteriormente são descritos os ensaios de raios X realizados e as montagens elétricas implementadas para aquisição dos sinais de ultrassom. Em seguida é apresentada a estrutura do banco de sinais constituído para viabilizar a montagem dos conjuntos de treinamento. Em etapa posterior são apresentados os resultados adquiridos com a aplicação das técnicas de reconhecimento de padrões introduzidas, fazendo-se análise crítica dos diagnósticos apresentados. Posteriormente, comenta-se o protótipo de sistema de diagnóstico montado a partir da técnica de classificação que apresentou melhor desempenho, quando são apresentados, também, resultados obtidos em inspeções realizadas na rede elétrica da UFPE. O artigo é concluído, fazendo-se comentários finais sobre o uso de sensores de ultrassom como técnica de diagnóstico de defeitos em isoladores de alta tensão e, ainda, encaminhando diversos refinamentos que podem ser implementados em versões posteriores do sistema de diagnóstico desenvolvido.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O processo de diagnóstico foi construído a partir da aplicação de técnicas de reconhecimento de padrões. Um siste-

ma de reconhecimento de padrões pode ser representado, simplificado, em diagrama de blocos, conforme ilustrações contidas na figura 1 [1].

A construção do sistema de reconhecimento ilustrado requer, portanto, toda uma análise prévia no sentido de dotá-lo de condições necessárias a minimizar erros de decisão. Uma das etapas fundamentais está associada à caracterização dos atributos que compõem o vetor  $x$  e análise criteriosa da técnica de reconhecimento de padrões a ser utilizada [2]. De uma forma ampla, as técnicas de classificação podem ser divididas em lineares e não lineares.

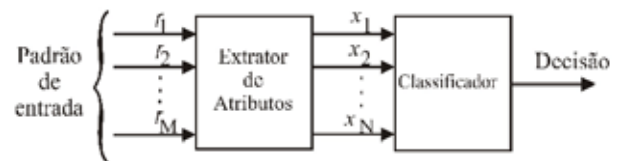


Figura 1. Um sistema de reconhecimento de padrões.

## III. ENSAIOS REALIZADOS

Foram adquiridos 254 isoladores poliméricos para a tensão nominal de 13.8 kV, sendo 200 do fabricante Vicenti-no's e 54 do fabricante PLP. Todas essas amostras foram submetidas a ensaios de raios x para identificar a presença de possíveis defeitos (bolhas internas). A Figura 2 exemplifica uma imagem gerada a partir dos ensaios de raios X. Depois de classificados nas classes “com defeito” ou “sem defeito”, em função da existência de bolhas detectadas nos ensaios de raios X, os isoladores foram submetidos a ensaios elétricos. Os ensaios constaram de aplicar tensão de 3,5 p.u. e 3 p.u., durante 10 minutos. Após esse tempo eram registrados os sinais de ultrassom oriundos dos isoladores ensaiados.

Na Figura 3, encontra-se ilustrada a montagem elétrica realizada [3]. Observa-se, nesta figura, que os ensaios também eram monitorados por detector de descargas parciais e por instrumento de detecção de corona (DayCor). Tais instrumentos eram auxiliares no sentido de procurar assegurar a existência de descargas internas ao isolador sem que houvesse geração de descargas corona. Essa preocupação conduziu a refinamentos diversos nas montagens de tal forma a se procurar forçar a geração de descargas nas bolhas internas ao isolador sem provocar o efeito corona indesejável para o experimento.

(1) UFPE - jmbb@ufpe.br

(2) UFPE - rrb@ufpe.br

(3) UFPE - josinaldo.bezerra@gmail.com

(4) UFPE - otoninobrega@hotmail.com

(5) UFPE

(6) UFCG - edson@dee.ufcg.edu.br

(7) UFCG - maxneri@dee.ufcg.edu.br

(8) UFCG - tarsoviela@yahoo.com.br

(9) CELPE - dantas@celpe.com.br

(10) CELPE - philip@celpe.com.br

Após a aquisição dos sinais, foram feitas análises específicas para se constituir o conjunto de treinamento. Como foram gravados sinais para a tensão de 3 e 3,5 p.u., todas as imagens gravadas através do DayCor foram avaliadas visualmente com o intuito de se aferir a intensidade do efeito corona ainda presente e, eventualmente, se rejeitar algumas amostras adquiridas.

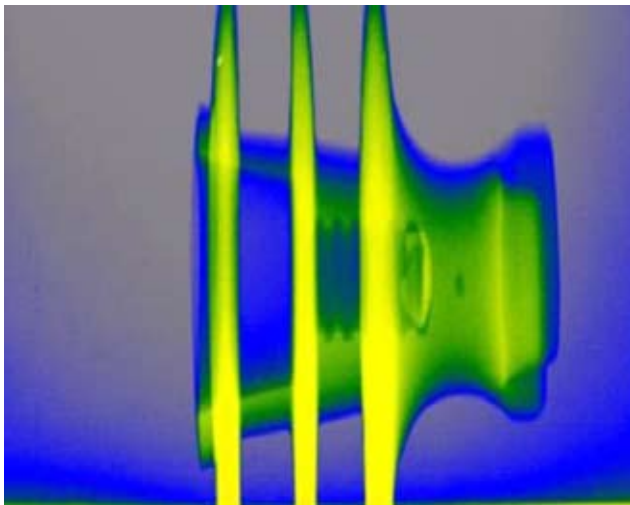


Figura 2. Imagem de isolador submetido a ensaio de raios x.

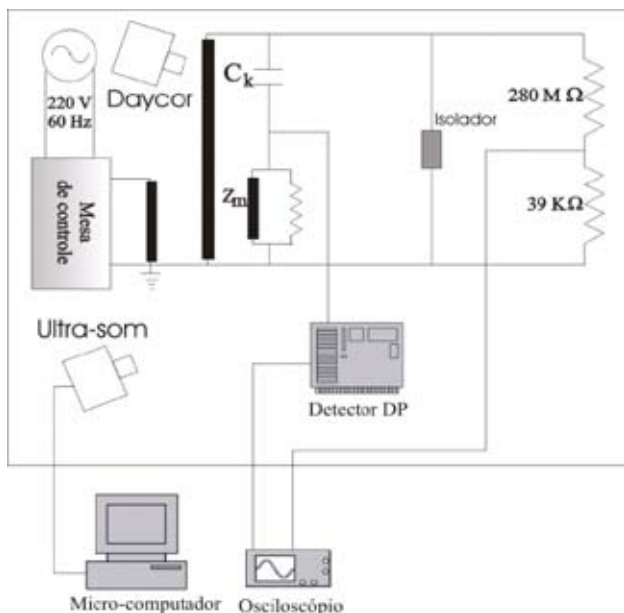


Figura 3. Montagem elétrica realizada.

Tais análises permitiram constituir novos conjuntos de sinais caracterizados como aptos e não aptos. Além dos sinais individuais, também foi construído banco de sinais associados à presença normal de ruídos corona na tensão nominal da rede trifásica. Foi concebido um arranjo trifásico montado a partir da escolha aleatória de isoladores classificados como “sem defeitos”. Tais montagens foram feitas 10 vezes, com geração de 30 sinais de corona associados a cada um dos isoladores dos arranjos. A função desses sinais foi constituir banco de sinais com ruído, a partir do qual foi escolhido, também aleatoriamente, um deles para ser somado aos sinais obtidos para as descargas internas, simulando-se, dessa forma, a existência simultânea dos dois fenômenos: descargas internas nas bolhas e descargas corona na tensão nominal. Essa condição está mais condizente com situações reais encontradas no campo.

**IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos na fase de treinamento para a melhor rede montada (RNA4). Esta rede foi constituída de nove neurônios para a camada de entrada, 25 neurônios para a camada oculta e dois neurônios

para a camada de saída. Pode ser observado que os atributos relacionados com o centróide conduziram ao melhor resultado no processo de classificação. Verifica-se, ainda, que a aferição da generalização da rede não apresentou o resultado desejável, apesar dos bons percentuais de acerto, quando do processo de treinamento. Tal constatação enseja a busca de novas melhorias no processo de treinamento [4]-[7].

Tabela1. Resultados obtidos para a rede RNA4.

Atributos	Perfor- mance	% Acerto Treinamento		
		Classe 1	Classe 2	Total
Todos	Melhor	74,55	57,42	65,98
	Média	74,56	57,59	66,08
	Desv.Pad.	1,91	1,74	1,38
Parâmetros estatísticos	Melhor	86,06	69,70	77,88
	Média	84,47	69,38	76,92
	Desv.Pad.	4,24	3,31	2,56
Centróide	Melhor	88,03	67,42	77,73
	Média	77,79	62,38	70,08
	Desv.Pad.	26,78	14,54	7,41
Frequência	Melhor	81,06	47,73	64,39
	Média	72,29	53,23	62,76
	Desv.Pad.	25,52	16,63	4,46
Wavelets	Melhor	78,33	56,21	67,27
	Média	78,24	55,29	66,77
	Desv.Pad.	2,68	2,48	0,98

**V. PROTÓTIPO DE SISTEMA DE DIAGNÓSTICO**

Mesmo para o melhor classificador montado, utilizando-se os atributos mais significativos extraídos a partir do centróide dos sinais, observaram-se dificuldades na generalização da rede. Tal dificuldade foi atribuída aos defeitos incipientes que se pretendia identificar. A estratégia de estressar os isoladores pela aplicação de uma tensão duas vezes maior que a nominal, durante 10 minutos, pode não ter sido suficiente para forçar a manifestação significativa do evento. Até mesmo para esta tensão foi difícil evitar a manifestação do efeito corona, mesmo utilizando tubos especiais e esferas de equalização dos potenciais. Além desses cuidados também se monitorou os experimentos com o equipamento DayCor, que direcionou a eliminação de algumas amostras do conjunto de treinamento, nas quais foram observadas manifestações acentuadas do efeito corona.

Apesar dessas constatações e da dificuldade de generalização da rede, foi montado processo de diagnóstico a partir da melhor técnica de classificação obtida, com o intuito de se explicitar o objetivo final a ser alcançado. Por testes preliminares da rotina de diagnóstico, denominada “IsoDiagnosis”, foi possível se identificar, na rede de 13,8 kV da UFPE, isoladores que apresentaram sinais de ultrassom característicos de unidades defeituosas. Essas unidades precisam ser retiradas e aferidas por ensaios de raios X e elétricos adicionais. Testes semelhantes estão sendo realizados na rede de distribuição da CELPE no sentido de aferir a qualidade do processo em campo, levantar novas dificuldades e balizar o desenvolvimento de novas versões do sistema de diagnóstico desenvolvido.

**VI. CONCLUSÕES**

A partir dos resultados obtidos, observa-se que o estágio alcançado pelo projeto pode ser considerado satisfatório,

mas não conclusivo. As pesquisas precisam ser continuadas, atentando-se para os seguintes refinamentos:

- escolher rede de 13.8 kV na qual possam ser instalados os isoladores previamente classificados pelos ensaios de raios X; tais isoladores precisam ser criteriosamente identificados na rede para monitorações posteriores;
- adquirir sinais de ultrassom, a cada três meses, a partir de cada um dos isoladores instalados e treinar uma nova rede a partir desse novo conjunto de treinamento, no qual os sinais estarão associados aos isoladores estressados naturalmente e a uma tensão nominal; nessas condições o efeito corona terá bem menos influência sobre os ruídos de ultrassom adquiridos;
- repetir tais procedimentos durante um ano;
- cada nova rede treinada deve ser devidamente testada no que se refere principalmente à generalização do diagnóstico apresentado.

A partir dessas implementações, certamente a consecução de um processo de diagnóstico ainda mais confiável será alcançada. É importante ressaltar a versatilidade do processo, simulada a partir do protótipo montado, que pode ser ainda mais portátil e envolver recursos materiais e humanos ainda menores.

Ao se perseguir os aprimoramentos recomendados estarão sendo dados passos importantes na incorporação de uma ferramenta preventiva de grande valor para assegurar a continuidade das redes de distribuição de energia elétrica, pela intervenção prévia da manutenção, antes que falhas, indisponibilidades e acidentes venham a ocorrer.

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bezerra, J.M.B., Lima, A.M.N., Deep, G.S., Costa, E.G., Freire, R.C.S., Técnicas de Diagnóstico de Poluição em Isoladores Aéreos de Alta Tensão. XVII-SNPTEE, 2003.
- [2] Bezerra, J. M. B. "Caracterização de Atributos de Sinais para Utilização de Técnicas de Reconhecimento de Padrões na Avaliação do Isolamento de Instalações e de Equipamentos Elétricos", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, 2004.
- [3] IEC 60270, High-voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements. IEC. 2000.
- [4] Aquino R. R. B., Bezerra, J. M. B., Santos, G. S. M., Neto, O. N., Lira, M. M. S. Ferreira, A. A., Oliveira, J. B. "Aplicação de Redes Neurais para Diagnóstico de Poluição em Isoladores de Alta Tensão", XIX SNPTEE, Rio de Janeiro/RJ, 2007.
- [5] HAGAN, M. T., MENHAJ, M. B., Training Feedforward Networks with Marquardt Algorithm. IEEE Transactions on Neural Networks, Vol 5, NO. 6, November 1994, p. 989-993
- [6] Haykin, S. Redes Neurais: Princípios e Prática. BOOKMAN Editora S.A, 2001.
- [7] Braga, A.P., Ludermir, T.B., Carvalho, A.C.PL.F., Redes Neurais Artificiais: Teoria e aplicações. LTC Editora, 2000.



## COELCE

# Ferramenta mostra incidência de raios no Brasil e América Latina

A falta de informações sobre a incidência de raios no Ceará motivou a Companhia Energética do Ceará (COELCE), em parceria com a Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Estadual do Ceará (UECE), a desenvolver um sistema de detecção de raios capaz de detalhar a densidade de descargas atmosféricas para o estado.

O sistema de monitoramento de descargas (STARNET) foi desenvolvido em 1997 a partir de um projeto da NASA (Agência Espacial Norte-Americana) com a Resolution Display Inc. (RDI). O sistema foi implantado na Europa em 2001 com a instalação de uma série de receptores baixa frequência (VLF) que formaram a Rede Zeus, hoje com 10 antenas, das quais cinco estão no Brasil. Duas antenas desse sistema foram adquiridas após aprovação do projeto de P&D da COELCE, em 2005. As antenas estão instaladas nas cidades de Fortaleza (CE), Cachoeira Paulista (SP) Campo Grande (MS), Curitiba (PR) e São Martinho da Serra (RS).

O sistema é capaz de detectar as tempestades que se formam ou se propagam no País, com margem de erro inferior a cinco quilômetros, contra 10 a 20 quilômetros na África, por exemplo. A possibilidade de detectar raios em tempo real permite também indicar os municípios afetados por essas descargas. Essas informações ficam disponíveis no portal criado a partir do projeto ([www.zeus.iag.usp.br/coelce](http://www.zeus.iag.usp.br/coelce)), onde também é possível consultar séries históricas e as probabilidades de ocorrência de novas descargas. De acordo com a densidade de raios em uma determinada região, um sistema de alerta é ativado indicando a intensidade e o município afetado.

O projeto da COELCE contribuiu para extensão da cobertura do sistema de detecção de raios para toda América do Sul, o que permite melhoria na previsão do tempo, obtenção de mapas mais precisos de frequência de raios e, conseqüentemente, manutenção preventiva do setor elétrico. Além disso, é uma ferramenta útil para a população, de forma geral, quando houver interesse em identificar a posição de relâmpagos e a extensão das tempestades.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética do Ceará (COELCE)

**Título:** Sistema de Monitoramento de descargas atmosféricas para o estado do Ceará

**Ciclos:** 2004/2005; 2005/2006; 2006/2007

**Investimento:** R\$ 614.000,00

**Execução:** Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Estadual do Ceará (UECE)

# Sistema de Monitoramento de Descargas Atmosféricas Para o Estado do Ceará

Carlos A. Morales<sup>(1)</sup>, Francisco Sales<sup>(2)</sup> e Francisco G. Pinheiro<sup>(3)</sup> e Keyla S. Câmara<sup>(4)</sup>

**Resumo** - Este artigo apresenta o estágio atual do sistema de monitoramento de descargas atmosféricas para o estado do Ceará, que conta com uma rede de detecção de raios com o objetivo de auxiliar as operações da Companhia Energética do Ceará (COELCE). O sistema STARNET foi implementado no Brasil em 2006, a partir de um projeto de P&D da COELCE com as universidades estaduais do Ceará (UECE) e São Paulo (USP). Em 2008, três novos sensores foram comprados em parceria com a UECE/USP, SIMEPAR e SIPAM, o que garante um contínuo monitoramento de descargas atmosféricas com acurácia inferior a 10 km sobre a América do Sul e do Norte, oceano Atlântico e continente Africano.

**Palavras-chave:** Descargas atmosféricas, relâmpagos, sistema de detecção de relâmpagos.

## I. INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas emitem radiação eletromagnética durante os processos de quebra da rigidez dielétrica do ar e respectiva ionização, o que possibilita a sua observação nas faixas de frequência de VLF, LF, ELF e VHF [1]. As descargas do tipo nuvem-terra (NS) são basicamente observadas na faixa de frequência de VLF, LF e ELF, enquanto que as tipo nuvem-nuvem (NN) ou intra-nuvem (IN) dominam espectro de VHF. Essa dependência de frequência limita a cobertura de monitoramento de descargas atmosféricas bem como o tipo de relâmpago, a acurácia de localização e a eficiência de detecção. Tipicamente, um relâmpago NS irradia energia eletromagnética que pode se propagar ao longo da superfície terrestre (onda de chão) e ou a partir de múltiplas reflexões entre a superfície terrestre e a parte mais baixa da ionosfera (camada D) (ondas de céu). Já os IN, por apresentarem uma menor energia que os NS, são melhor observados a partir de propagações de linha de visada. Neste sentido, as propagações por ondas de céu, de chão e direta se restringem à distâncias de 5-7.000, 400-600 e 100 km respectivamente.

## II. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DE RAIOS

Com a ausência de informações sobre a incidência de descargas atmosféricas sobre o Ceará e a baixa representação dos mapas isocerânicos para esta região, a UECE e USP por um programa de P&D, propuseram à COELCE o desenvolvimento de um sistema de detecção de relâmpagos que fosse capaz de detalhar a densidade de raios sobre o estado do Ceará, ou seja, distribuição espaço/temporal. Por outro lado, este projeto poderia viabilizar a implementação de um sistema que também fosse capaz de observar a incidência de raios sobre todo o Brasil, o que contribuiria não somente a COELCE, mas como toda a sociedade brasileira. Conseqüentemente, após vários estudos, optou-se pela tecnologia de VLF da Sferics Timing and Ranging Network (STARNET) [2], que possibilitava a detecção de raios a longa distância a um custo reduzido.

A tecnologia da STARNET foi desenvolvida em 1997 a partir de um projeto da NASA com a Resolution Display Inc. (RDI) e incorpora os mais recentes avanços tecnológicos da época (PC, internet e GPS). Em 2001, este sistema foi implantado na Europa pelo Observatório Nacional de Atenas – Grécia (NOA) e Universidade de Connecticut (UConn). Assim foi criada a rede ZEUS [3]. Em 2004, através de programa da National Science Foundation (NSF-EUA), a UConn instalou mais quatro sensores no continente Africano que foram integrados à rede ZEUS. A partir dessa integração, foi possível monitorar em tempo real os relâmpagos nos continentes Europeu e Africano e, com menor eficiência, sobre o oceano Atlântico e América do Sul.

Com a aprovação do projeto de P&D da COELCE, UECE e USP no segundo semestre de 2005, duas novas antenas de VLF foram adquiridas para serem integradas com a rede ZEUS. No mesmo período a Universidade de Nevada em Las Vegas, adquiriu uma antena e a instalou na ilha de Guadeloupe, Caribe, para ser integrada a rede ZEUS e, assim, melhorar a detecção de raios no oceano Atlântico e costa oeste da África, onde os furacões se formam.

Com o objetivo de melhorar a eficiência de detecção de raios sobre o continente Africano, oceano Atlântico e nordeste Brasileiro, no primeiro semestre de 2006 foi implantada a STARNET no Brasil, que contava com as quatro antenas instaladas na África (Nigéria, África do Sul, Etiópia e Tanzânia), 2 no Brasil (Fortaleza e Cachoeira Paulista) e 1 no Caribe (Guadeloupe). Estrategicamente, em setembro de 2007 a antena da Nigéria foi deslocada para Campo Grande (MS) por uma cooperação entre a UConn e USP. Em 2008, a USP/UECE e SIMEPAR adquiriram e instalaram mais duas antenas em São Martinho da Serra (RS) e Curitiba (PR), Figura 1. Estas aquisições e expansões visavam melhorar a eficiência de detecção de raios e, ao mesmo tempo, aumentar a área de cobertura, que hoje é nacional.



Figura 1. Localização dos sensores da rede STARNET em 12/2008.

## III. REDE DE MONITORAMENTO DE RELÂMPAGOS A LONGA DISTÂNCIA - STARNET

O sistema STARNET [<http://www.zeus.iag.usp.br>] consiste de uma rede de 10 receptores de frequência muito baixa (VLF) que medem o ruído de rádio emitido por descargas atmosféricas na faixa de frequência de 7-15 kHz. Este sistema foi desenvolvido pela Resolution Displays Inc. [2] e dispõe atualmente das seguintes antenas: Addis Ababa [Etiópia], Dar e Salaam [Tanzânia], Bethlehem [África do Sul], Guadeloupe [Caribe], Campo Grande, Fortaleza, São Martinho da Serra, Curitiba e São Paulo [Brasil], Figura 1, e a partir de 2009 contará com mais uma antena em Manaus.

De forma resumida, o detector de raios da STARNET é composto por uma antena que mede o campo elétrico vertical, um GPS para sincronização dos dados, uma placa de conversão analógico/digital e um computador para aquisição e transmissão dos dados via internet [2]. Dessa forma, cada detector da STARNET mede continuamente o campo elétrico vertical proveniente das ondas de céu, que está sincronizado com o relógio do GPS a uma resolução temporal de 1  $\mu$ seg.

(1) USP - morales@model.iag.usp.br  
 (2) UECE - fsales@uece.br  
 (3) UECE - fgmpinheiro@uece.br  
 (4) COELCE - keyla@coelce.com.br



Finalmente, para a localização dos sferics utiliza-se a técnica de Diferença do Tempo de Chegada (ATD) que foi desenvolvida por Lee [4].

O software operacional de localização de sferics permite a utilização máxima de nove sensores, o que representa 36 pares de ATDs (combinação de nove sensores dois a dois). Adicionalmente, este algoritmo também permite a configuração de soluções por continentes, que no caso da rede STARNET é de 2, ou seja, o Africano e o Americano. Se durante o processo de localização mais de nove sensores estão disponíveis, o algoritmo calcula a solução que tenha o menor erro residual. Adicionalmente, o algoritmo de localização permite a inferência da polaridade da descarga atmosférica, positiva ou negativa, a partir de índices de confiabilidade. [5]

**IV. ACURÁCIA TEÓRICA DAS MEDIDAS**

A acurácia de localização dos raios é feita a partir de simulações de Monte-Carlo, assumindo a presente configuração de sete sensores [2]. Nessa simulação, assume-se que as ATDs possuem um erro aleatório de 20 Us devido ao processamento do sinal, ruído devido a atenuação do sinal e acurácia do tempo do GPS, Figura 2a. Observa-se que a maior parte do Brasil tem um erro esperado inferior a 5 km e aumenta para 10-20 km no resto da América do Sul e oceano Atlântico. Estes resultados indicam que este tipo de sistema de monitoramento é capaz de detectar as tempestades que se formam ou se propagam sobre o Brasil.

Em termos de eficiência de detecção (DE) utilizou-se o modelo [2] que leva em consideração os efeitos de propagação sobre o dia e noite, diferentes superfícies (continente /oceano) e direção de propagação (leste-oeste, oeste-leste, norte-sul e sul-norte), Figura 2b. A utilização da 7 antenas operacionais viabiliza uma DE de 70% sobre a maior parte da América do Sul.

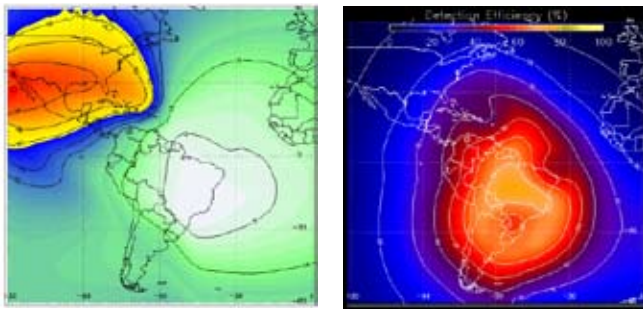


Figura 2. (a) Acurácia de localização (b) Eficiência de detecção teórica

**V. SISTEMA DE APLICAÇÃO DE RAIOS**

Com a disponibilidade da localização de raios em tempo real, foi possível identificar as cidades e os municípios que estavam sendo afetados por estas descargas. Consequentemente, elaborou-se um portal para o projeto de P&D que disponibiliza estas informações em tempo real (Figura 3) em <http://www.zeus.iag.usp.br/coelce>, bem como um acesso às informações históricas e produtos de probabilidade de ocorrência de raios.



Figura 3. Portal principal do projeto de P&D da COELCE, atualizado a cada 10 minutos.

No portal, os usuários podem selecionar as imagens e obter ampliações como as Figuras 4a e 4b. Neste exemplo, Fig. 4a, existem eventos sobre os estados do Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte e Paraíba e, dependendo da densidade de raios, um sistema de alerta é ativado indicando a itensidade e o município afetado. A Figura 4b mostra a extensão das tempestades que apresentam baixa probabilidade de raios.

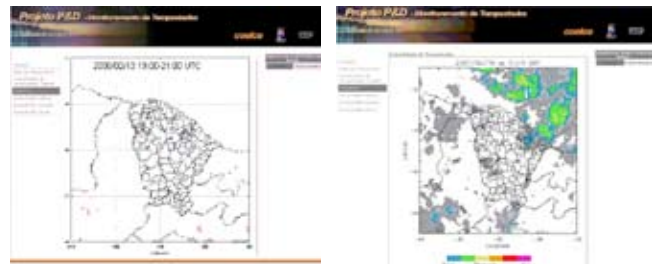


Figura 4. (a) Medidas em tempo real de raios (b) Probabilidade de raios

**VI. AVANÇOS NO MONITORAMENTO**

Com a implantação da rede de detecção de raios para a COELCE, não somente o estado do Ceará estava sendo monitorado, mas também a América do Sul. Este avanço viabilizou um melhor entendimento sobre a distribuição de tempestades no Brasil. A Figura 5 ilustra a distribuição de raios observados durante os meses de dezembro de 2007 e janeiro de 2008. Nota-se, nesse exemplo, durante esses meses de verão, que as regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil apresentavam a maior incidência de raios. A continuação desse monitoramento permitirá uma melhoria nos sistemas de previsão do tempo, bem como na manutenção preventiva do setor elétrico.

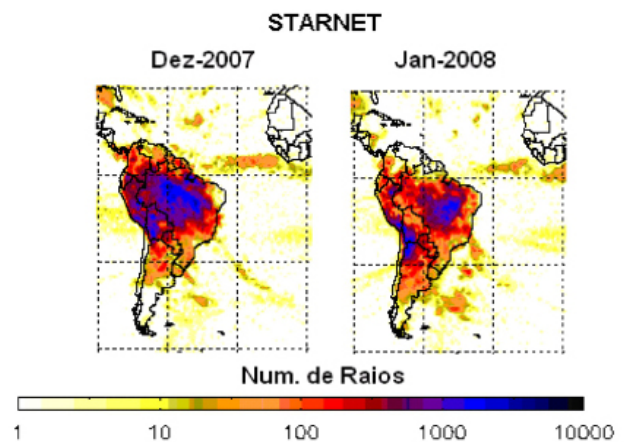


Figura 5. Distribuição de raios sobre a América do Sul durante os meses de Dezembro de 2007 e Janeiro de 2008.

Nas Figuras 6a e 6b são apresentados a densidade de raios por mês e o número de dias com raios em cada município sobre o estado do Ceará para o mês de março de 2008. Observa-se que a regiões a noroeste do Ceará (Santa Quitéria, Santa Cruz, Itatira, Hidrolândia, Irauçuba, Itapipoca e Granja) apresentaram moderada incidência de raios, ou seja, mais de 10 dias com tempestades ou mais de 5 raios por mês em uma área de 10 x 10 km<sup>2</sup>. Os mapas isoceurânicos sobre o estado do Ceará indicam uma atividade que varia de 30 a 60 dias com trovoadas por ano, e os resultados aqui coletados começam a detalhar melhor esta distribuição de raios sobre esta região. Durante este período, somente 3 antenas estavam instaladas no Brasil, o que proporcionava uma eficiência de detecção inferior a 50%, logo com a instalação dos novos sensores no segundo semestre de 2008, mapas mais realísticos serão elaborados.

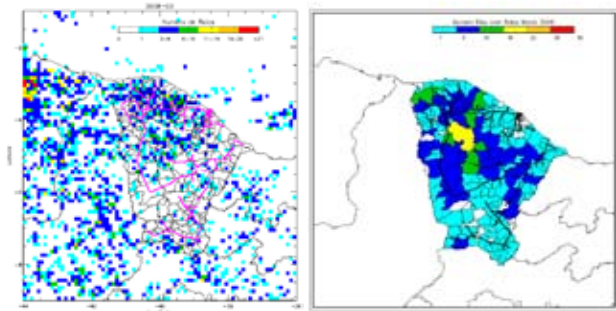


Figura 6. (a) Distribuição de raios por mês (10 x 10 km<sup>2</sup>) e (b) número de dias com raios sobre o estado do Ceará durante o mês de Março de 2008

## VII. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma síntese dos resultados obtidos no projeto de P&D da COELCE que encontram-se disponíveis no portal do projeto. O sistema de detecção de raios prevê uma acurácia de 5-10 km e de 70% (assumindo que cinco antenas no Brasil) sobre o território brasileiro. Os dados apresentados ilustram um grande avanço no monitoramento

de raios sobre a América do Sul, em especial sobre o Brasil e estado do Ceará. Finalmente, este projeto disponibiliza, em tempo real, uma ferramenta útil para as companhias de energia elétrica ou a população em geral que necessite identificar a posição dos relâmpagos e a extensão das tempestades. Consequentemente, mapas mais acurados sobre a frequência de raios poderão ser elaborados ou mesmo auxiliar os institutos que realizam a previsão do tempo.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pierce, E.T., 1977: Atmospheric and radio noise, in lightning, vol. 1, Physics of Lightning, R.H. Golden, 351-384.
- [2] Morales, C. A., 2001: A Long-Range VLF Receiver Network to Continuously Monitor Thunderstorms: Experimental Calibration and Validation: Part I of Ph.D. thesis.
- [3] Anagnostou, E.N., T. Chronis, and D.P. Lalas, 2002: New Receiver Network Advances Long-Range Lightning Monitoring. EOS-Transactions, Vol. 83, No. 50, Pages 589, 594-595.
- [4] Lee, A.C.L., 1986: An experimental study of the remote location of lightning flashes using a VLF arrival time difference technique, Quart. J. R. Met. Soc., 112, 203-229.
- [5] Morales, C.A., Anagnostou, E.; Williams e Kriz, S. 2007: Evaluation of Peak Current Polarity Retrieved by the ZEUS Long-Range Lightning Monitoring System. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, v. 4, p. 32-36.



## COELCE

# Companhia estimula troca de lixo por bônus na conta de luz

Uma economia de 15,3 Gigawatts/hora (GWh) em dois anos foi um dos resultados do projeto desenvolvido pela Companhia Energética do Ceará (COELCE). O montante é equivalente ao suprimento de quase oito mil residências com perfil de consumo da ordem de 80 kilowatts/horas/mês.

O Programa Ecoelce de troca de resíduos por bônus na conta de luz gerou créditos de R\$ 570 mil a 88 mil clientes responsáveis pelo recolhimento de pouco mais de quatro mil toneladas de lixo reciclável como vidro, plástico, papel, metal e óleo.

A COELCE instalou 62 pontos de coleta no Ceará a partir de pesquisas em comunidades de baixa renda de Fortaleza e região metropolitana da capital para montar a arquitetura do programa. Para participar, o cliente procura o posto de coleta ou a associação comunitária e solicita o cartão do Programa Ecoelce.

A cada entrega, o operador do posto registra o volume de resíduos, com informações sobre o tipo de material e peso, e por meio da Máquina de Registro de Coleta calcula o bônus a ser creditado na conta do cliente. Os resíduos recebidos são separados e encaminhados para reciclagem.

Reconhecido inclusive pela Organização das Nações Unidas (ONU), o programa tem como vantagens estimular economia de energia com melhoria de qualidade de vida das comunidades envolvidas tanto pela diminuição da conta de luz quanto pela redução dos resíduos nas vias urbanas.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética do Ceará (COELCE)

**Título:** Programa Coelce de Desenvolvimento Social pela Energia Consumida

**Ciclos:** 2005/2006 e 2006/2007

**Investimento:** R\$ 468.500,00

**Execução:** Universidade de Fortaleza (Unifor) e KNBS Telecomunicações e Informática

# Programa Ecoelce de Troca de Resíduos por Bônus na Conta de Energia

Albert B. Gradvohl<sup>(1)</sup>, Carlos A. Fróes<sup>(2)</sup>, Tiago Carvalho<sup>(3)</sup>, Odailton S. Arruda<sup>(4)</sup>, Vinícius L. Cunha<sup>(5)</sup>, Emanuel A. Diniz<sup>(6)</sup> e João Paulo C. de Assis<sup>(7)</sup>

**Resumo** - A preocupação com o planeta intensificou-se a partir dos anos 70 com a crise petroléira, ocasião em que as questões ambientais começaram a ser tratadas de forma relevante e participativa nos diversos setores socioeconômicos. Preservar o ambiente e economizar os recursos naturais tornaram-se importantes temas de discussão com ênfase no uso racional, em especial de energia elétrica. O processo de reciclagem é muito relevante à medida que o lixo recebe o devido destino, retornando à cadeia produtiva, economizando energia e recursos naturais. Contribuindo para esse contexto, a COELCE implementou o Programa ECOELCE de troca de resíduos por bônus de energia a fim de sensibilizar a população cearense a adotar a coleta seletiva de lixo, além de proporcionar uma fonte extra de renda, com melhoria na qualidade de vida e preservação do meio ambiente.

**Palavras-chave:** Coleta Seletiva, Economia de Energia, Gestão de Resíduos, Meio Ambiente e Reciclagem.

## I. INTRODUÇÃO

O programa consiste na troca de resíduos por créditos na conta de energia dos consumidores, com destinação organizada do material à indústria de reciclagem. O objetivo do empreendimento é organizar um programa de coleta seletiva de resíduos sólidos com valor de mercado e por meio desses, contribuir com a sua destinação, propiciar a liquidez das contas de energia da população, principalmente de baixa renda.

Atualmente, o Programa ECOELCE está presente em 62 comunidades, totalizando 62 postos de coleta, dos quais 35 são fixos. Mais de 88 mil clientes são beneficiados pelo Programa, que contabiliza mais de 4.000 toneladas de resíduos coletados, com geração de créditos de mais de R\$ 570 mil aos clientes. Os postos estão distribuídos pelo estado com abrangência de grande parte da população cearense.

## II. ARQUITETURA DO SISTEMA

Para implantar o Programa, a COELCE realizou pesquisas em comunidades de baixa renda de Fortaleza e Região Metropolitana a fim de identificar os requisitos estruturais a serem atendidos pelo sistema [1].

Iniciou-se, então, o desenvolvimento do sistema de operação e gestão dos resíduos negociados e créditos adquiridos. No sistema desenvolvido, atuam 3 agentes:

- COELCE: operador e gerenciador do sistema de coleta de resíduos e crédito de bônus de energia;
- Posto de Coleta de Resíduos: arrecadador e responsável pela destinação dos resíduos coletados no Programa à Indústria de Reciclagem;
- Cliente: usuário do Programa de troca de resíduos por créditos na conta de energia.

A Figura 1 ilustra os agentes Posto de Coleta e Cliente.



Figura 1. (a) Posto de Coleta; (b) Cliente com o cartão ECOELCE

Os agentes do sistema interagem de forma sistemática e beneficiam-se mutuamente, garantindo a sustentabilidade do Programa e a contribuição para a preservação ambiental, conforme a Figura 2.



Figura 2. Ciclo de créditos do Sistema entre os agentes

## III. COMO PARTICIPAR DO PROGRAMA

Para participar do Programa ECOELCE, o cliente dirige-se a sua Associação Comunitária ou a um Posto de Coleta e solicita o cartão do Programa ECOELCE mediante o preenchimento do Termo de Adesão ao Programa. O usuário recebe o Cartão ECOELCE que possui a identificação da Unidade Consumidora (UC), conforme Figura 3.



Figura 3: Cartão ECOELCE para registro das transações

(1) Universidade de Fortaleza - gradvohl@unifor.br  
 (2) KNBS Telecomunicações e Informática - froes@knbs.com.br  
 (3) KNBS Telecomunicações e Informática - carvalho@knbs.com.br  
 (4) COELCE - odailton@coelce.com.br  
 (5) COELCE - vlconsultoria@coelce.com.br e ecoelce@coelce.com.br  
 (6) COELCE  
 (7) GESTOR Consultoria e Projetos - joapaulo@gestor.srv.br

Em posse dos resíduos coletados e devidamente separados, o cliente desloca-se até um Posto de Coleta munido de seu Cartão ECOELCE. Através da Máquina de Registro de Coleta, o operador do Posto de Coleta registra os resíduos no cartão do cliente, informando o tipo e o respectivo peso, a máquina calcula então o bônus a ser creditado na fatura de energia, conforme Figura 4.



Figura 4.  
(a) Máquina de Registro do ECOELCE  
(b) Registro do resíduo coletado

Os resíduos coletados são devidamente tratados e recebem a destinação dependendo do tipo de material reciclável como ilustra a Figura 5.



Figura 5: (a) Resíduos coletados (b) Reciclagem de latinhas de alumínio

A Figura 6 apresenta o ciclo de troca de informações que sustenta o Programa ECOELCE.



Figura 6: Ciclo de atores e troca de informações

**IV. RESULTADOS**

Na fase atual, já foram contabilizados mais de R\$ 570 mil em créditos aos clientes e arrecadados mais de 4.000 ton em resíduos [2]. O Programa ECOELCE beneficia atualmente mais de 88 mil clientes e possui 62 postos de coleta em 35 municípios, abrangendo Fortaleza, região metropolitana e o interior do Ceará.

Destaca-se também a economia de energia resultante do processo de reciclagem graças ao Programa ECOELCE de acordo com os dados do Dr. Sabetai Calderoni presentes em seu livro “Os Bilhões Perdidos no Lixo”[3]. Os resíduos coletados e a economia de energia são apresentados nas Tabela 1 e 2.

Tabela 1: Volume de resíduos negociados no período 01/10/2006 a 20/11/2008

Resíduos	Peso (ton)	Valor (R\$)
Plástico	727,67	195.875,86
Vidro	645,04	35.889,69
Papel	1.728,00	139.314,55
Metal	961,20	197.445,57
Óleo	5,79	1.639,55
<b>Total</b>	<b>4.067,73</b>	<b>570.066,30</b>

Tabela 2: Economia de Energia proporcionada pelo ECOELCE

Resíduos	Energia elétrica economizada por tonelada de produto (MWh/Ton)	Resíduos arrecadados no projeto (ton)	Energia Elétrica economizada total (GWh)
Metal	5,3	961	5,09
Vidro	0,64	645	0,41
Papel	3,51	1.728	6,07
Plástico	5,06	728	3,68
<b>Total</b>			<b>15,3 GWh</b>

A quantidade de resíduos arrecadados é equivalente à economia de 15,3 GWh de energia nos 24 meses efetivos de operação, o suficiente para suprir mais de 7.950 residências, considerando um consumo médio de 80 kWh/mês.

**V. RECONHECIMENTO E DIVULGAÇÃO**

Dentre os reconhecimentos recebidos pelo Programa ECOELCE, destacam-se:

- O 1º lugar na categoria Integração com a Sociedade no Prêmio FIEC por Desempenho Ambiental em 2007;
- Eleito uma das 25 maiores inovações brasileiras da última década pela pesquisa “O Brasil que Inova” realizada pela Revista Exame e pela consultoria Monitor Group;

- Reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) como um dos mais importantes projetos da América Latina alinhados aos princípios do Pacto Global;
- Um dos dez ganhadores da edição 2008 do World Business and Development Awards (WBDA), dado pela ONU as empresas do setor privado que mais contribuem para atingir os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, conforme Figura 7.



Figura 7: Premiação ONU

O Programa ECOELCE também foi objeto de várias matérias em jornais e reportagens, conforme Figura 8.

**VI. CONCLUSÃO**

O programa apresenta-se como referencial de programa ganha-ganha em toda a cadeia e beneficia todos os participantes do programa. Gera melhoria na qualidade de vida nas comunidades beneficiadas, tanto pela redução do descarte de resíduos sólidos nas vias urbanas quanto pela economia obtida com o uso dos resíduos para o pagamento das faturas de energia elétrica.

O programa ECOELCE cumpre sua função social plena, gerando mudança cultural e de atitude na sociedade com relação a coleta seletiva, incentivando-os a partir da geração de renda para a população, proporcionando descontos em suas contas de energia, e assim, utilizar os recursos economizados para outros fins.

**VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] A. B. Gradwohl. "Reciclando o Lixo. Fortaleza", Ed. Verdes Mares, 2002.
- [2] Sistema ECOELCE "Relatório de Resíduos Coletados no Projeto", Nov. 2008.
- [3] S. Calderoni "Os Biliões Perdidos no Lixo", Ed. Humanitas, São Paulo, 1997.



Figura 8: Matéria em jornal sobre o ECOELCE



# COELCE

## Ferramenta diagnostica falhas em sistemas de transmissão e subestações

A COELCE, em parceria com a Universidade Federal do Ceará (UFC), elaborou um sistema para tornar mais efetivo o controle de falhas no sistema elétrico. Foi desenvolvida uma ferramenta para que as várias informações enviadas quando interrupções acontecem possam ser melhor interpretadas.

O Sistema de Diagnóstico de Falta (SDF) é uma ferramenta integrada a sistemas supervisórios da operação do sistema elétrico, denominados Scada. Ele funciona como um filtro frente à extensa quantidade de informações enviadas pelo Scada ao centro de operação quando ocorrem falhas no sistema elétrico. O grande volume de dados dificulta o diagnóstico do problema e, conseqüentemente, a tomada de decisões para resolvê-los.

Os pesquisadores optaram por uma ferramenta que permite modelar e analisar processos dinâmicos, como as falhas, a partir de uma representação gráfica padrão.

O SDF proposto utiliza informações sobre o funcionamento de relés (dispositivos que controlam circuitos) e disjuntores. A partir da identificação dos equipamentos é possível fazer o diagnóstico do problema, sem precisar considerar a localização da ocorrência.

A pesquisa demonstra que o uso do sistema desenvolvido pela concessionária possibilita o diagnóstico de faltas em sistemas de transmissão e subestações.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Companhia Energética do Ceará (COELCE)

**Título:** Desenvolvimento de uma função avançada para auxílio de operadores de sistemas elétricos no processo de diagnóstico de faltas

**Ciclo:** 2004/2005

**Investimento:** R\$ 248.500,00

**Execução:** Universidade Federal do Ceará (UFC)

# Sistema de Diagnóstico de Falhas Integrado ao Scada dos Centros de Operação do Sistema

E. B. Medeiros<sup>(1)</sup>, A. L. Colaço<sup>(2)</sup>, R. P. S. Leão<sup>(3)</sup>, R. F. Sampaio<sup>(4)</sup> e G. C. Barroso<sup>(5)</sup>

**Resumo** – Os atuais sistemas supervisórios aumentam a confiabilidade dos sistemas elétricos. Tais sistemas (SCADA) oferecem suporte ao pessoal de operação dos sistemas elétricos. Quando ocorrem faltas, uma avalanche de alarmes é enviada pelo SCADA, o que dificulta a identificação dos mesmos. Tal volume dificulta o diagnóstico e a tomada de decisão. Baseado nos dados do SCADA, foi desenvolvido um Sistema de Diagnóstico de Falhas (SDF) que filtra as informações que chegam aos operadores e torna o diagnóstico mais rápido e seguro. O SDF, baseado em Redes de Petri Coloridas, foi aplicado ao eixo Cariré do sistema Sobral II, parte do sistema elétrico da COELCE.

**Palavras-chave:** SCADA, Redes de Petri Coloridas, Sistema de Diagnóstico de Falha.

## I. INTRODUÇÃO

Com a expansão do sistema elétrico foram adquiridos sistemas supervisórios, denominados SCADA. Esses sistemas oferecem maior segurança na operação dos sistemas elétricos, pois permitem a transferência de dados e informações para o centro de operação. Quando ocorre uma falta no sistema, uma avalanche de alarmes é enviada ao centro de operação, o que dificulta a identificação do problema. Tal volume de informações passa a ter pouco valor se não possibilita um rápido diagnóstico.

Esse trabalho apresenta a modelagem e a implementação de um sistema de diagnóstico de falta (SDF), baseado em redes de Petri coloridas (RPC) [1] para auxílio aos operadores dos sistemas elétricos, integrado ao SCADA do COS, capaz de diagnosticar faltas e promover maior segurança e rapidez no restabelecimento do sistema elétrico após uma falta.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Ferramentas Utilizadas em SDFs

Diferentes ferramentas têm sido utilizadas para se obter um SDF eficiente: Redes Neurais Artificiais [2]; lógica fuzzy [3] e redes de Petri coloridas [4].

### B. Redes de Petri coloridas (RPC)

As RPC são uma ferramenta matemática, capaz de modelar e analisar Sistemas a Eventos Discretos (SED). Nos SED, as mudanças ocorrem em instantes precisos, a partir de estados definidos. A mudança de estado se dá quando há um evento [1]. No sistema elétrico, evento é uma ocorrência que altera o fluxo de energia, com geração de mudança de estado e afetando seu funcionamento.

O sistema elétrico é caracterizado como contínuo no tempo, no entanto, seu sistema de proteção pode ser visto como um SED. Uma falta no sistema elétrico provoca mudança do estado do relé. A atuação do relé provoca alteração do estado do disjuntor, que interrompe a falta e muda o estado do sistema de energizado para desenergizado.

## III. ESTRUTURA DO SDF

O SDF desenvolvido é uma evolução do SDF proposto em [4]. O SDF utiliza informações de relés e disjuntores e é indiferente onde o evento ocorre, o que importa são os equipamentos envolvidos e a partir deles é que se dá o diagnóstico.

A RPC do SDF modela todo o sistema de proteção do sistema elétrico. Foi desenvolvido um único SDF centralizado no COS capaz de processar as informações do SCADA e realizar os diagnósticos para faltas ocorridas em subestações, linhas de transmissão e alimentadores. No modelo anterior, havia um SDF para cada subestação.

A Figura 1 apresenta a estrutura do SDF, desde os dados do SCADA até o diagnóstico entregue ao operador no COS.

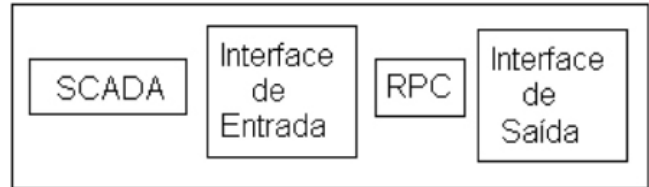


Figura 1. Estrutura do SDF

Devido ao grande volume de informações entregue pelo SCADA a cada instante, é preciso que haja um filtro das informações relevantes para o diagnóstico. Estes dados são filtrados pela Interface de Entrada do SDF, que os transforma em marcação inicial para a RPC.

A RPC é então executada, quando se chega a uma marcação final. A partir desta marcação, obtém-se o diagnóstico pela comparação da marcação com uma tabela com os possíveis diagnósticos do sistema.

O diagnóstico será, então, entregue ao operador e nele constarão as informações sobre equipamentos atuados, função de proteção, tipo de falta e diagnóstico.

### A. Descrição do SDF

Na Tabela 1 é apresentado um exemplo de códigos mnemônicos utilizados na composição da marcação inicial da RPC. O primeiro campo indica o código da subestação, o segundo aponta o código do equipamento e o terceiro, a função relativa à atuação do equipamento.

Tabela 1. Exemplos de mnemônicos utilizados

	Mnemônico	Descrição
Subestação	CRE	Cariré
Equipamento	12J6	Código de descrição do relé ou do disjuntor
Função	51C	Sobrecorrente temporizada na Fase C

### B. Modelo RPC

A RPC é o bloco responsável pelo diagnóstico. A Figura 2 apresenta as declarações da RPC (conjuntos de cores e variáveis).

```

▼Declarations
▼Standard declarations
▼colset DATA = string;
▼colset INT = int;
▼colset MNEMONICO = product DATA * DATA * DATA;
▼colset MNEMONICO2 = product DATA * DATA * DATA*INT;
▼colset MNEMONICO3 = product DATA * DATA * DATA*DATA;
▼var x: DATA;
▼var y,yaux,y1,y2: DATA;
▼var z,zaux: DATA;
▼var r,raux: INT;
▼SDF
  
```

Figura 2. Declarações do Modelo RPC

(1) COELCE - eudes@coelce.com.br  
 (2) UFC - aninha\_colaco@yahoo.com.br  
 (3) UFC - rleao@dee.ufc.br  
 (4) COELCE - rfurtado@coelce.com.br  
 (5) UFC - gcb@fisica.ufc.br



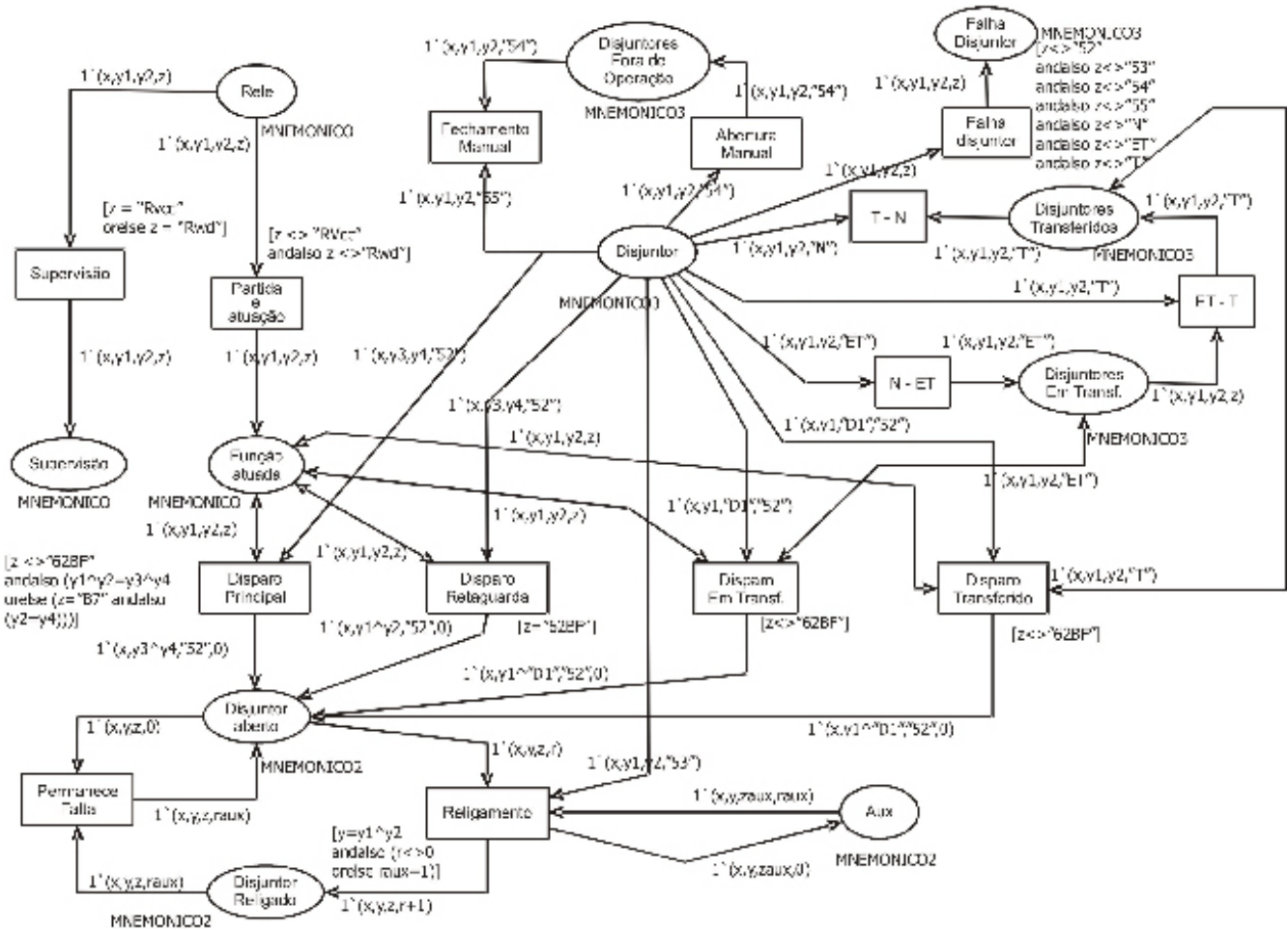


Figura 3. Modelo em Rede de Petri Colorida

A Figura 3 apresenta a RPC, que utiliza dados provenientes do SCADA como marcação inicial. A partir dessa marcação, ocorre o disparo das transições para obtenção de uma marcação final, que determina o diagnóstico.

A RPC possui dois lugares que recebem fichas na marcação inicial ("Rele" e "Disjuntor") e oito lugares que podem receber fichas na marcação final ("Supervisão", "Função Atuada", "Disjuntores fora de Operação", "Falha Disjuntor", "Disjuntor Transferido", "Disjuntor Em Transferência", "Disjuntor Aberto", "Disjuntor Religado"). Essa marcação final é comparada a uma tabela de diagnósticos.

**IV. ESTUDO DE CASO**

Seja uma ocorrência real no sistema elétrico da COELCE: "falta em um ponto de um alimentador da subestação Araras". Após a falta, chegaram pelo SCADA, dentre outros, os seguintes dados: (relé "ARU12Y2" atuou com função de proteção '51B'; disjuntor "ARU12Y2" abriu; em seguida houve fechamento do disjuntor; o relé atuou novamente a função '51B'; e o disjuntor abriu novamente). Estes dados foram transformadas em marcação inicial da RPC, que foi executada, disparando suas transições até alcançar a marcação final. Nessa marcação o lugar "Função Atuada" ficou com a ficha ("ARU", "21Y2", "51B") e o lugar "Disjuntor Aberto" ficou com a ficha ("ARU", "21Y2", "52", 3). Comparando a marcação com a tabela de diagnósticos obtém-se o seguinte diagnóstico: "Falta na fase

B do alimentador '01Y2' da subestação Araras. Função de sobrecorrente temporizada e realização de três religamentos sem sucesso".

**V. CONCLUSÕES**

Tendo em vista as diversas topologias de sistemas elétricos, as RPC se mostram uma ferramenta adequada para desenvolvimento de SDF, pois são capazes de diagnosticar faltas em sistemas de transmissão e subestações. Esta flexibilidade se mostra uma vantagem e torna o SDF independente da configuração do sistema. Todos os testes realizados tiveram resultados satisfatórios. Atualmente está em desenvolvimento um novo modelo RPC como alternativa à tabela de diagnóstico.

**VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] Cardoso, J., Valette, R., Redes de Petri, Florianópolis: Ed. da UFSC, 1997, p. 122.  
 [2] M. A. F. Ramos, M. M. B. R. Velasco, M. A. Pacheco, "Sistema de Identificação e Localização de Faltas em Linhas de Transmissão Baseado em Redes Neurais," apresentado no Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Minas Gerais, 2003.  
 [3] Z. X. Yang, K. Suzuki, Y. Shimada and H. Sayama, "Fuzzy Fault Diagnostic System based on Fault Tree Analysis" in Proc. 1995 International Joint Conference of the Fourth IEEE International Conference on Fuzzy Systems and The Second International Fuzzy Engineering Symposium, pp. 165-170.  
 [4] R. F. Sampaio, G. C. Barroso e R. P. S. Leão. (2005). Sistema de Diagnóstico de Faltas para Subestações Baseado em Redes de Petri. SBA Controle & Automação. Vol 16 N° 04.



# ENERSUL

## Sensor detecta gases dissolvidos em óleo de transformadores

Técnicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Mato Grosso do Sul (Ipetec) e do Centro de Ensino Superior de Campo Grande (Cesup) para o programa de P&D da ENERSUL desenvolveram um dispositivo para aferir a qualidade de óleos de transformadores por meio da análise com raios infravermelhos.

O protótipo é composto por um sistema eletrônico com capacidade de tomada de decisão, acoplado a outro sistema de emissão e recepção de infravermelho capaz de identificar os principais gases dissolvidos no óleo isolante de transformadores. Após a identificação, o sensor gera um protocolo com dados a ser transmitido à central de controle via tecnologias de comunicação móvel como GPRS/GSM.

O equipamento piloto é portátil e deve ser instalado no registro de drenagem do óleo. Essas informações permitem a realização de manutenções preventivas com eficiência, o que é fundamental para melhoria da qualidade e da continuidade do fornecimento de energia pelas concessionárias. O modelo foi validado em laboratório e encontra-se em teste na distribuidora para avaliação de sua performance.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A (ENERSUL)

**Título:** Desenvolvimento de Sensor infravermelho para detecção on-line de gases dissolvidos em óleo isolante de transformadores

**Ciclos:** 2005/2006 e 2006/2007

**Investimento:** R\$ 399.940,00

**Execução:** Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Mato Grosso do Sul (IPETEC)

# Desenvolvimento de Sensor Infravermelho para Detecção online de Gases Dissolvidos em Óleo Isolante de Transformadores

Jacyr M. Filho<sup>(1)</sup>, Gerson A. C. Nonato<sup>(2)</sup>, Edson T. Miyamoto<sup>(3)</sup>, José. W. Scucuglia<sup>(4)</sup>, Lauro. C. Cruz Júnior<sup>(5)</sup>, Antonio. M. Reis<sup>(6)</sup>, Moisés Suzuqui<sup>(7)</sup>, Uender. C. Faria<sup>(8)</sup>

**Resumo** - O presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um equipamento microcontrolado portátil para detecção on-line de gases dissolvidos em óleo de transformadores. O equipamento proposto é composto de um sistema eletrônico com capacidade de tomada de decisão e acoplamento a um sistema de emissão e recepção de infravermelho, de forma a supervisionar e identificar os principais gases dissolvidos em óleos de transformadores (dióxido de carbono, metano, etileno e propano). Possui ainda memória de massa para armazenamento dos eventos e sistema de comunicação via GPRS/GSM com a central de operação. Ao final da pesquisa foi obtido um dispositivo portátil e de fácil manuseio para ser acoplado na saída de esgotamento de óleo de transformadores de força, que identifica automaticamente os referidos gases dissolvidos no óleo, assim que surgirem, promovendo agilidade na detecção desses gases dissolvidos em óleo de transformadores de força. O protótipo foi validado em laboratório e encontra-se em teste na concessionária de energia para avaliação da performance do equipamento desenvolvido.

**Palavras-chaves:** Detecção de Gases; Infravermelho, Transformadores de Força.

## I. INTRODUÇÃO

Com a ampliação constante do sistema elétrico e o consequente aumento da complexidade de sua distribuição, a utilização de dispositivos de supervisão e controle, que sejam ao mesmo tempo eficientes e de custos atrativos, cada vez mais se tornam importantes para melhoria da qualidade e continuidade do oferecimento dos serviços pelas concessionárias de energia elétrica.

Atualmente, a manutenção de máquinas e equipamentos é considerada um alto ponto de redução de custos das empresas. Diversas áreas têm considerado a manutenção com base nas condições de operação do equipamento, a qual prevê o monitoramento e o diagnóstico de forma contínua ou periódica de alguns parâmetros para se estimar as condições atuais e remanescentes da vida útil. A manutenção proporciona uma integração entre as condições do material, desempenho do equipamento, taxa de degradação e ações preventivas.

A proposta desse projeto foi desenvolver um dispositivo microcontrolado com infravermelho para detecção online de gases dissolvidos em óleo de transformadores. O equipamento proposto é composto de um sistema eletrônico com capacidade de tomada de decisão e acoplamento a um sistema de emissão e recepção de infravermelho, de forma a supervisionar e identificar os principais gases dissolvidos em óleos de transformadores (acetileno, etileno, metano, etano, monóxido de carbono, nitrogênio e hidrogênio).

A interação da radiação infravermelha (IR) com gases é bem conhecida e pode se manifestar por absorção, espalhamento e emissão de radiação. Isso porque a energia abrangida pela radiação IR pode corresponder à energia de vibração das moléculas em questão. A relação entre a energia luminosa (E) e o comprimento de onda da radiação é dado pela relação  $E = h \cdot \nu$ , em que h é a constante de Planck ( $h = 6.62 \times 10^{-34}$  Js) e  $\nu$  é a frequência (em Hz) da radiação. Esta, por sua vez, está relacionada ao comprimento de onda da radiação por  $c = \nu \cdot \lambda$ , onde c é a velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m/s).

O sensor desenvolvido utiliza microcontroladores de alta performance e, quando instalado no transformador, supervisiona a qualidade do óleo em tempo real. Ao surgimento de gases dissolvidos, o sensor identifica os mesmos e disponibiliza, por um protocolo de comunicação de dados específico, a informação para ser transmitida à central de controle.

Com esse dispositivo espera-se obter uma ferramenta nacional com alta tecnologia agregada para monitorar em tempo real a qualidade do óleo de transformadores e subsidiar as realizações de manutenções preventivas.

## II. METODOLOGIA

Após a realização de uma revisão bibliográfica sobre detectores de gases dissolvidos em óleo de transformadores,

iniciou-se a definição das características operacionais do sistema, seguidas das etapas:

- Definição da topologia do equipamento;
- Ensaios experimentais e especificações técnica definiu-se as características espectroscópicas do sensor;
- Desenvolvimento do hardware baseado na topologia estabelecida. Foram selecionados, adquiridos e comissionados os componentes necessários para a implementação do hardware;
- Desenvolvimento do software para programação de parâmetros de hardware;
- Realização de testes e ajustes dos sistemas para validação do equipamento piloto.

## III. PREPARAÇÃO DO TRABALHO

No desenvolvimento do equipamento proposto, foram seguidas as seguintes etapas:

### A. Concepção e Definição da Topologia

Inicialmente foi realizado o levantamento de artigos e comunicados técnico-científicos a respeito de sistemas de detecção e emissão infravermelha, bem como o princípio teórico do sistema, a Lei de Beer-Lambert.

O estudo apresentou cinco desdobramentos:

- 1) Estudo do sistema com função de porta amostras (no caso, a composição de óleo + gás)
- 2) Possíveis emissores de luz infravermelha
- 3) Detectores de luz infravermelha
- 4) Filtros
- 5) Fibras ópticas

### B. Desenvolvimento do Protótipo

Realizou-se testes com a emissão do infravermelho e no desenvolvimento do protótipo do sensor pretendido com base em óleos novos e já utilizados.

Em relação às amostras de óleo enviadas para testes:

- i) Obtenção de espectros de absorção (absorbância) na faixa de 3000 a 6200  $\text{cm}^{-1}$  (que corresponde a 1300 nm a 3500 nm), para verificar a absorção do óleo nessa região;
- ii) Determinação do comprimento de onda de referência (no qual não há absorção do óleo), na faixa de 1300 nm.

Foram realizadas medidas comparativas de dois tipos de óleo. O primeiro sem uso (chamado de óleo novo) e o

(1) ENERSUL - jacyr.muniz@enbr.com.br  
 (2) ENERSUL - gerson.nonato@enbr.com.br  
 (3) ENERSUL - edson.miyamoto@enbr.com.br  
 (4) IPETEC - scucuglia@nastek.com.br  
 (5) IPETEC - lauro@nastek.com.br  
 (6) IPETEC - reis@nastek.com.br  
 (7) IPETEC - moises.suzuqui@nastek.com.br  
 (8) IPETEC - uendercf@nastek.com.br

segundo em uso e com coloração amarela (chamado de óleo usado). Os espectros foram obtidos no laboratório de espectroscopia da UFJF.

O sinal foi amplificado por um detector síncrono Lock-In SRS540, na escala de 20mV (para a referência e 10 mV para o sinal do óleo). O chopper foi utilizado em 14 Hz, e para a conversão analógica digital um conversor ADC.

O estudo do comportamento da absorção do óleo na faixa do infravermelho próximo mostrou claramente há mudanças estruturais na composição do óleo, e que as duas principais bandas de absorção estão centradas em 1700 nm e 2300nm.

O protótipo apresentou dimensões máximas de 20 x 30 cm, com inclusão de suportes para LED e fotodetectores, cubeta para o óleo. Esta última pode ter dimensões que devem ser ajustadas entre 1 a 10 cm. Este valor depende essencialmente de dois fatores:

1) Quanto maior a espessura de material (óleo), mais sensível se torna o aparelho;

2) Quanto maior a espessura do óleo, maior é a divergência do LED, o que pode acarretar perda de sinal no fotodetector. Assim, o protótipo prevê a necessidade de instalação de lentes colimadoras para diminuir esta divergência. Usualmente, os LED apresentam divergência de 15°.

Posteriormente foi completado o estudo da distância de colimação dos LED e o ajuste dos suportes do protótipo. Além disso, foi realizado um estudo do valor da seção de choque de absorção dos gases, especialmente do metano. Esta etapa permite a determinação quantitativa do gás, em unidade de moléculas/cm<sup>3</sup>. O procedimento é análogo para os outros gases de interesse.

Após o recebimento dos LED e fotodetectores, juntamente com seus respectivos driver e amplificador, foi iniciado o teste individual de cada uma das partes adquiridas e a adequação das peças à montagem experimental de teste, a saber:

Teste dos LED 16, 19, 33, 34, 43 e 46

Teste dos fotodiodos PD 25,36

Teste do driver D31

Teste do amplificador AM-07

Foram projetados e confeccionados suportes de Teflon para os LED, na oficina mecânica da UFJF. Estes suportes foram acoplados a suportes ajustáveis fixos numa plataforma metálica previamente adquirida no projeto. Também foram confeccionados suportes para os fotodiodos, também acoplados a suportes ajustáveis.

Os cabos de conexão (Synchro) e extensão para o amplificador e driver tiveram que ser confeccionados no laboratório, uma vez que os mesmos não são de padrão encontrado usualmente no Brasil, muito embora sejam de fácil construção.

Foi montado um trilho para facilitar o movimento unidimensional das peças (LED e fotodiodo), de forma a testar tanto o driver quanto o amplificador.

Os resultados observados foram os seguintes:

1) O driver funciona adequadamente, tanto no modo pulsado como no modo quase contínuo (QCW). Estes testes foram feitos com osciloscópio.

2) O amplificador funciona adequadamente quando se medem sinais luminosos altos, como por exemplo, de LED visíveis (no caso, utilizamos um LED verde).

Após o cumprimento dessa etapa, continuaram-se os testes, inclusive de reprodutibilidade das medidas e flutuações de sinais em função de parâmetros externos como temperatura, luz ambiente e cargas estáticas. Além disso, foi iniciada a construção do protótipo, com propostas bem definidas.

Na sequência do desenvolvimento foram realizados testes específicos em relação ao desempenho dos itens importados para a detecção de gases. Foram escolhidas combinações apropriadas de pares de LED e fotodetectores, de forma a verificar sua eficiência na detecção dos gases de interesse. Teve-se especial cuidado na observação das condições adequadas de uso e eventuais problemas de operação.

Foram escolhidos os seguintes pares de LED e fotodiodos:

1) LED16 e PD25, sensível ao etano.

2) LED33 re PD36, para detecção de etano.

3) LED31 e PD36, como combinação de referência para o etano.

Após análise comparativa verificou-se que a melhor combinação de variáveis é com corrente na posição 3, largura do pulso de 8 s, frequência de repetição do pulso de 16 kHz, ganho do amplificador em x10, e distância entre o LED e o detector de 5 cm. No entanto, admitimos a extensão dessa distância até 10 cm, a qual faz aumentar a sensibilidade do sistema à presença de gás. O custo é a diminuição do sinal do amplificador para 411 mV, o que está ainda numa escala totalmente satisfatória. Nesse caso a presença da cubeta de quartzo resultou numa diminuição do sinal para 400 mV.

### C. Validação do Sistema

No decorrer da execução do trabalho foi verificado que a sensibilidade do sistema para a mistura gás-óleo não é adequada. Isso porque o sistema mostrou-se eficiente para detectar gás puro (realizado em cubeta de 7,5 cm de comprimento). Na mistura óleo-gás, o comprimento da cubeta não pode ser superior a 1 cm, uma vez que o óleo diminui a intensidade luminosa transmitida de forma excessiva. Assim, partiu-se para a separação prévia do óleo e do gás.

Posteriormente, foi realizado um melhoramento do procedimento de acordo com a norma técnica ABNT NBR 7070, que trata da amostragem de gases e óleo mineral isolante de equipamentos elétricos e análise dos gases livres e dissolvidos. Essa nova configuração é mostrada na figura 15.

A proposta consistiu na separação das fases, via aquecimento do óleo usado até a temperatura de 60°C, em um Erlenmeyer de 250 ml, com filtro de PTFE. O sistema está conectado à cubeta de 7,5 cm e o gás é dirigido para a mesma através do uso de uma bomba de vácuo manual.

Após os primeiros testes, verificou-se o seguinte: o sistema de fato tornou-se muito mais sensível; a quantidade de óleo utilizado foi de 30 ml; o sinal elétrico no detector, na ausência de gases foi em média de 400 mV, utilizando como LED de excitação o LED34 e como detector o PD36; ao iniciar o aquecimento do óleo, foi possível observar visualmente o desprendimento de gases; o sinal no detector passou em média de 400 mV para 370 mV o que mostra um grande aumento de sensibilidade em relação às medidas diretas feitas na mistura óleo-gás. Esta variação de tensão é suficiente para tornar o aparelho funcional.

Subsequentemente, adequou-se o sistema utilizado para a separação de gás-óleo no protótipo construído, de forma simples. Nesse caso não foi necessário aquecer o óleo, uma vez que o mesmo encontra-se em temperaturas suficientemente elevadas. Outros filtros com diferentes porosidades foram testados para assegurar que não haverá passagem de óleo para a cubeta de gás.

O protótipo foi implementado em laboratório, como mostra a figura 1.

Após validação do sistema foi construído um dispositivo mecânico que atendesse as especificações do modelo determinado.

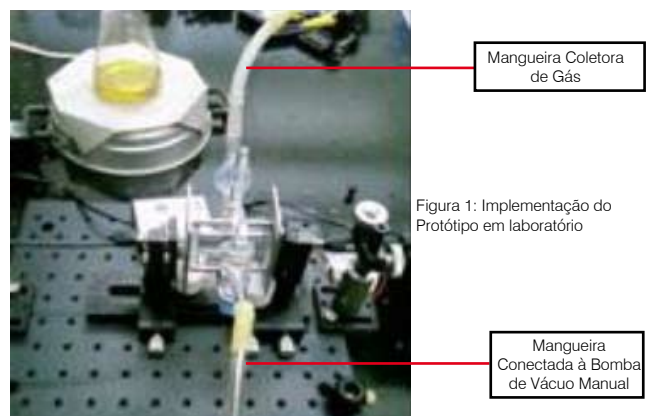


Figura 1: Implementação do Protótipo em laboratório

#### IV. RESULTADOS

Foi obtido um equipamento piloto para detecção de gases dissolvido em óleo de transformadores de força (dióxido de carbono, metano, etileno e propano). O equipamento é portátil e é instalado no registro de drenagem do óleo. Por meio de avaliações de emissão e recepção de irradiações na região do infravermelho, o dispositivo desenvolvido detecta e informa o surgimento dos gases supracitados, como mostra a figura 2.



Figura 2: Equipamento piloto com sistema de processamento dos dados.

#### V. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento da pesquisa foi adquirida tecnologia em detecção de gases específicos com uso de emissão em infravermelho. Toda a metodologia de detecção dos gases propostos dissolvidos em óleo foi obtida no decorrer do desenvolvimento dos trabalhos. Foi verificado que é necessário separar o gás do óleo por membranas específicas para que se pudesse obter sensibilidade satisfatória na detecção. O modelo tecnológico para execução dos procedimentos definidos na metodologia foi obtido de forma satisfatória. O protótipo foi validado em laboratório e se encontra em teste na concessionária de energia para avaliação da performance do equipamento desenvolvido. A pesquisa poderá servir de base para a construção de um futuro equipamento cabeça de série.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LOURENÇO, A. C. Circuitos digitais. 2.ed. São Paulo: Érica,1996.
- [2] RASHID, M. H. Spice for circuits and eletronic using pspice. 2nd. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1995.
- [3] REIS, M. C. Eletrônica digital. Caraguatatuba: Letron, 1990.
- [4] TAUB, H. Circuitos digitais e microprocessadores. São Paulo: McGraw-Hill, 1984.
- [5] RODDY, D.; COOLEM, J. Eletronic communication. 4th. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1985.



# ENERSUL

## Inteligência artificial ajuda combater furto de energia

Técnicos da ENERSUL e da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul criaram uma ferramenta que usa técnicas de inteligência artificial para identificar fraudes e erros de medição do consumo.

O Sistema de Identificação de Fraudes e Erros de Medição (SIFEM) parte de um banco de dados e do histórico de consumo dos clientes que, a partir do processo de Knowledge Discovery in Data-Base (KDD), consegue identificar comportamentos discrepantes que indicam a possibilidade de fraude.

Com técnicas de inteligência artificial conhecidas como Conjuntos Incertos, Redes Neurais Auto-organizáveis e Árvores de Decisão foi possível, após a extração de amostra de unidades consumidoras, obter uma lista de clientes "suspeitos", passíveis de fiscalização pela distribuidora.

A utilização experimental do SIFEM apontou para taxas de acerto de 34%, consideradas significativas pela empresa. O sistema é paramétrico e os resultados são obtidos com um balanceamento entre a taxa de acerto e a quantidade de clientes inspecionados.

Com sua implementação, torna-se possível fiscalizar menos clientes e alcançar maior percentual de acerto. Os pesquisadores consideram que o SIFEM pode ser usado com sucesso no combate ao furto de energia pelas distribuidoras e, como detecta anormalidades no consumo, gera ainda como subproduto a identificação de clientes em vias de desligamento ou unidades consumidoras desocupadas. A empresa deverá continuar a trabalhar no aprimoramento da ferramenta por meio de um novo projeto.

### FICHA TÉCNICA

**Empresa:** Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A (ENERSUL)

**Título:** Desenvolvimento do sistema de identificação de fraudes e erros de medição (SIFEM) usando técnicas de inteligência artificial

**Ciclo:** 2002/2003

**Investimento:** R\$ 257.696,00

**Execução:** Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

# Desenvolvimento do Sistema de Identificação de Fraudes e Erros de Medição Usando Técnicas de Inteligência Artificial (SIFEM)

José Reis<sup>(1)</sup>, Evando Colman<sup>(2)</sup>, João O. P. Pinto<sup>(3)</sup>, José E. Cabral<sup>(4)</sup> e Evandro M. Martins<sup>(5)</sup>

**Resumo** – O SIFEM foi desenvolvido para combater um problema recorrente na distribuição de energia elétrica, que são as perdas comerciais provocadas por fraudes e erros de medição em consumidores de baixa tensão. Tomando como entrada o banco de dados e o histórico de consumo de clientes, o SIFEM realiza uma análise baseada em técnicas de inteligência artificial para indicar quais clientes que apresentam anormalidades de consumos com alta probabilidade de fraude ou erro de medição. Portanto, o sistema tem a função de orientar o processo de inspeção da concessionária, aumentando as taxas de acerto e reduzindo as perdas comerciais. O SIFEM está em pleno funcionamento, com acertos entre 22% e 34%, variando de acordo com os perfis de clientes. Neste artigo serão destacados a metodologia e os resultados até então alcançados.

**Palavras-chave:** fraudes, erros de medição, inteligência artificial, mineração de dados.

## I. INTRODUÇÃO

A recuperação de perdas de receitas ocasionadas por fraudes e erros de medição é essencial para manter o equilíbrio financeiro do caixa das empresas distribuidoras de energia elétrica. Porém, a identificação das unidades consumidoras com irregularidades é uma tarefa complexa. Normalmente, esta tarefa envolve inspeção in loco, como ilustrado na figura 1. Ao se considerar o elevado número de unidades consumidoras e a não-linearidade do problema, os custos envolvidos assumem valores inviáveis. Como resultado, o número de fraudes detectadas na inspeção é baixo comparado com o número total de inspeções.

No entanto, sabe-se que as empresas de distribuição de energia elétrica armazenam informações de seus clientes em banco de dados. Essas informações podem ser utilizadas para a identificação de padrões ou perfis de comportamento. Ao se deparar com um perfil que indique um comportamento fraudulento, por exemplo, o especialista pode recomendar que os clientes com esse perfil sejam inspecionados. O processo de descoberta destes padrões de comportamento a partir de banco de dados é chamado Knowledge Discovery in Database (KDD) [1]. O SIFEM é um sistema que implementa o processo de KDD com uso de algumas técnicas de Inteligência Artificial, como: Rough Sets (ou Conjuntos Incertos) [2], Redes Neurais Auto-Organizáveis (SOM) [3] e Árvores de Decisão [4].

A utilização do SIFEM pode ser descrita nas seguintes etapas realizadas pelo especialista: 1) extração de uma amostra do banco de dados de clientes; 2) submissão da amostra ao SIFEM; 3) obtenção de uma lista de clientes suspeitos. De posse desta lista, o especialista pode providenciar a inspeção de todos os suspeitos ou adotar outros critérios pessoais, valendo-se da experiência ou da quantidade de inspeções que pretenda efetivar.



Figura 1. Técnico da concessionária realizando inspeção

## II. METODOLOGIA

A metodologia empregada no desenvolvimento do SIFEM corresponde às etapas típicas do processo de KDD, que serão descritas a seguir.

### A. Obtenção do Banco de Dados

Foram selecionadas amostras de dados de clientes classificados como normais e fraudadores, ou seja, clientes que já tinham sofrido pelo menos uma inspeção.

### B. Pré-tratamento dos Dados

Para adequar o banco de dados ao formato desejado à aplicação das técnicas de IA, foram aplicadas algumas operações, como discretização, média e variância. Comumente esta etapa demanda a maior parte do tempo de desenvolvimento de sistemas baseados em IA, visto que o volume de dados é grande e a definição do formato ideal é fruto de tarefas experimentais [5].

### C. Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial

Com os dados transformados e formatados adequadamente, foi aplicada uma série de técnicas de IA, de forma isolada e híbrida, com objetivo de identificar aquelas com melhores resultados. Destacaram-se Rough Sets, SOM e Árvore de Decisão.

Rough Sets contribuiu significativamente na identificação dos atributos mais relevantes para a análise, ou seja, na busca do chamado reduto [6]. Isso permitiu a eliminação dos atributos de clientes que, apesar de conter uma informação, não carregam conhecimento relevante para a identificação de suspeitos.

A técnica SOM propiciou a organização dos históricos de consumo dos clientes amostrados em grupos ou perfis de consumo, tarefa conhecida como agrupamento ou clustering [7]. Com os clientes agrupados pelo comportamento de consumo, foi possível definir perfis típicos de clientes fraudadores, bem como perfis de clientes regulares. Em princípio, a simples comparação das características de um cliente em análise com os perfis fraudulentos permite ao SIFEM apontar um grau de suspeita ao cliente.

A Árvore de Decisão é uma técnica simples e eficaz de classificação de padrões [8]. Sua aplicação comum segue os seguintes passos: 1) divide-se a base de dados em conjunto de treinamento e teste; 2) submete-se o conjunto de treinamento a um algoritmo de construção da árvore de decisão; 3) submete-se o conjunto de teste à árvore construída; 4) caso a árvore consiga classificar o conjunto de teste a partir dos dados do conjunto de treinamento, significa que os dados seguem um padrão e que a árvore poderá ser usada na classificação de futuros dados não classificados.

(1) ENERSUL - jose.reis@enbr.com.br

(2) ENERSUL - colman@enbr.com.br

(3) UFMS - jpinto@nin.ufms.br

(4) UFMS - jcabral@batlab.ufms.br

(5) UFMS - mazina@del.ufms.br

#### D. Realização de Inspeções para Validação

Após a composição das técnicas adequadas em um sistema híbrido de identificação de suspeitos, dados de clientes sem classificação foram selecionados e submetidos ao SIFEM, que gerou a lista de suspeitos. Estes foram inspecionados in loco e os resultados foram usados na retroação e calibragem dos parâmetros do SIFEM.

### III. RESULTADOS E BENEFÍCIOS

O SIFEM, cuja interface principal está ilustrada na figura 2, possui três módulos, a saber:

1. Carga: nesta opção o usuário pode carregar um lote de dados para dentro do SIFEM, fazendo o upload de um arquivo do Windows Excel (.xls) formatado conforme modelo pré-definido. Futuramente, pretende-se suprir esta etapa do processo com o acesso direto ao banco de dados da concessionária, respeitando todas as questões de segurança e sigilo necessárias. Também é possível realimentar o sistema com o resultado de inspeções de campo apontadas pelo próprio sistema, dando subsídio para a opção "Resultados" do menu.

2. Análise: no item "Iniciar", o usuário escolhe um lote (dentre aqueles carregados anteriormente) para ser analisado pelo sistema, de acordo com a metodologia descrita neste trabalho. Ao clicar em "Visualizar", o SIFEM irá para o ambiente de visualização, ilustrado na figura 2, e mostrará o gráfico de consumo dos clientes do lote, podendo-se filtrar somente aqueles clientes considerados suspeitos de fraude ou erro de medição em cada lote. No item "Baixar Lista", o usuário poderá salvar a lista de suspeitos para posterior inspeção. Em "Configurações" é possível alterar alguns parâmetros de funcionamento do SIFEM.

3. Resultados: esta opção permite a visualização dos resultados alcançados após a inspeção in loco, de tal sorte que seja possível avaliar a capacidade do sistema por meio de suas taxas de acerto por lote ou globais.

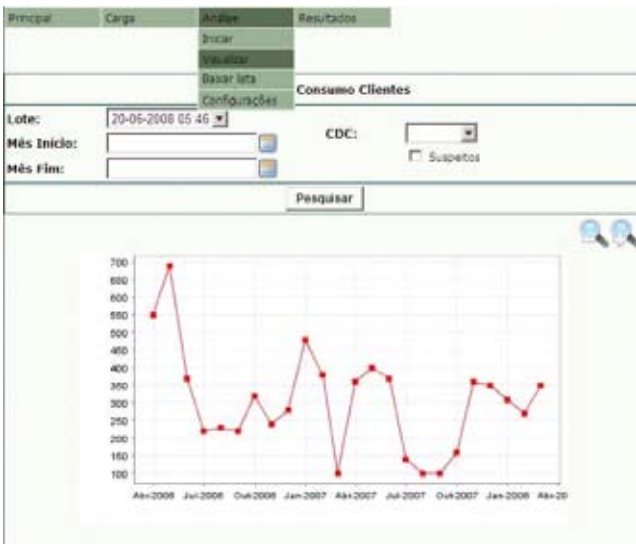


Figura 2. Interface principal do SIFEM.

A tabela 1 apresenta as taxas de acerto médias alcançadas nas inspeções orientadas pelo SIFEM, considerando os principais perfis de consumidores de baixa tensão. Em uma análise superficial, os números da tabela 1 podem parecer baixos. Porém, considerando a complexidade do problema, principalmente devido à dificuldade de diferenciação entre fraudadores e comportamentos atípicos lícitos, os resultados são satisfatórios.

Para cada uma das classes de consumo da tabela (residencial, comercial e industrial), ocorreu maior taxa de acerto no tipo de ligação mais representativo da classe, ou seja, aquele que comporta um maior número de clientes. Portanto, para os clientes agrupados como residenciais

monofásicos, comerciais trifásicos ou industriais trifásicos, de cada 3 inspeções orientadas pelo SIFEM, uma foi positiva (fraude ou erro de medição). Isso sem contar que muitos falsos positivos (clientes apontados como fraude, mas com resultado de inspeção normal) não contabilizados como acertos são unidades consumidoras à venda, de aluguel ou desocupadas, as quais naturalmente apresentam consumos anormais que podem passar por suspeitos.

Como o SIFEM é um sistema paramétrico, esses resultados foram obtidos com um balanceamento entre taxa de acerto e quantidade de clientes inspecionados. Ou seja, é possível inspecionar menos clientes e obter maior taxa de acerto. Da mesma forma, é possível comprometer a taxa de acerto adotando critérios menos rígidos, todavia aumentando-se a quantidade de clientes detectados. A definição da rigidez do sistema pode vir das políticas e dos recursos financeiros empenhados no combate à fraude.

Tabela 1. Taxas de acerto do SIFEM para cada perfil de cliente.

Classe de Consumo	Tipo de Ligação		
	Monofásico	Bifásico	Trifásico
Residencial	34%	31%	25%
Comercial	22%	31%	33%
Industrial	-	33%	34%

O SIFEM está sofrendo frequentes melhorias devido a dois motivos: 1) os resultados de inspeções orientadas pelo sistema são recursos valiosos para o seu aprimoramento, permitindo a ratificação dos comportamentos típicos de fraude ou erros de medição; 2) os perfis dos consumidores são dinâmicos, seja pela mudança de comportamento natural do cliente, seja pela alteração da composição familiar (residenciais) ou econômica (comerciais e industriais); essa dinâmica demanda uma reavaliação periódica dos parâmetros adotados pelo sistema.

### IV. CONCLUSÕES

O SIFEM pode ser considerado um produto de sucesso, pois combate um problema real das concessionárias de energia com uma solução fácil de ser usada, dinâmica e expansível para outras empresas do setor elétrico. Por detectar anormalidades de consumo, o SIFEM provê como subproduto a identificação de clientes em via de desligamento e residências ou estabelecimentos comerciais desocupados, o que ajuda a empresa de energia a gerir melhor seus clientes.

Atualmente, a Enersul e a UFMS estão em colaboração em um novo P&D com o intuito de aperfeiçoar os estudos de combate à fraude. Este projeto intitula-se SODEFEM: Sistema Ótimo de Detecção de Fraude e Erros de Medição Baseado em Resultados. O foco desta extensão do sistema é que o mesmo possa, além de identificar os suspeitos, estimar a quantidade de kWh recuperável caso o cliente seja, de fato, fraudador ou no caso de haver algum erro de medição.

### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Piatetsky-Shapiro, Knowledge discovery in real databases: A Report on the IJCAI-89 Workshop. *AI Magazine*, p. 89-95, 1995.
- [2] Z. Pawlak, Rough Sets. *International Journal of Computer Information Sciences*, pages 341-356, 1982.
- [3] T. Kohonen, *Self-Organizing Maps*. Springer Series in Information Sciences, 1995.
- [4] L. Breiman, J. Friedman, R. Olshen, C. Stone, *Classification and regression trees*. Chapman & Hall/CRC, 1993.
- [5] J. E. Cabral, "Detecção de Fraudes em Unidades Consumidoras de Energia Elétrica Usando Rough Sets". Dissertação de Mestrado – UFMS (2005).
- [6] Z. Pawlak, *Rough Sets: Theoretical aspects of reasoning about data*. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [7] C. M. Patrício, J. O. P. Pinto, K. S. Collazos, J. E. Cabral, E. M. Martins, *Ferramenta de Pré-Seleção de Consumidores de Energia Elétrica para Verificação de Existência de Baseada em Rough Sets*, Congresso Brasileiro de Automática, CBA 2006.
- [8] J. Reis, E. Gontijo, J. E. Cabral, J.O.P. Pinto, *Fraud identification in electricity company customers using decision tree*. In 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, p. 3730-3734, 2004.



---

## **MISSÃO DA ANEEL**

---

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

---