



## AVANÇOS TECNOLÓGICOS NO SETOR ELÉTRICO

### Nesta Edição

- Projetos de P&D realizados pelos agentes do setor elétrico
- A participação da indústria no desenvolvimento tecnológico do setor
- Pesquisas recebem R\$ 3 bilhões em investimentos de 1998 a 2011







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



# Editorial

Editar a Revista P&D se tornou mais um compromisso da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em sua responsabilidade de prestação de contas à sociedade. Nesta quarta edição, divulgada no VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (CITENEL) e no II Seminário de Eficiência no Setor Elétrico (SEENEL), em Fortaleza (Ceará), apresentam-se 30 iniciativas, dentre os 100 projetos encaminhados pelos agentes do setor ao Comitê Técnico da Agência.

A seleção dos artigos se ancorou na abrangência dos resultados dos projetos no desenvolvimento tecnológico do setor elétrico no País, com foco na busca permanente da qualidade do serviço público de energia elétrica, efetivamente universalizado e com tarifas justas.

Grande parte dos projetos desta edição (22 deles) foi apresentada por distribuidoras, sete vieram de geradoras e um foi encaminhado por empresa transmissora. O investimento financeiro total dos projetos superou R\$ 22 milhões.

Dentre esses projetos destacam-se: o desenvolvimento de metodologia para identificar vãos críticos em linhas de transmissão e, conseqüentemente, obter um monitoramento mais confiável desses ativos; a criação de um medidor de alta precisão, para calibragem dos medidores no local de sua instalação; e a elaboração de um modelo computacional para identificação de temperaturas elevadas em transformadores, que poderá proporcionar redução de custos e expansão da rede.

Além desse casos, uma tecnologia para corte e religamento remoto de energia, um software que utiliza inteligência artificial para identificar perdas comerciais e o aprimoramento de sistema que permite facilitar identificação de ocorrências (desligamentos, por exemplo) na rede são também apresentados nesta edição da Revista P&D.

Destacam-se, também, iniciativas que resultarão em registro de patente, com fabricação de lotes pioneiros, como as cruzetas de concreto leve, em substituição às de madeira, e a criação de um equipamento de ultrassom, utilizado para detecção de riscos em instalações de distribuição de energia.

Na geração, um projeto partiu para o desenvolvimento de metodologia para proteção contra enchentes, pelo monitoramento, controle e operação de reservatórios de usinas hidrelétricas. Em outra iniciativa, criou-se um método para utilização de sensor fotográfico, acoplado em veículo aéreo não tripulado, para monitorar mudanças ocasionadas pela ocupação e cobertura vegetal nas margens de reservatórios, fatores esses que afetam a qualidade das águas.

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

A primeira edição da Revista P&D aconteceu em agosto de 2006, com apresentação de 51 projetos, elaborados em oito anos, de 1998 até aquela data. O segundo número foi publicado em setembro de 2007, com a divulgação de 24 projetos, de ciclos de investimentos iniciados no ano 2000. A terceira edição, de junho de 2009, trouxe 30 projetos, de ciclos mais recentes.

A publicação de mais esta edição da Revista de P&D reforça o comprometimento da ANEEL com a transparência de suas ações, somando-se a iniciativas como a realização de reuniões decisórias públicas, transmitidas via Internet, desde outubro de 2004, uma ação pioneira entre os órgãos reguladores do país. Assim, regular e fiscalizar os projetos de P&D do setor elétrico corroboram para o cumprimento do dever da ANEEL, consolidado em sua missão, que é **“proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade”**.

P&D

Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL

Nº 4 – Agosto de 2011

## Diretoria

*Nelson José Hübner Moreira*  
**Diretor-geral**

*André Pepitone da Nóbrega*  
*Edvaldo Alves Santana*  
*Julião Silveira Coelho*  
*Romeu Donizete Rufino*  
**Diretores**

## Supervisão técnica

*Máximo Luiz Pompermayer*  
**Superintendente de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética**

*Aurélio Calheiros de Melo Junior*  
**Assessor da SPE**

## Comitê técnico de avaliação

*Antônio Carlos Marques de Araújo (SPG)*  
*Aurélio Calheiros de Melo Junior (SPE)*  
*Aymoré de Castro Alvim Filho (SRG)*  
*Carlos Eduardo Barreira Firmeza de Brito (SPE)*  
*Celso Eduardo Hermisdorff (SFG)*  
*Denesmar Gomes Pimenta (SRT)*  
*Fabio Stacke Silva (SPE)*  
*Geovane Anselmo Silveira Caputo (SPE)*  
*Hugo Lamin (SRD)*  
*Igor Alexandre Walter (SEM)*  
*Jhonnathan Moraes de Carvalho (SMA)*  
*Luciana Reginaldo Soares (SRD)*  
*Luis Cândido Tomaselli (SRE)*  
*Luiz Gustavo Nascentes Baena (SGH)*  
*Márcio Venício Pilar Alcântara (SPE)*  
*Máximo Luiz Pompermayer (SPE)*  
*Maxwell Marques de Oliveira (SRC)*  
*Raquel Gonçalves Carvalho (SRT)*  
*Renato Eduardo Farias de Sousa (SRD)*  
*Sheyla Maria das Neves Damasceno (SPE)*  
*Victor Hugo da Silva (SGE)*

*Jornalista responsável (edição e texto)*

*Gabriela Leal*  
*MTB nº. 5245 MG*  
**Assessoria de Comunicação e Imprensa (ACI)**

## Produção

*André Melo Bacellar (SPE)*

## Revisão

*Fernanda Argolo Dantas (ACI)*

Gráfica Editora Olivieri Ltda

Tiragem  
1.875

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)  
SGAN 603 Módulos I e J  
Brasília (DF)  
CEP.: 70.830-030  
CNPJ 02.270.669/0001-29

Dúvidas, sugestões e comentários:  
revistapd@aneel.gov.br

INSS 1981-9803

**ANEEL**  
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

# Mensagem da Diretoria

O programa de P&D regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) existe desde os primeiros contratos de concessão firmados entre concessionários do setor elétrico e a Agência, em 1998. O programa prevê a aplicação compulsória de recursos em projetos de pesquisa e desenvolvimento, conforme definições legais.

Superada a primeira fase, dedicada à construção de um modelo regulatório mais favorável à realização de projetos com maior impacto e relevância, chega o momento de consolidar esforços na formação de parcerias estratégicas em prol da inovação tecnológica no setor de energia elétrica.

De fato, apesar dos avanços na direção de temas estratégicos, contemplando a concretização de projetos mais robustos e desafiadores, ainda se verificam lacunas importantes na formulação de um modelo institucional mais propício à realização de projetos com maior conteúdo tecnológico e efetivo potencial de inserção no mercado. A base desse paradigma está na formação de parcerias entre três atores principais: empresas de energia elétrica, instituições de pesquisa e fabricantes focados no desenvolvimento de tecnologias.

O referido esforço conjunto constitui estratégia fundamental para que seja superada uma situação que hoje coloca, de um lado, um significativo volume de recursos acumulados para investimentos em projetos de P&D, por força da arrecadação legalmente instituída aos agentes do setor, e, de outro, um número relativamente baixo de projetos de pesquisa que têm conseguido cumprir as exigências para sua aprovação.

Completa esse paradoxo a constatação da enorme necessidade do País em ampliar e aprofundar suas bases de pesquisas científicas e tecnológicas, com vistas a superar o fosso que ainda nos separa das condições vigentes em outras nações desenvolvidas e, sobretudo, para que possamos desenvolver e usufruir de toda a potencialidade da *intelligentsia* nacional.

Não restam dúvidas de que a interface entre esses atores minimiza riscos e aumenta as chances de sucesso na transformação de ideias, conceitos e teorias em soluções práticas para o setor de energia elétrica, contribuindo para o desenvolvimento científico, tecnológico e socioeconômico do País. Essa integração irá possibilitar a geração de conhecimento e produtos que avançam desde as fases de protótipo, cabeça de série, lote pioneiro e implementação em maior escala.

Um dos campos em que essa parceria se mostra indispensável e profícua é a construção de um modelo de distribuição de energia compatível com as novas demandas da sociedade e com as oportunidades de negócio vinculadas ao setor elétrico, como a rede elétrica inteligente, conceito ainda em construção e cuja transposição da teoria para a prática requer esforços consideráveis em pesquisa e desenvolvimento.

Essa integração de esforços e atores na prospecção e desenvolvimento de novos produtos, serviços e modelos de negócio é um desafio relevante e uma oportunidade ímpar para o setor e para o progresso do país.

É nessa direção que os projetos apresentados nesta edição nº 04 da Revista P&D buscam colaborar, prestando contas dos esforços já implementados e sinalizando os novos caminhos que vêm sendo buscados e os desafios a serem ainda enfrentados.







# Sumário

## Capa

---

Pesquisas recebem R\$ 3 bilhões em investimentos de 1998 a 2011	12
---	----

## Artigos

---

O papel da Indústria no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica	14
Considerações sobre o Programa de Infraestrutura Elétrica	16
Parceria indústria-concessionárias pode alavancar inovação no país	18
A inovação e a importância transformadora do setor energético	19
Em busca de um melhor modelo de transversalidade de parcerias no desenvolvimento de produtos para a indústria nacional do setor elétrico	20

## Projetos das Geradoras

---

<b>CESP</b> Metodologia auxilia proteção contra enchentes pelo monitoramento de reservatórios	22
<b>CESP</b> Sensor fotográfico acoplado em veículo não tripulado ajuda monitoramento ambiental	26
<b>CHESF</b> Empresa aperfeiçoa sistema de tratamento de alarmes em redes elétricas	30
<b>AES TIETE</b> Empresa propõe modelo de alocação de responsabilidade por perdas na transmissão	33
<b>UHE DONA FRANCISCA</b> Modelo de vertedouro em degraus possibilita redução de energia cinética em usina	36
<b>AES ELETROPAULO</b> Sistema auxilia planejamento ótimo de uso múltiplo de rios usados na geração hidrelétrica	40
<b>CHESF</b> <i>Pequisa revela benefícios socioeconômicos a municípios afetados por hidrelétricas</i>	44

## Projetos das Distribuidoras

---

<b>AES ELETROPAULO</b> Novas funcionalidades de <i>software</i> otimizam sistema subterrâneo reticulado de distribuição	48
<b>CEMIG-D</b> Análise de velocidade de vento ajuda identificar vãos críticos em linha aérea de transmissão	52
<b>CEMIG-D</b> Equipamento de alta precisão permite calibragem de medidores no local da instalação	55



<b>LIGHT</b> Estudo aponta recomendação para formalizar fornecimento a consumidor de baixa renda	58
<b>LIGHT</b> Modelo computacional permite verificar comportamento térmico do transformador	61
<b>LIGHT</b> <i>Software</i> monitora sons para prevenir falhas em redes subterrâneas	65
<b>AMPLA</b> Equipamento permite corte e religamento remotos de consumidores de média tensão	69
<b>CELPE</b> Sistema inteligente diagnostica falha em transformador pela análise de óleo isolante	73
<b>CELPE</b> Ultrassom, raio X e termovisão auxiliam avaliação de isoladores poliméricos	76
<b>CELPE</b> Inteligência artificial ajuda combater as perdas não técnicas de energia	79
<b>CPFL</b> Concreto leve substitui madeira na fabricação de cruzetas instaladas em postes	83
<b>CPFL</b> Uso de sinalizador de faltas de energia reduz tempo de atendimento ao consumidor	86
<b>CPFL</b> Ultrassom inteligente auxilia avaliação de postes e cruzetas da rede de distribuição	90
<b>ELCELSA</b> <i>Software</i> proporciona análise de previsão de mercado de distribuidora	93
<b>ELCELSA</b> Equipamento de baixo custo permite monitorar qualidade da energia em tempo real	97
<b>AES ELETROPAULO</b> Técnicas de separação de resíduos de distribuidoras expandem receita e ganhos ambientais	101
<b>AES ELETROPAULO</b> Estudo aponta vantagens de uso de corrente alternada para alimentação de trólebus	104
<b>AES ELETROPAULO</b> Regulador de tensão portátil mantém fornecimento dentro dos padrões exigidos	108
<b>CEMAR</b> Medição integrada em transformador ajuda reduzir perdas comerciais de energia	112
<b>LIGHT</b> Dispositivo em medidores permite processo efetivo de corte e religação em baixa tensão	116
<b>COELCE</b> Equipamento produz interferência em corrente para evitar furto de energia em baixa tensão	120
<b>COELCE</b> Videoconferência em tótems amplia interação entre cliente e atendente da distribuidora	124
<b>BANDEIRANTE</b> Sistema PLATOE é embrião de rede inteligente	127

# R\$ 3 bilhões em investimentos de 1998 a 2011

Em 13 de maio de 2011, a Resolução Normativa no 318/2008, que aprova o novo Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, completou três anos. As primeiras evidências de que a nova regulamentação traria resultados mais expressivos para o setor começaram a surgir logo nos primeiros projetos cadastrados no sistema de gestão da ANEEL, quando se observou o empenho dos agentes na elaboração de projetos mais robustos e mais alinhados às demandas do setor e às tendências internacionais.

Durante a primeira fase do programa, 1999 a 2007, foram destinados cerca de R\$ 1,65 bilhão a aproximadamente três mil projetos, o que significa uma média de R\$ 550 mil por projeto. Nesses três anos de vigência da nova regulamentação, foram

cadastrados 752 novos projetos, com investimentos previstos de R\$ 1,35 bilhão, o que significa uma média de R\$ 1,76 milhão por projeto.

Embora não se deva medir ou prever o impacto de um projeto de P&D pelo aporte de recursos, não há dúvidas de que os desafios tecnológicos do setor de energia elétrica exigem projetos de maior porte, duração e complexidade.

Outra mudança importante foi o direcionamento de recursos para temas estratégicos e mais alinhados com as tendências mundiais, como fontes alternativas de energia, cujo percentual de investimento era de 5,1% na primeira fase do programa, passando para 16,5% dos recursos previstos nesta segunda fase (ver tabela abaixo)

## Investimentos Previstos - Nova Regulamentação

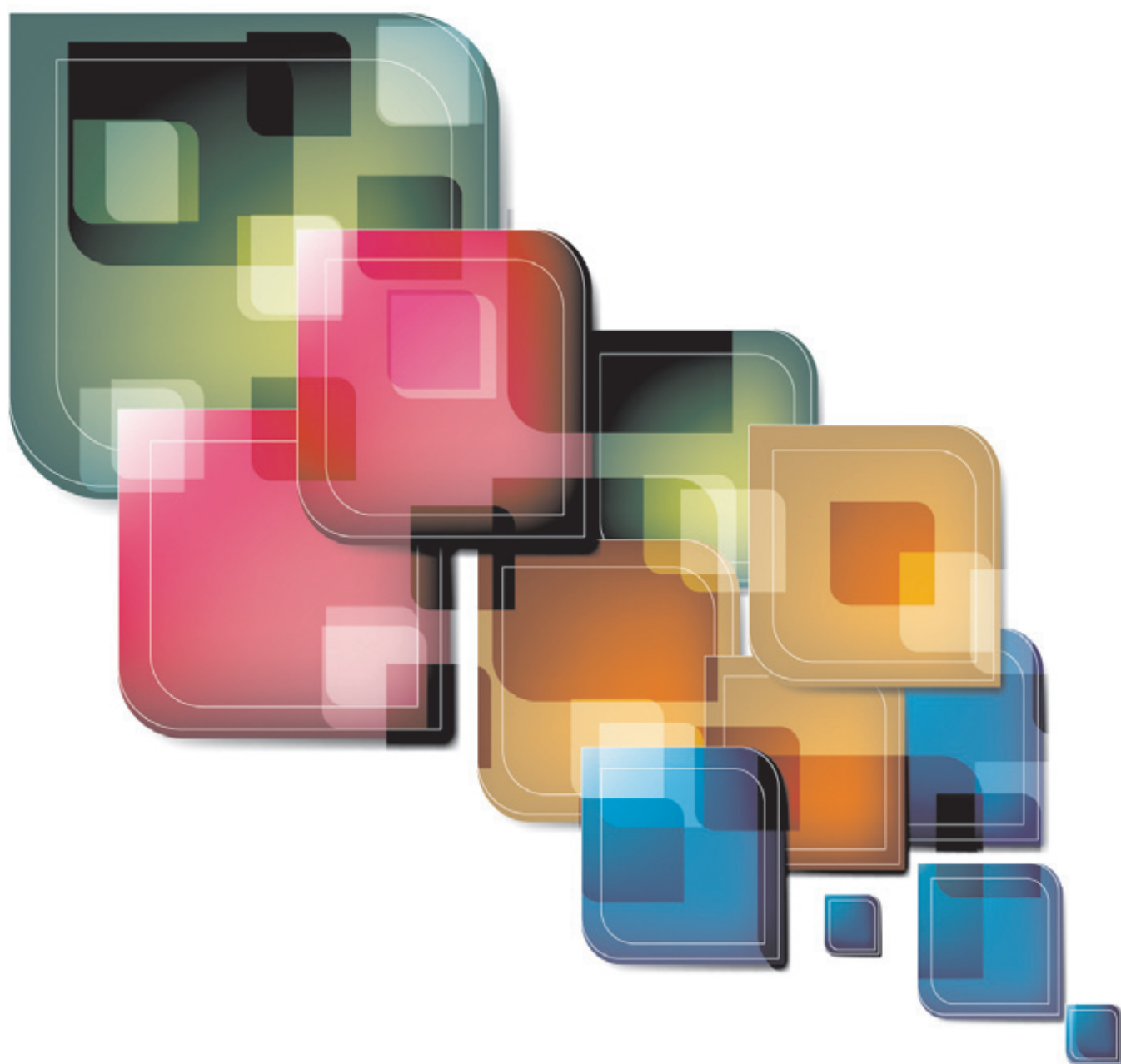
Fontes alternativas de geração de energia elétrica	77	10,24%	221.100.059,67	16,74%
Geração Termelétrica	23	3,06%	21.711.129,80	1,64%
Gestão de Bacias e Reservatórios	22	2,93%	68.237.881,23	5,17%
Meio Ambiente	50	6,65%	76.096.135,53	5,76%
Segurança	52	6,91%	63.904.844,27	4,84%
Eficiência Energética	48	6,38%	56.585.977,66	4,29%
Planejamento de sistemas de Energia Elétrica	64	8,51%	73.014.329,06	5,53%
Operação de Sistemas de energia Elétrica	81	10,77%	150.296.356,63	11,38%
Supervisão, Controle e Proteção de Sistemas de Energia Elétrica	145	19,28%	250.695.898,00	18,99%
Qualidade e Confiabilidade dos Serviços de Energia Elétrica	54	7,18%	117.449.428,67	8,89%
Medição, faturamento e combate a perdas comerciais	63	8,18%	78.974.490,35	5,98%
Outro	73	9,71%	142.361.511,77	10,78%
<b>Total</b>	<b>752</b>	<b>100%</b>	<b>1.320.428.042,64</b>	<b>100%</b>

Fonte: SPE-ANEEL em junho de 2011

Destaque a parte merecem os temas estratégicos, cujos investimentos nesses três anos da nova regulamentação somam cerca de R\$ 94 milhões de reais em 14 projetos. No passado, esse volume de investimentos costumava ser diluído em quase 200 projetos.

Embora não haja, ainda, uma avaliação sistemática de resultados e impactos do programa após a nova regulamentação, há fortes indícios e algumas evidências de que as mudanças implementadas trarão contribuições importantes para a consolidação do programa.

# Artigos



# O Papel da Indústria no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica

Máximo Luiz Pompermayer\*

Entre as várias preocupações durante a reestruturação do setor elétrico brasileiro, ocorrida na segunda metade da década de 1990, estava a dependência tecnológica do setor, que já era grande e poderia aumentar com a entrada de investidores privados e de capital externo. Diante disso e da falta de incentivos à realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico (P&D) em temas ou áreas de interesse do setor, definiu-se, logo nos primeiros contratos de concessão, a obrigação de investimentos mínimos em P&D por parte das empresas concessionárias.

Essa obrigação foi estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com amparo na Lei nº 8.987/1995, que dispõe sobre o regime de concessão e permissão de serviços públicos, e na Lei nº 9.427/1996, que instituiu a Agência Reguladora e disciplinou o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica.

Conforme disposto no Art. 6º da Lei nº 8.987/1995, toda concessão ou permissão de serviço público pressupõe a prestação de serviço adequado ao pleno atendimento dos usuários, observando-se as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas.

Destaque a parte merece o atributo relativo à atualidade, que compreende, segundo a Lei, a modernidade das técnicas, dos equipamentos e das instalações necessárias ao fornecimento adequado de energia elétrica. Ainda, segundo a referida lei, cabe ao poder concedente regulamentar o serviço concedido e fiscalizar sua prestação, zelar pela qualidade do serviço prestado e estimular a produtividade, a preservação do meio ambiente e a competitividade.

Tratam-se, portanto, de atributos importantes, os quais demandam investimentos permanentes em pesquisa e desenvolvimento, tendo em vista os desafios (científicos, tecnológicos e de mercado) inerentes à prestação de serviços públicos, particularmente no setor de energia elétrica. Tais atributos ou condições devem ser observados por todos os agentes do setor, independentemente do segmento em que atuam (geração, transmissão ou distribuição).

Diante desse contexto, a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, estendeu a obrigação de investimentos em P&D a todas as concessionárias, permissionárias e empresas autorizadas à produção independente de energia elétrica, exceto as que geram energia exclusivamente a partir de fontes alternativas. Parte desse recurso é destinada ao Fundo Setorial de Energia (CT-Energ), sob coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, e outra é destinada a projetos realizados pelas próprias empresas de energia elétrica, segundo regulamentos da ANEEL.

Durante os nove primeiros anos de existência do programa de P&D regulado pela ANEEL, 1999 a 2007, foram estabelecidos ciclos anuais de investimento, no âmbito dos quais foram aprovados cerca de três mil projetos, com investimentos previstos de aproximadamente R\$ 1,5

bilhão. Por mais meritórios que tenham sido esses investimentos, verificou-se, ao longo dos anos, a necessidade de estímulos à realização de projetos com maior conteúdo tecnológico e potencial de inserção no mercado.

Uma das primeiras iniciativas da ANEEL nessa direção foi a criação de uma área específica para cuidar desse tema, a Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (SPE), instituída em março de 2007 por meio da Resolução Normativa no 249/2007. Durante o primeiro ano de existência da nova área, dedicou-se atenção especial à revisão da regulamentação vigente, o que culminou com a publicação da Resolução Normativa nº 318, de 13 de maio de 2008, que Aprova o Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica.

Entre os avanços em relação às regras anteriores, destacam-se a extinção dos ciclos anuais de investimento, a ênfase na avaliação de resultados e a inclusão das etapas finais da cadeia da inovação (lote pioneiro e inserção no mercado) nos projetos realizados com recursos do programa. Deu-se, ainda, maior ênfase à etapa denominada cabeça-de-série. Outro avanço importante foi a definição de temas prioritários e estratégicos, reduzindo, significativamente, a dispersão dos investimentos realizados e direcionando recursos para projetos de grande relevância e/ou complexidade.

A extinção dos ciclos anuais de investimento transformou o processo em fluxo contínuo, de modo que um projeto pode ser cadastrado ou submetido à avaliação da ANEEL em qualquer período do ano. Considerando, ainda, o caráter facultativo da avaliação inicial (que antes era obrigatória), o início da execução de um projeto, que era uma incógnita na regulamentação anterior, passou a depender apenas da empresa proponente e de seus parceiros. Some-se a isso a liberdade para ajustes no cronograma de execução do projeto, nos recursos necessários ao seu desenvolvimento (físicos, humanos e financeiros) e no escopo das atividades inerentes.

Apesar dos avanços na construção de um arcabouço regulatório mais favorável à criação de uma cultura de inovação no setor e da inserção dessa componente nas estratégias de negócio das empresas, verificam-se, ainda, lacunas nesse processo. Uma delas é a pequena participação da indústria nos projetos realizados. Embora seja crescente a presença de fabricantes de tecnologia nos projetos, ela ainda é pouco expressiva, considerando-se as tendências tecnológicas do setor e os estímulos à realização de projetos com maior potencial de inserção no mercado.

A presença de fabricantes e fornecedores de tecnologia em projetos com maior conteúdo tecnológico é fundamental, visto que a inserção de novos produtos no mercado demanda interesses, conhecimentos e habilidades nem sempre presentes em empresas de energia elétrica e instituições de pesquisa. Transformar idéias, conceitos e protótipos em algo



prático e de valor para a sociedade requer mais do que conhecimentos científicos e tecnológicos. Inclui aspectos de natureza jurídica, administrativa e comercial. Torna-se, portanto, indispensável a participação de empresas interessadas e aptas a produzir e comercializar produtos gerados no âmbito dos projetos de P&D. E quanto mais cedo ocorrer essa participação, maiores as chances de inserção dos produtos gerados no mercado.

Uma das causas da baixa participação da indústria de equipamentos e componentes elétricos nos projetos realizados é o desconhecimento das regras para aplicação dos recursos e das vantagens e oportunidades inerentes à realização de projetos em parceria com empresas de energia elétrica e instituições de pesquisa. Entre as vantagens destacam-se o compartilhamento de riscos e o uso de recursos públicos para criação de novas oportunidades de negócio. Trata-se, portanto, de uma oportunidade ímpar para fabricantes de equipamentos e componentes, os quais poderão alavancar seus negócios por meio de parcerias e alianças estratégicas com empresas de energia elétrica.

Como indica a literatura especializada, a inserção de novos produtos no mercado, principalmente os de cunho tecnológico, é um processo lento e complexo. Tal fato decorre de incertezas sobre os reais benefícios do novo produto ou tecnologia e da resistência natural dos potenciais usuários à adoção da novidade apresentada. Evidentemente, as incertezas são menores quando potenciais usuários de um novo produto ou tecnologia participam de seu desenvolvimento, como ocorre nas parcerias entre empresas de energia elétrica e fabricantes de tecnologia.

Nesse processo, ganham as empresas de energia elétrica, que podem melhorar seu desempenho operacional e gerar novas oportunidades de negócio. Ganham as instituições de pesquisa, que podem aumentar sua produção científica, melhorar sua infraestrutura laboratorial e formar profissionais de alto nível. Ganham as empresas de base tecno-

lógica e fornecedores de tecnologia, os quais podem compartilhar riscos e alavancar novos negócios. Ganham os consumidores de energia elétrica, com serviços de maior qualidade e menor custo. Ganha, enfim, a sociedade toda, com produtos e serviços de maior conteúdo tecnológico, menor impacto ambiental e maior valor agregado.

Como indicam as estatísticas internacionais sobre ciência e tecnologia, o Brasil avançou muito nas últimas décadas em termos de produção científica e de capacitação profissional de alto nível (mestrado e doutorado), ocupando lugar de destaque entre os países de mesmo nível de desenvolvimento. Por outro lado, não são muito animadores os dados relativos à produção tecnológica (número de patentes, por exemplo) e à inovação.

Essa distância entre geração de conhecimento e sua transformação em algo prático e de valor para a sociedade (inovação) contribui para os baixos índices de competitividade do País e se faz presente também no setor de energia elétrica. Reduzir essa lacuna requer esforços conjuntos e coordenados de todos os responsáveis pelo desenvolvimento tecnológico do setor, incluindo governo, empresas de energia elétrica, instituições de pesquisa e fabricantes de tecnologia.

Não basta, portanto, realizar investimentos consideráveis em capacitação, ciência e tecnologia. É preciso direcioná-los para a solução de problemas reais da economia e para a criação de vantagens competitivas, com produtos e serviços que melhoram o desempenho técnico-econômico das organizações e a qualidade de vida das pessoas. E não faltam exemplos nem evidências de que esforços nessa direção geram bons resultados. O caso da Coreia do Sul e de Taiwan, para ficar em apenas dois países, é emblemático.

---

\*Superintendente de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética da ANEEL.

## Considerações sobre o Programa de Infraestrutura Elétrica

Mauro Borges Lemos\*

Neste início do atual Governo, o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, juntamente com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), tem formulado os pilares da nova política industrial brasileira. Em consonância com as diretrizes de governo da Presidenta da República, Dilma Rousseff, a nova política industrial para o período 2011/2014 é uma continuidade e um aprimoramento da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), que busca enfrentar o desafio da trajetória de “crescimento sustentável e inclusivo”.

A PDP foi lançada em maio de 2008 como um aprofundamento da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE). Uma avaliação geral do período (2003/2010) é de que tanto a PITCE quanto a PDP foram eficazes, obtendo sucesso em mobilizar o setor público e em articulá-lo com o setor privado para os fins propostos e retomando a capacidade do Estado brasileiro na formulação e operacionalização de uma política industrial coordenada.

Para que ocorra um real enfrentamento das ameaças de perda de competitividade e para o aproveitamento das oportunidades de criação de novas competências, deve haver um aumento expressivo do investimento em inovação, fonte fundamental para a progressão da eficiência produtiva das empresas brasileiras em direção à fronteira das melhores práticas internacionais.

A nova política está organizada em duas modalidades de ações. As Ações Estruturantes Setoriais são voltadas para a melhoria da eficiência produtiva, para a modernização tecnológica e para o aumento da produtividade do parque produtivo nacional em escala internacional. As Ações Sistêmicas, de natureza horizontal e transversal, são focadas no aumento da eficiência econômica agregada da economia e para a evolução de conhecimentos estratégicos em direção à matriz tecnológica mundial, geradoras potenciais de efeitos intersetoriais relevantes sobre os eixos estruturadores da política produtiva.

Diferentemente de outros setores, o sistema energético demanda um conjunto de estratégias, instrumentos e ações de política que lhe é próprio, identificado sob a denominação de política energética, cujos objetivos principais são a garantia do suprimento energético, a universalização do acesso e a modicidade tarifária.

As Ações Estruturantes Setoriais estão focalizadas em programas temáticos de cinco eixos, sendo uma dessas, as Ações Especiais em Energia, onde está previsto o Programa de Infraestrutura Elétrica. Ele visa promover o encadeamento entre a política energética e a política industrial, transformando as demandas do setor elétrico em oportunidades para o setor produtivo brasileiro. Nesse sentido, o principal desafio é o aumento do conteúdo local das encomendas do setor elétrico, haja vista que o déficit da balança comercial de equipamentos eletroeletrônicos elevou-se em 56%, aumentando de US\$ 17,5 para US\$ 27,3 bilhões entre 2009 e 2010.

Considerando a necessidade de implementação de ações voltadas ao desenvolvimento industrial da cadeia de fornecedores do setor elétrico, torna-se um grande desafio o fortalecimento da com-

petitividade da cadeia produtiva de bens e serviços para a geração, transmissão e distribuição.

Nesse contexto, ressalta-se como um dos principais objetivos a promoção de uma mobilização da indústria nacional de bens e serviços do setor elétrico, em consonância com o Plano Nacional de Energia. Em termos específicos, é importante que sejam estimados os investimentos das distribuidoras de energia elétrica agregados por região geográfica, de forma a tornar possível a desagregação desses investimentos por níveis de tensão e de fonte de energia. Também é importante identificar a necessidade de produção de equipamentos a partir do compartilhamento de informações com os principais produtores, dentre outros atores.

Por outro lado, devem-se atrair investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação voltados para promover a eficiência energética, em consonância com os instrumentos de incentivo disponíveis para o setor de energia, contemplando ações colaborativas entre concessionárias e produtores de bens e serviços para o setor elétrico brasileiro.

Além das encomendas de equipamentos e componentes tradicionais, destacam-se os crescentes investimentos em eficiência energética e em sistemas de gerenciamento inteligente de redes (smart grid) que, de acordo com diversos estudos internacionais, deverão receber investimentos da ordem de US\$ 200 bilhões nos próximos cinco a dez anos.

Assim, nos últimos anos, tem havido aplicações em grande escala da tecnologia de medição inteligente em diversos outros países, com significativa utilização de medidores eletrônicos para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão. Nesse caso, vale destacar que esses novos sistemas de medição com acesso remoto têm sido instalados em maior quantidade por causa do desenvolvimento das novas tecnologias de informação e dos meios de comunicação, dentre outras vantagens obtidas para os sistemas.

O uso de equipamentos dotados de inteligência tem sido cada vez mais comum no setor elétrico, em decorrência das demandas impostas pelo próprio desenvolvimento tecnológico. Com tais tecnologias disponíveis em todo o globo, muitos governos têm determinado o uso obrigatório de sistemas inteligentes, para se atingir metas como a garantia do suprimento e da qualidade da energia, essencial para o desenvolvimento da indústria, além de contribuir para a redução das emissões de CO2 e para a geração de empregos, dentre outros. Em alguns países, tem sido compulsório o uso de novas tecnologias visando a busca de eficiência energética, a aplicação de tarifas diferenciadas e o aprimoramento do mercado de energia elétrica.

Tendo em vista os benefícios auferidos pelo uso de sistemas de medição eletrônica, determinadas distribuidoras têm aumentado a aplicação dessa tecnologia em baixa tensão. No entanto, a falta de mecanismos regulatórios que orientem a adoção das funcionalidades desse tipo de medidor leva as distribuidoras a instalarem medidores com funções que atendam apenas à solução de problemas localizados, como por exemplo, de perdas não técnicas, sem uma apropriação ampla das oportunidades de mercado





representadas pela agregação de serviços à rede elétrica inteligente.

Registra-se que os custos de aquisição de modelos básicos de medidores eletrônicos já se mostram inferiores aos preços dos medidores eletromecânicos, fazendo com que, em muitas situações, a alternativa eletrônica seja um fator decisivo para sua aquisição.

O uso massivo de sistemas inteligentes de medição é o primeiro passo na implantação do conceito de smart grid. É fundamental que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleça critérios mínimos necessários ao uso dos medidores, como já está fazendo, o que vai estimular as distribuidoras a evoluírem seus sistemas em direção às

redes inteligentes e, considerando tratar-se de decisão estratégica dos gestores das redes de distribuição, ter como efeito adicional a mobilização da indústria nacional para o atendimento das demandas geradas. Assim, outro importante objetivo que está sendo inserido na nova política é o de promover o conteúdo local de bens e serviços no Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente "smart grid". A ABDI vai contribuir com todo esse esforço.

---

\*Presidente da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)

## Parceria indústria-concessionárias pode alavancar inovação no país

Humberto Barbato\*

No estudo “A Indústria Elétrica e Eletrônica em 2020”, elaborado pela Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), demonstramos explicitamente nossa preocupação em relação à inovação tecnológica. Entre as propostas apresentadas está a criação de uma Agenda Estratégica de Inovação até 2020, que contempla as tendências futuras do desenvolvimento tecnológico para que sejam definidas as prioridades de investimento em inovação no setor.

A Abinee considera que, para ser o motor de promoção da competitividade brasileira, a inovação deve se tornar prioridade estratégica das empresas, independentemente do porte e ramo de atividade. Entendemos, assim, que a inovação prevê um intenso trabalho conjunto entre iniciativa privada e pública. E sobre isso, nossa entidade tem feito sua parte, participando dos principais fóruns sobre o tema.

Porém, é do conhecimento de todos que a valorização do real frente ao dólar tem minado a competitividade de diversos segmentos industriais, fazendo com que as empresas instaladas no Brasil percam mercados no exterior e, ao mesmo tempo, sofram com a concorrência no mercado interno, principalmente, de equipamentos vindos de países da Ásia.

Dentre estes setores está o de equipamentos para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica (GTD), área de tecnologia madura e de mão de obra intensiva que, no caso de muitos produtos, tem o Brasil como base produtora mundial, mas que passa, hoje, por diversas dificuldades devido ao câmbio defasado e à concorrência predatória chinesa.

Nesse contexto, as indústrias buscam formas de manter suas atividades e de desenvolver parcerias para continuar explorando seu potencial tecnológico e inovador.

Por ter que enfrentar problemas com insegurança jurídica, pesada carga tributária, câmbio desajustado e outros fatores do Custo Brasil, é essencial que estas empresas tenham o apoio efetivo do Governo para alavancar sua competitividade, por meio da inovação. Nas nações bem sucedidas nessa área, o compartilhamento de riscos é fator fundamental, principalmente nos países do leste asiático, que se tornaram exemplos.

A formulação de políticas públicas destinadas à superação de obstáculos e aproveitamento pleno das oportunidades se mostra necessária para estimular o desenvolvimento do setor elétrico e

a experiência de outros países é importante referência para o Brasil.

Uma medida que vem a esse encontro é a Lei nº. 9.991/2000, que prevê que as concessionárias devem aplicar, anualmente, um percentual mínimo de sua receita operacional líquida em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, seguindo os regulamentos estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Recentemente, a agência reguladora diminuiu as restrições quanto à destinação dos recursos por parte das concessionárias e os prazos para sua aplicação, concentrando-se nos resultados finais dos projetos, que devem trazer novos produtos ao mercado, inovação e perenidade das atividades. Desta forma, vislumbra-se que os projetos apresentem maior continuidade e os recursos atinjam o objetivo do desenvolvimento tecnológico em sua totalidade.

Essa nova realidade abre diversas possibilidades para as empresas do setor eletroeletrônico, especialmente da área de equipamentos para GTD, que precisam estar preparadas para apresentar projetos de inovação às concessionárias.

A regra atual servirá para alavancar projetos voltados à eficiência energética (assunto de extrema relevância hoje), à produção de novos produtos para a rede elétrica, à geração de novos serviços agregados e ao desenvolvimento local de novas tecnologias, em projetos como os de smart grid e de geração distribuída (fotovoltaico, eólico, biomassa e PCH).

Para a ABINEE, esta iniciativa é de extrema importância para intensificar a relação entre indústrias, concessionárias e Governo, com o objetivo de estimular o desenvolvimento de tecnologias nascentes, conduzindo o setor elétrico brasileiro à condição de vanguarda que sempre lhe pertenceu.

Assim, com a participação de todos os agentes do setor elétrico brasileiro cria-se uma verdadeira alavanca para a retomada do desenvolvimento competitivo das empresas instaladas no país e um círculo virtuoso de inovação efetiva que gera resultados práticos e benefícios à sociedade.

---

\* Presidente da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee)



# A inovação e a importância transformadora do setor energético

Luis Claudio Silva Frade\*  
Ricardo Magnani Andrade\*  
Carlos Eduardo Calmanovici\*

A inovação vem se consolidando como elemento estratégico e fundamental para a sustentabilidade das empresas que atuam em ambientes cada vez mais competitivos e desafiadores. Desafios crescentes impõem às empresas um posicionamento claro e objetivo com relação à inovação, uma vez que ela tem a capacidade de conferir competitividade estrutural, ou seja, representa um diferencial competitivo sustentável no longo prazo independentemente dos ciclos econômicos ou de quaisquer situações pontuais. Mas a inovação só gera resultados consistentes no longo do tempo quando seu conceito é plenamente incorporado por todos os envolvidos no processo de geração de valor. A inovação nunca é feita por uma única pessoa operando de forma isolada dentro de um gabinete ou de um laboratório. Ao contrário, as interfaces, as fronteiras entre áreas são o espaço privilegiado da inovação na empresa. A interação entre diferentes competências e abordagens é fundamental para efetivação da inovação com agilidade e rapidez.

Da mesma forma, uma empresa sozinha, de forma isolada, dificilmente consegue imprimir e perpetuar uma dinâmica de inovação e crescimento na economia. Na verdade, é necessário que várias cadeias e segmentos se organizem para garantir um ambiente positivo, com resgate da confiança das pessoas no ciclo virtuoso do desenvolvimento econômico que considera, ao mesmo tempo, o crescimento da riqueza e o desenvolvimento tecnológico para o progresso da sociedade. Para garantir esse desenvolvimento tecnológico, a inovação assume papel imprescindível. Sem inovação, o desenvolvimento econômico não é sustentável.

Para manter a coesão da cadeia e esse tão importante ciclo virtuoso, empresas, governo, instituições científicas e tecnológicas (ICT) e sociedade de modo geral devem estar mobilizados e trabalhando em conjunto em grandes temas estruturantes para, efetivamente, convergir esforços e estabelecer novos patamares de desenvolvimento econômico e social. A área de Energia é, seguramente, um desses temas, fundamental para suportar qualquer ambição de desenvolvimento sustentável de um país.

Desde que a Lei nº 9.991 foi publicada em 2000, as empresas do setor de energia elétrica começaram um grande esforço para fortalecer suas áreas de P&D+I. Passados mais de 10 anos dessa lei, muitas empresas, inclusive algumas das associadas da Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras (ANPEI), já possuem uma gestão de P&D+I bem consolidada como, por exemplo, a Eletrobras Eletronorte, Eletrobras Eletrosul, Eletrobras Eletronuclear, AES Eletropaulo e a CPFL.

O setor conta com empresas competentes e que efetivamente investem em inovação. Estimamos que as empresas de energia associadas à ANPEI investirão mais de R\$ 1,2 bilhão em P&D+I em 2011. Ou seja, é uma clara evidência de que esse setor tem priorizado as atividades inovadoras para melhorar sua competitividade. De fato, há grandes desafios a serem superados.

O setor está buscando um posicionamento aderente ao Plano Nacional de Energia 2030, que é um bom orientador do que será preciso fazer para assegurar um futuro energético tranquilo. As obrigações apontadas na Lei nº. 9.991 são relevantes, pois fazem com que as empresas organizem-se para garantir uma boa gestão da tecnologia e da inovação. Mais recentemente, a mudança no Manual de P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estimulou o desenvolvimento de projetos até sua inserção no mercado, aliada às Chamadas Públicas de Projetos Estruturantes da ANEEL, tem impulsionado muito o setor. O tamanho de nossas ambições como nação impõe novos desafios e estimula nossa capacidade de realizar bons projetos estruturantes e de longo prazo para o setor.

As empresas já perceberam que fazer um bom planejamento tecnológico, estabelecer *roadmaps* consistentes e colocar foco na sustentabilidade no longo prazo poderá levá-las a criar uma maior diferenciação no mercado nacional e global de energia.

As políticas públicas e o investimento de longo prazo podem transformar nosso País em uma nação tecnologicamente independente. Uma prioridade clara deve ser a busca pela independência tecnológica em áreas como geração, transmissão e o consumo final. E nesse caminho, devemos nos inspirar em exemplos exitosos e marcantes do setor como o desenvolvimento de transmissão em corrente contínua a longa distância, o desenvolvimento das turbinas bulbo para os projetos hidrelétricos do rio Madeira, com adaptações importantes à realidade amazônica, o Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia (SAGE), que é utilizado pela grande maioria das empresas elétricas brasileiras, os diversos sistemas de monitoramento e controle de geradores, turbinas, disjuntores etc. Além disso, é importante mencionar as melhorias na gestão dos ativos com menos desligamentos e reduções de perdas. O setor elétrico tem feito muito na área de inovação e os resultados já estão aparecendo. Mas deve intensificar seus esforços para superar os enormes desafios em infraestrutura dos próximos anos.

Nossa dimensão territorial, nossa diversidade climática, extensão litorânea e bacia hidrográfica ilustram o tamanho desse desafio e a importância de adensar essa cadeia tecnológica para suprir de energia elétrica confiável, ininterrupta e com qualidade os quatro cantos do País.

Essa equação com múltiplas variáveis requer uma solução conjunta. Requer competências e disciplinas diferentes. Requer união de esforços das empresas de energia elétrica, das instituições de pesquisa, de empresas de base tecnológica, de consultores e de empresas de equipamentos.

Entretanto, para que essa cadeia se desenvolva é necessário estímulo e incentivo. A utilização correta e pragmática dos incentivos às atividades de P&D+I é absolutamente necessária para consolidarmos essa cadeia. Os benefícios são sentidos em nossas casas e em nossas empresas.

# Em busca de um melhor modelo de transversalidade e de parcerias no desenvolvimento de produtos para indústria nacional do setor elétrico

Rafael Lucchesi\*

O desenvolvimento de produtos, pautado principalmente em inovação, e em alguns momentos para suprir políticas de nacionalização, apresenta em alguns setores nacionais a necessidade de uma reflexão mais ampla, para que se torne possível uma maior dinamização de toda a cadeia de desenvolvimento. Dessa forma seria viável, partindo de uma boa ideia, chegar a um produto com condições que atendam os pré-requisitos e as expectativas de mercados, que apresentam uma considerável demanda reprimida.

As políticas de investimento em P&D por vezes são estruturadas de forma tradicional, em que somente as grandes universidades estavam aptas a gerar conhecimento de ponta, contudo, extremamente permeadas por uma cultura ofertista que gerou um grande acervo de conhecimento nessas instituições. Todo esse potencial, muitas vezes, não é convertido em mecanismos que efetivamente traduzam resultados à sociedade, o que fica bastante evidenciado quando falamos em geração de tecnologia que, quase sempre, deve ser norteador por um “ponto de fuga”: o produto. Porém hoje, alguns centros tecnológicos e institutos se destacam em pesquisa aplicada, gerando resultados que facilmente poderão ser absorvidos pela indústria, mas esse percentual de ação ainda é muito pequeno, quando comparado à necessidade em âmbito nacional.

Na tentativa de objetivarmos uma discussão, poderíamos tomar como referência a política de P&D do setor elétrico, onde praticamente todos os projetos surgem de uma seleção estratégica de necessidades internas das empresas. Esse fato tem um significado ímpar no que se refere aos baixos riscos de viabilidade de negócios, pois, quase todo produto gerado já teria um consumidor fidelizado que seria o próprio demandante. Contudo, um grande número de projetos que deveriam ter como resultado um produto final não alcançam esse objetivo. Isso pode ser explicado, em parte, porque no início do desenvolvimento, classificado muitas vezes como pesquisa básica, os projetos não contemplam estratégias voltadas para criação de produtos, o que provoca um erro cumulativo, onde o resultado da pesquisa básica é adaptado para uma pesquisa aplicada de forma desfocada, que na tentativa de gerar um protótipo, não consegue colocá-lo além da categoria experimental, gerando uma enorme lacuna no processo de conversão da pesquisa para um protótipo funcional e depois, produto final. A superação dessa lacuna requer, por vezes,

investimentos que conotam mais do que um ajuste, promovendo praticamente uma re-engenharia, que não permite à indústria se beneficiar do investimento subsidiado inicial, obrigando-a a arcar com esse novo investimento, o que pela ótica de mercado não se torna algo atrativo.

Na tentativa de superar essas dificuldades, experiências bem-sucedidas vêm sendo realizadas em uma unidade do SENAI, o Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia (CIMATEC), em Salvador (BA). Esta unidade contempla uma estrutura de educação profissional (Escola Técnica), ensino (Faculdade) e um centro de tecnologia capaz de desenvolver projetos integrados, contando com a atuação simultânea das áreas de metal-mecânica (projetos de máquinas e moldes), materiais, automação, microeletrônica & eletrônica embarcada e logística, sendo que o desenvolvimento da pesquisa básica, na maioria das vezes, é realizado por meio de diversas parcerias com outros centros de pesquisa e universidades, nacionais e internacionais. O modelo SENAI-CIMATEC tem se mostrado bastante eficaz na geração de pesquisa aplicada interdisciplinar, assim como na geração de produtos integrados, com a participação da indústria, que facilmente podem migrar para as etapas de cabeça-de-série e lote pioneiro. Isso permitiu ao centro obter experiências significativas no desenvolvimento de produtos inovadores, assim como adequação no que diz respeito à competitividade. Toda essa experiência pode ser utilizada como contraponto na elaboração de uma discussão mais ampla para uma solução nacional, no que diz respeito à intensificação da criação de produtos inovadores.

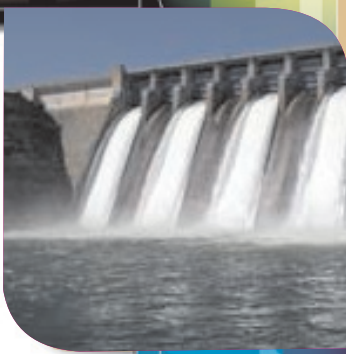
Como foi exposto, fica evidenciado que nenhuma instituição nacional, de forma isolada, será capaz de solucionar as questões referentes ao atendimento da demanda reprimida por produtos inovadores de fabricação nacional, principalmente para o setor elétrico. Esse quadro possivelmente poderá ser revertido quando implementarmos e fortalecermos um eixo de parcerias, que deverá ter como principal agente provocador, co-executor e finalizador, a própria indústria, que precisará atuar desde o início das discussões.

---

\*Diretor de Educação e Tecnologia da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e Diretor Geral do SENAI/DN

Projetos de

# Geradoras



## Metodologia auxilia proteção contra enchentes pelo monitoramento de reservatórios

A Metodologia Proteção Associada ao Tempo de Retorno Implícito de Cheias (PATRICh) em vales inundáveis a jusante de usinas hidrelétricas permite definir a proteção contra enchentes de forma mais precisa, pois considera o monitoramento, o controle e a operação dos reservatórios, a dinâmica de uso e ocupação dos vales e a percepção de risco pela sociedade. A metodologia, desenvolvida pela Companhia Energética de São Paulo (CESP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Epusp) e Hidrasoft Engenharia e Informática, conjuga o método do Tempo de Retorno usado no setor elétrico brasileiro com o estado da arte em análises de risco. O objetivo foi definir um critério de risco aceitável usado para controle de cheias, baseado em um conjunto de componentes decisórios que levam em conta danos: a vida humana, econômicos, sociais, ambientais e físicos ou operacionais à própria usina, além de impactos ao uso múltiplo da água e à imagem institucional da concessionária. A escala dos riscos varia de catastrófico até ínfimo para cada um dos aspectos relacionados. Eles determinam uma combinação de fatores para cada local a ser protegido, até a padronização do critério de proteção a partir da fixação do risco aceitável. Esse risco aceitável é obtido pela construção de matrizes que consideram a severidade das consequências e a complexidade e a probabilidade de cheias, a partir do qual se formulou descritores-síntese. A metodologia, aplicada na Usina Hidrelétrica de Jupia, em São Paulo, se mostrou mais abrangente que os aspectos considerados no nível decisório atualmente e, por essa razão, mais robusta e consistente.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Companhia Energética de São Paulo (CESP)

Título: Metodologia PATRICh – Proteção Associada ao Tempo de Retorno Implícito de Cheias em Vales Inundáveis a Jusante de Usinas Hidrelétricas

Ciclo: 2006/2007

Investimento: R\$ 248.200,00

Execução: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Epusp) e Hidrasoft Engenharia e Informática



## Metodologia PATRICH - Proteção Associada ao Tempo de Retorno Implícito de

# Cheias em vales inundáveis a jusante de usinas hidrelétricas

Paulo S. F. Barbosa, Mario T. L. de Barros, João E. G. Lopes, Alberto L. Francato, Renato C. Zambon e Sérgio Zuculin

**Resumo** – A metodologia PATRICH [1] expressa o risco ou a proteção contra enchentes em vales inundáveis a jusante de reservatórios, por meio do Tempo de Retorno Implícito (TRI). Diferente da abordagem tradicional, com critério exclusivamente hidrológico, essa metodologia integra vários critérios objetivos e subjetivos em 3 dimensões: severidade das consequências caso seja superada a descarga de restrição; complexidade na gestão da restrição e probabilidade da cheia natural superar a descarga de restrição no ponto de controle.

**Palavras-chave** – cheia, risco, proteção, descarga, reservatório.

### I. INTRODUÇÃO

No planejamento e operação de controle de cheias, o setor elétrico brasileiro (SEB) utiliza o método do Tempo de Retorno (TR) para proteção de vales inundáveis a jusante de usinas hidrelétricas [2].

A proteção ou risco é expresso hidrológicamente pelo inverso do tempo de retorno ( $1/TR$ ) [3], mas esse método não captura os avanços no monitoramento, controle e operação dos reservatórios; na dinâmica de uso e ocupação dos vales ou na percepção de risco pela sociedade.

A conjugação do estado da arte em análises de riscos com o conhecimento de operação do SEB resultaram na metodologia PATRICH; que está sendo aplicada com sucesso em caso prático na UHE Jupia. Essa nova metodologia pode ser usada em outros reservatórios e mesmo, em outras aplicações na engenharia.

### II. FUNDAMENTOS DA METODOLOGIA

A metodologia PATRICH [1] é baseada em um conjunto de componentes decisórios chamados descritores.

Os descritores individuais caracterizam e enquadram a restrição hidráulica operativa num ponto de controle. Estão organizados em três dimensões:

**Severidade** das conseqüências, caso a descarga de restrição seja superada numa cheia;

**Complexidade** para gestão da restrição; e

**Probabilidade** de a cheia natural superar a restrição.

A integração dos descritores individuais no respectivo **descritor-síntese** é feita utilizando conceitos da Teoria de Decisão Multicritério [4].

A combinação dos descritores-sínteses determina a proteção requerida, expressa como Tempo de Retorno Implícito (TRI).

### III. METODOLOGIA PATRICH – DESCRITORES INDIVIDUAIS

Dimensões: severidade, complexidade, probabilidade

Os fatores de severidade das consequências por superação da descarga de restrição dependem fundamentalmente do objeto que está sendo protegido (ponte, estrada, bairro, etc). Nesse descritor, é considerada catastrófica a perda de vida humana. Os danos sociais foram embasados nos princípios utilizados pela Defesa Civil Brasileira [5].

A complexidade para gestão depende das medidas preventivas, controle operacional e da organização na articulação com a sociedade e outros agentes.

As figuras 1 e 2, a seguir, apresentam as matrizes dos descritores individuais de severidade e de complexidade, com as escalas de gradação de risco e as descrições resumidas para os enquadramentos de cada situação.

Os descritores de probabilidade (Tabela I) partem do princípio de que a proteção proporcionada pelo reservatório, ou conjunto deles, deve ser superior à da própria natureza do evento hidrológico que produz danos.

Este artigo é uma síntese da metodologia PATRICH, desenvolvida no projeto de P&D "Associação de Graus de Proteção às Restrições Operativas Hidráulicas por meio de Tempo de Recorrência de Cheias"; código ANEEL 0061-001/2007, financiado pela CESP e executado por UNICAMP, EPUSP, HIDRASOFT; com investimento de R\$ 248.200,00.

(1) UNICAMP. (franco@fec.unicamp.br(1); francato@fec.unicamp.br(4))

(2) EPUSP: (mtbarros@usp.br(2); rczambon@usp.br(5))

(3) HIDRASOFT. (jelopes1@gmail.com(3))

(4) CESP: (sergio.zuculin@cesp.com.br)

Grau de Severidade	Descritores do Grau de Severidade das Consequências das Vazões de Restrição (função da Vazão Defluente da UHE)					
	Descritor D1S: Potencial de risco a vida humana	Descritor D2S: Danos econômicos e sociais	Descritor D3S: Danos Ambientais associados a possíveis acidentes em estruturas no vale (barragens de rejeito, indústrias, etc)	Descritor D4S: Danos físicos ou operacionais na própria Usina	Descritor D5S: Impactos aos Usos Múltiplos dos recursos hídricos	Descritor D6S: Impactos negativos a reputação da empresa ou visibilidade na mídia
<b>Catastrófico</b>	Fatalidade ou mais de 100 pessoas sob criticidade nível 1 segundo definição da Defesa Civil	Danos maiores que R\$ 100 milhões, atingindo instalações de prioridade 2 ou 1 segundo definição da Defesa Civil	Destruição total de fauna, flora e de ecossistemas (físico)	Prejuízo nas estruturas físicas e/ou parada de geração superior a seis meses	Impactos sobre os usos múltiplos permanentes e não remanejáveis	Perdas da reputação com impacto no valor acionário da empresa e/ou divulgação em mídia nacional
<b>Alto</b>	Entre 50 e 100 pessoas sob risco de criticidade de nível 1	Danos entre R\$ 50 milhões e R\$ 100 milhões, atingindo instalações de prioridade 2 ou 1	Destruição parcial de ecossistemas, com degradação da biota, mas com possibilidade de restauração	Prejuízo nas estruturas físicas e/ou parada de geração superior a seis meses	Impactos sobre os usos múltiplos sazonais não remanejáveis	Prejuízo na imagem da empresa, porém sem rebatimentos econômicos de curto prazo
<b>Médio</b>	Entre 21 e 50 pessoas sob risco de criticidade de nível 1 ou mais que 50 sob criticidade nível 2	Danos entre R\$ 10 milhões e R\$ 50 milhões, atingindo instalações de prioridade 2 ou 1	Danos pequenos nos ecossistemas locais e a jusante	Prejuízo nas estruturas físicas e/ou parada de geração até um mês	Impactos sobre os usos múltiplos permanentes não remanejáveis	Cobertura negativa apenas pela mídia regional, de curta extensão temporal
<b>Baixo</b>	Até 50 pessoas sob criticidade de nível 2	Danos entre R\$ 1 milhão e R\$ 10 milhões, atingindo instalações de prioridade 2 ou 1	Efeitos locais de danos ambientais	Prejuízo nas estruturas físicas e/ou casa de força sem interrupção de geração	Impactos sobre os usos múltiplos sazonais não remanejáveis	Pequena cobertura negativa da mídia local
<b>Ínfimo</b>	Sem dano à vida humana ou criticidades	Danos até R\$ 1 milhão, atingindo apenas instalações de prioridade 2 ou 1	Sem ocorrência de danos ambientais	Nenhum dano às estruturas físicas e nem parada de geração	Nenhum impacto sobre os usos múltiplos dos recursos hídricos	Nenhuma cobertura negativa pela mídia

Figura 1. Matriz de Severidade – Descritores e escala para definição do grau de severidade das consequências de superar a descarga de restrição

Grau de Complexidade para Gestão	Descritores de Complexidade da Gestão para Atender à Vazão de Restrição a Jusante da Usina (função da Vazão Afluente à UHE)				
	Descritor D1C: Número de Variáveis para Definição de Restrição	Descritor D2C: Finalidade de Restrição	Descritor D3C: Recursos de Controle	Descritor D4C: Parcela Controlável da Vazão Afluente	Descritor D5C: Previsibilidade da Vazão Afluente Não Controlável
<b>Extremo</b>	Restrição dependente de três ou mais (ex. vazão máxima, NA no canal de fuga que, por sua vez, é dependente da cota do NA da foz de algum rio tributário a jusante)	Restrições associadas a danos a infraestrutura em regiões de expressão econômica; e ou restrições associadas a efeitos irreversíveis a propriedades e núcleos populacionais, incluindo fatalidades; Danos ambientais e ou patrimônio histórico de severidade catastrófica	Reservatório de UHE de usos múltiplos e conflitantes, com proteção a vários locais a jusante, em vales de usinas pertencentes a outras empresas, com dificuldade de articulação institucional	Totalmente aleatória em função da parcela não controlada da vazão afluente ao local de restrição	Vazões afluentes sem padrão de sazonalidade ao longo do ano ou com índices de desvio médio absoluto nas previsões de uma semana >=45%
<b>Grande</b>	Restrição dependente de três ou mais variáveis com pelo menos uma delas controláveis (ex. vazão máxima NA no canal de fuga que, por sua vez, é dependente do remanso do reservatório a jusante)	Restrições associadas a danos a infraestrutura em regiões de expressão econômica; e ou restrições associadas a efeitos irreversíveis a propriedades e núcleos populacionais, incluindo fatalidades; Danos ambientais e ou patrimônio histórico de severidade grande	Reservatório de UHE de usos múltiplos e conflitantes, com proteção a vários locais a jusante, em vales de usinas pertencentes a outras empresas	75% de aleatoriedade em função da parcela não controlada da vazão afluente ao local de restrição	Sazonalidade moderada, (diferentes regimes sazonais), em bacias com pequeno tempo de concentração ou com índices desvio médio absoluto previsões semana >=25% e <30%
<b>Média</b>	Restrição dependente de duas variáveis (ex. vazão máxima, vazão afluente)	Restrição associada à propriedade com prejuízos materiais de moderada magnitude ou danos ambientais de grau de severidade baixo e parcialmente reversíveis.	Reservatório de UHE de usos múltiplos e conflitantes, com proteção a não mais que dois locais a jusante, em vales de usinas não exclusivo à própria empresa	50% de aleatoriedade em função da parcela não controlada da vazão afluente ao local de restrição	Sazonalidade definida, em bacias com pequeno tempo de concentração ou com índices de desvio médio absoluto previsões semana >=25% e <30%
<b>Pequena</b>	Restrição dependente de apenas uma variável, porém com controle parcial da descarga da usina (ex. ponto de restrição a jusante de um afluente intermediário)	Restrição com prejuízos materiais de pequena monta ou danos ambientais de curta duração e reversível de forma natural	Abrangência local, com proteção a apenas um local a jusante, pertencente a vale de outra empresa ou entidade (ex. poder municipal) com facilidade de cooperação institucional	25% de aleatoriedade em função da parcela não controlada da vazão afluente ao local de restrição	Sazonalidade definida, em bacias com pequeno tempo de concentração ou com índices desvio médio absoluto previsões semana >=15% e <25%
<b>Insignificante</b>	Restrição independente, fixada em função de uma única variável (ex. vazão máxima)	Restrição sem prejuízos materiais e/ou incidente em áreas já susceptíveis à inundações frequentes	Abrangência local, exclusiva à restrição da própria usina	Restrição imediatamente a jusante da usina, com definição precisa sobre o seu valor	Sazonalidade bem definida, em bacias com pequeno tempo de concentração ou com índices de desvio médio absoluto nas previsões para uma semana menores que 15%

Figura 2. Matriz de Complexidade – Descritores e escala para definição do grau de complexidade para gestão da descarga de restrição



Tabela 1. Descritor de Probabilidade

Classificação dos descritores de probabilidade	Probabilidade da vazão natural superar a vazão de restrição	Tempo de Retorno (TR) da cheia natural (anos)
Muito Grande	20% < Prob.	Tr<5
Alta	10% < Prob <=20%.	5<Tr<10
Moderada	4% < Prob <=10%.	10<Tr<25
Baixa	2% < Prob <=4%.	25<Tr<50
Muito Pequena	Prob <=2%.	50<=Tr

A determinação da probabilidade é feita da forma tradicional (Gumbel ou outra) [3].

#### IV. METODOLOGIA PATRICH – DESCRITORES-SÍNTESES

A metodologia exige que o gestor da restrição faça a hierarquização dos descritores individuais de severidade e de complexidade em três categorias: Descritor Dominante de 1ª Ordem e de 2ª Ordem. Os demais serão “de 3ª Ordem”.

O Descritor Dominante de 1ª Ordem será predominante na formação do descritor-síntese e pode ser agravado ou aliviado, principalmente, pela combinação com o Dominante de 2ª Ordem. Os de 3ª Ordem trazem contribuições incrementais.

Obtidos os descritores-síntese de severidade e de complexidade, faz-se o enquadramento quanto à probabilidade. Para cada uma das cinco classes do descritor de probabilidade (ver Tabela 1) foi construída uma matriz como a da Figura 3 a seguir.

Tri(Anos) associado à probabilidade Muito Grande (>20%) de a vazão natural superar a descarga de restrição (Tr< 5 anos)		Descritor-síntese de Severidade das Conseqüências caso a Restrição seja Superada				
		Catastrofófico	Alto	Médio	Baixo	Ínfimo
Descritor-síntese de Complexidade para gestão da restrição	Extremo	100	50	25	10	5
	Alto	100	50	25	10	5
	Médio	70	30	15	5	Não requer proteção
	Baixo	50	20	10	5	Não requer proteção
	Insignificante	50	20	10	Não requer	Não requer proteção

Figura 3. Matriz para probabilidade Muito Grande (>20%) e exemplo de aplicação

As etapas de aplicação da metodologia PATRICH podem ser resumidas na Figura 4 a seguir. Mais detalhes podem ser obtidos

em [www.cesp.com.br](http://www.cesp.com.br), sob o link “Pesquisa e Desenvolvimento/ Metodologia Patrich”.

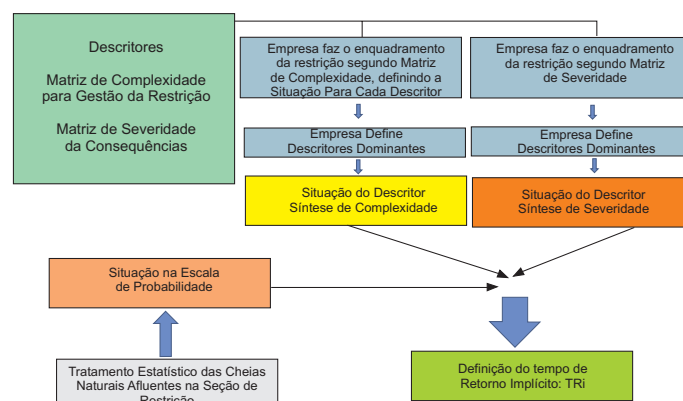


Figura 4. Visão geral da metodologia PATRICH

#### V. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA-CASE

A metodologia foi aplicada à restrição hidráulica operativa de vazão máxima defluente da UHE Jupia (16.000 m³/s) cujo TR é de 30 anos desde 1980 (Risco = 3,3% a.a.).

Esta é uma das restrições que mais penalizam na alocação de volumes vazios nos reservatórios para controle de cheias.

O resultado foi um TRi menor, indicando que a proteção requerida atualmente é menor que aquela praticada historicamente.

#### VI. CONCLUSÕES

A metodologia PATRICH para definição da proteção requerida contra enchentes a jusante de usinas hidrelétricas amplia os aspectos considerados na decisão atual, e foi avaliada como robusta e consistente, pois considera:

- o nível de complexidade para gestão da restrição, que deve sempre ser um objetivo operativo;
- a hipótese da restrição não ser atendida e prevê estimativas dos possíveis prejuízos;
- a frequência com que as cheias naturais superam as descargas de restrição;
- integra os múltiplos fatores que definem a necessidade de proteção, admitindo uma parcela de julgamento e valoração pelo gestor;
- possibilita o ajuste dinâmico das necessidades de proteção, conforme se desenvolvam ações no sentido de reduzir a complexidade da gestão ou a severidade das conseqüências, como um mapa de orientação de ações para que, progressivamente, haja menor necessidade de proteção.

#### VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] P. S. F. Barbosa, M. T. L. de Barros, S. Zuculin, “Relatório da metodologia Patrich: proteção associada ao tempo de retorno implícito de cheias”, CESP, São Paulo, BR, Relatório Técnico, 2010.  
 [2] J. M. Damázio, “Condições de Controlabilidade de Sistemas de Reservatórios para Controle de Cheias e seu Uso na Operação de Sistemas com Múltiplos Usos”, COPPE-UFRJ, RJ, BR, Doutorado 1988.  
 [3] M. Naghettini, J. E. A. Pinto, “Hidrologia Estatística” CPRM, Brasília, 2007.  
 [4] F. Szidarovszky, M. E. Gershon, L. Duckstein, “Techniques for Multiobjective Decision Making in Systems Management” Elsevier Science Publishing Company Inc. 506p. New York. 1986.  
 [5] Manual para a decretação de situação de emergência ou de estado de calamidade pública - Volume II – Anexos, Secretaria da Defesa Civil, Brasília, 1999

## Sensor fotográfico acoplado em veículo não tripulado ajuda monitoramento ambiental

A ocupação às margens de reservatórios e as modificações na cobertura vegetal e na forma de uso do terreno afetam a qualidade das águas. Para monitorar essas mudanças, pesquisadores da Companhia Energética de São Paulo (Cesp), Universidade de São Paulo (USP), FITEC Inovações Tecnológicas e Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) desenvolveram método para utilização de sensor fotográfico acoplado a um Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT). O objetivo do projeto foi confrontar imagens obtidas por satélites com as fotografias tiradas a partir da câmera embarcada no VANT. O veículo sobrevoou a represa de Jaguari, na região dos municípios paulistas de Jacareí e São José dos Campos. Por meio de coordenadas GPS, o VANT fez um sobrevoo seguindo quatro linhas paralelas na região de interesse e obteve 52 fotos de uma altura de 992 metros. Depois, as fotos podem passar por um processo de pós-processamento, no qual *softwares* geram polígonos apenas nas regiões onde houve alteração na ocupação do solo. Dessa forma, se a cobertura vegetal foi removida – o que indica preparação do solo para futura edificação –, o gestor do reservatório pode intervir a tempo e solicitar a interrupção da obra. Os resultados da pesquisa demonstraram que as fotos obtidas pelo VANT eram de melhor definição que as do satélite. Além disso, seu uso independe da cobertura de nuvens, pois o VANT voa abaixo delas, e a operação pode ser repetida várias vezes. As fotos de satélite, por sua vez, são afetadas pela nebulosidade e, além disso, o equipamento segue uma trajetória orbital determinada, o que impede a repetição da operação seguidas vezes. A CESP pretende programar treinamento de pessoal para utilizar a tecnologia VANT de forma corriqueira.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: Companhia Energética de São Paulo (CESP)

Título: Sistema de Monitoramento de Reservatórios e Bordas de Represa Utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) e Banco de Dados

Ciclo: 2006/2007

Investimento: R\$ 1.214.460,00

Execução: Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia, Departamento de Engenharia de Transportes (PTR) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP) e FITEC Inovações Tecnológicas



# Sistema de Monitoramento de Reservatórios e Bordas de Represa Utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) e Banco de Dados

Rafael W. de Albuquerque<sup>1</sup>, Maurício G. M. Jardim<sup>1</sup>, Luiz C. Magrini<sup>1</sup>, Ferdinando Crispino<sup>1</sup>, José A. Jardim<sup>1</sup>, Mariana Giannotti<sup>2</sup>, José A. Quintanilha<sup>2</sup>, Luiz R. da Silva<sup>3</sup>, FITec<sup>4</sup>

**Resumo** – Este trabalho tem o objetivo de gerar uma metodologia para a localização de pontos em que ocorrem mudanças de uso do solo a partir de imagens de sensores diferentes, como imagens de satélites e de sensor fotográfico acoplado em VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado, utilizando como área de estudo o reservatório da usina hidrelétrica Jaguari.

**Palavras-chave** – Sensoriamento remoto, vant.

## I. INTRODUÇÃO

Segundo Maximiliano (1996), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido usados por vários setores que tratam da questão ambiental na análise integrada dos dados do meio físico, consistindo em uma ferramenta importante para o assunto.

Juntamente, outro recurso que auxilia o monitoramento e planejamento de ocupação do solo é o Sensoriamento Remoto (SR), que faz uso de imagens de satélite e de VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado para extrair informações acerca da superfície terrestre.

As imagens geradas por sensores captam a reflectância de um ou mais elementos da cena (usualmente equivalente a um pixel da imagem) como sendo a integração das reflectâncias dos diversos alvos abrangidos por sua área imageada [1].

A ocupação das margens dos corpos d'água e as modificações da cobertura e do uso das terras nas bacias afeta a qualidade das águas.

Tal fato está ocorrendo no reservatório de Jaguari, que permeia municípios como de São José dos Campos, Jacareí, e outros.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. O VANT

O uso de VANTs tem crescido em aplicações não-militares (agricultura, controle patrimonial, inspeção de áreas de preservação, etc.). Em todas estas, o imageamento por fotografia e videografia no espectro visível é a técnica predominante. Neste projeto, cujo objetivo é confrontar o processo de imageamento por satélite com o imageamento por sensores embarcados em VANTs, foi utilizada uma câmera fotográfica Canon EOS 7D, com resolução de 18 Mpixels.

O veículo aéreo utilizado foi o Rascal 110" ARF, adaptado para abrigar os equipamentos de payload, o controlador de voo e demais aviônicos. O sistema contou ainda com uma estação de controle em solo equipada com um sistema de supervisão e controle, sistema de alimentação, rádio-modem e antena.

No âmbito do projeto foram utilizados aplicativos para controle do sistema de imageamento, de forma a que se obtenha fotografias com as correspondentes coordenadas GPS dos objetos de interesse, bem como os ângulos da aeronave no momento de captura da imagem. Estas informações são utilizadas no pós-processamento das imagens para retificação e georeferenciamento das mesmas. Segue-se, na Figura 1, imagem do caminho percorrido pela aeronave sobre a região de interesse.



Figura 1. Caminho da aeronave

O plano da missão previu um sobrevoo seguindo quatro linhas paralelas, na região de interesse, de forma que se assegurasse o recobrimento lateral e longitudinal necessário para composição de mosaicos. Foram obtidas 52 fotos da região sobre o Pier, a uma altitude média de 992m. A Figura 2 ilustra uma destas fotografias.

### B. Tratamento de imagens

A área definida no reservatório de Jaguari e os materiais de estudo, consistiram em duas imagens georeferenciadas e em um arquivo de

Sistema de Monitoramento de Reservatórios e Bordas de Represa Utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT); financiamento: CESP; executoras FITEC e FDTE; 2006/2007; Investimento R\$1.214.460,00.

<sup>1</sup> Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (r.w.albuquerque@gmail.com, mauricio.jardini@gmail.com)

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PTR - EPUSP) (jaquinta@usp.br)

<sup>3</sup> Companhia Energética de São Paulo - CESP: (luizrober-to.silva@cesp.com.br)

<sup>4</sup> FITEC Inovações Tecnológicas (vmarsola@fitec.com.br)

formato .TIFF da banda multiespectral, sendo uma de sensor QuickBird (Figura 3), ano 2009, e outra de sensor WorldView, ano 2010. O software utilizado foi o Erdas Imagine. Este inclui um módulo específico, o Delta-Cue, que realiza classificação de duas imagens de uma mesma área e foi programado para gerar polígonos apenas nos locais em que detectou mudança na ocupação do solo.

Este recurso é caracterizado por processar apenas os arquivos em que foram detectadas mudanças no valor no pixel das imagens. Logo, a classificação gerada mostra apenas os pontos em que foram evidenciadas mudanças na ocupação do solo, sendo que as áreas que permaneceram imutáveis não são destacadas [2].



Figura 3. Imagem do satélite QuickBird - represa de Jaguarí – Pier (Outubro de 2009)

### III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O algoritmo Blueness Diff identificou melhor as mudanças de uso do solo que ocorrem quando a vegetação passa a ser solo exposto. Estas são as mudanças que realmente ocorreram na área de estudo em um período de um ano (de 2009 a 2010), devendo o algoritmo ser capaz de identificar este padrão de alteração no uso do solo. A Figura 4 mostra um

exemplo de mudança que ocorreu no período de 2009 a 2010, onde o solo se tornou exposto, em virtude de futura ocupação, com construção de edificação naquele ponto. Neste caso, o gestor do reservatório pode ir ao local e exigir que a obra seja interrompida.

### IV. CONCLUSÕES

A metodologia para detectar locais (utilizando imagem fusionada) em que houve mudança de uso do solo envolvendo imagens tratadas de sensores Quickbird e Worldview foi considerada adequada. As fotografias obtidas com o sensor embarcado no VANT apresentaram uma imagem de alta qualidade, com dimensão do pixel no solo entre 7,11 e 8,99 cm, mostrando-se bem superior ao que se obtém com satélites atualmente. Uma melhor resolução ainda pode ser obtida efetuando o voo em uma altitude menor, ou equipando o VANT com outros tipos de câmera e lente. Posteriormente, será feito um estudo de detecção de mudanças na ocupação e uso do solo, tendo por base as fotografias obtidas com o VANT. O uso de VANTs, com o sensor específico para o projeto, mostrou-se eficiente. Uma vantagem desse sensor sobre os satélites é a possibilidade de uso independente de cobertura de nuvens, além disso, existe possibilidade de se efetuar vários vôos na área de interesse, sob controle da Estação Solo, o que não ocorre com o satélite, cuja trajetória orbital é bem determinada. A CESP está programando, treinamento de pessoal para que a metodologia desenvolvida (aplicação do VANT e demais desenvolvimentos) se torne corriqueira dentro da empresa.

### V. AGRADECIMENTOS

À P&D ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – pelo auxílio/fomento aos recursos necessários para se desenvolver o projeto.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

- [1] Aguiar, A. P. D.; Shimabukuro, Y. E.; Mascarenhas, N. D. A. Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. *International Journal of Remote Sensing*, v.23, n.14, p.647-657, 1999. Eastman, J. R. Idrisi for Windows: Manual do usuário. Porto Alegre: UFRS, 1998. E. H. Miller, "A note on reflector arrays," *IEEE Trans. Antennas Propagat*".

Livros:

- [2] FELGUEIRAS, C. A. & CÂMARA, G. Sistema de Informações Geográficas do INPE. 1. ed. In: ASSAD, E.D. e SANO, E.E., eds. Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. Brasília, EMBRAPA/CPAC, 1993. P.41-59.



Figura 2. Foto sobre a represa de Jaguari - Pier

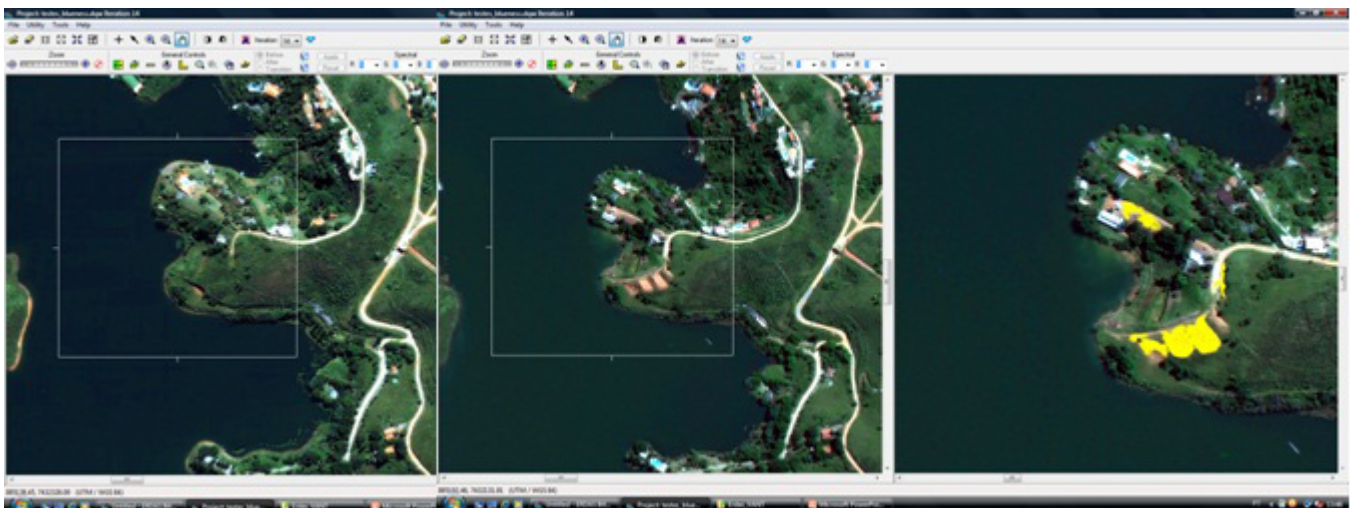


Figura 4. Exemplo de detecção de mudanças no solo

# CHESF

---

## Empresa aperfeiçoa sistema de tratamento de alarmes em redes elétricas

Aprimorar o Sistema Inteligente de Tratamento de Alarmes (SmartOne) criado anteriormente para diagnóstico automático de falhas em redes elétricas por meio de ferramenta computacional foi o objetivo do projeto apresentado pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco S/A (CHESF) e Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A demanda inicial por essa ferramenta partiu da dificuldade de gerenciamento de grandes áreas eletrogeográficas, operação realizada com auxílio de um sistema de controle e supervisão que emite alarmes que sinalizam o comportamento da rede. Entretanto, sabe-se que a análise de um grande volume de alarmes em situações críticas é um constante desafio, pois esse procedimento aumenta o tempo de diagnóstico e de reação dos operadores. O sistema foi implantado em todos os centros de operação de sistema da CHESF, mas detectou-se a necessidade de aprimoramento, o que justificou a realização de um novo projeto de P&D, com a elaboração do SmartTwo. Com a nova pesquisa, torna-se possível apresentar as ocorrências do sistema elétrico de potência de maneira resumida e clara, eliminando o número excessivo de alarmes apresentados ao operador, a fim de aumentar a eficiência no processo de tomada de decisões para restabelecimento de interrupções de energia, com possibilidade de redução do tempo de indisponibilidade da transmissão e das interrupções e atendimento aos clientes.

A importância da solução pode ser verificada durante ocorrência em subsistema da CHESF que gerou mais de cinco mil alarmes no sistema de controle supervisório. Com a utilização do SmartTwo, a ocorrência foi resumida a 18 diagnósticos e uma causa-raiz. O sistema está em fase de operação no Centro Regional de Operação de Sistema Leste (CROL) da empresa em Recife e os pesquisadores continuam a realizar o monitoramento para atestar o funcionamento apropriado da ferramenta.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF)  
Título: SmartTwo – Evolução do Sistema de Processamento Inteligente de Alarmes  
Ciclo: 2004/2005  
Investimento: R\$ 645.954,63  
Execução: Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)



# SmartTwo – Evolução do Sistema de Processamento Inteligente de Alarmes

Antônio Sérgio de Araujo<sup>1</sup>, Frutuoso Gusmão Amorim, Jacques Philippe Sauvé<sup>2</sup>, Eloi Rocha Neto, Jorge Abrantes, Pedro Sergio Nicolletti

**Resumo** – Apresenta-se uma ferramenta computacional para o diagnóstico automático de falhas em redes elétricas que utiliza uma técnica híbrida de correlação de eventos. A técnica combina os raciocínios e se baseia em modelos de regras para eliminar as deficiências decorrentes de atualizações topológicas deste último. A especificação e a estratégia de desenvolvimento são apresentadas, incluindo os resultados da aplicação prática sua integração ao sistema de supervisão e controle da CHESF em sua fase de operação no Centro Regional de Operação de Sistema Leste.

**Palavras-chave** – Sistemas de Processamento Inteligente de Alarmes, Sistemas Baseados em Conhecimento, Causa raiz, Estabilidade de Sistemas Elétricos, Diagnósticos Gráficos.

## I. INTRODUÇÃO

Os Centros de Operação de Sistema supervisionam e controlam o Sistema Elétrico de Potência (SEP) da CHESF e têm a complexa tarefa de gerenciar grandes áreas eletrogeográficas. Esta operação é realizada com o auxílio de um sistema de controle e supervisão que disponibiliza, em forma de alarmes, os dados que descrevem o comportamento da rede elétrica.

A análise de um grande volume de alarmes em situações críticas é um constante desafio para os centros de operação do sistema elétrico, pois aumenta o tempo de diagnóstico e de reação dos operadores.

Diante dessa problemática, foi desenvolvido, em um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) entre CHESF e UFCG, ciclo 2001/2002, Sistema Inteligente de Tratamento de Alarmes – SmartOne [1]. O sucesso do projeto levou-o a ser implantado em todos os centros de operação de sistema da CHESF.

Apesar do sucesso, seis características justificaram a realização de um novo projeto de P&D entre as mesmas instituições. Foram elas:

- Complexidade ao tentar expressar nas regras as combinações necessárias para cobrir todos os cenários possíveis;
- Aumentar taxa de acerto;
- Apresentar diagnóstico principal quando de sinalização simultânea de vários diagnósticos (causa raiz);
- Apresentar diagnósticos de forma gráfica;
- Possuir um módulo de gestão Pró-Ativa para apresentar estados críticos e inseguros do SEP.

## II. NOVA TÉCNICA

A principal característica está relacionada com o baixo esforço de manutenção necessário para manter a base de conhecimento atualizada,

mesmo em situações onde existem mudanças drásticas na topologia.

Essa técnica consistiu em um modelo baseado em regras genéricas e no conceito de conectividade.

Na nova versão das regras genéricas, a base de conhecimento é separada em duas partes: regras e atributos. Nessa nova abordagem, uma regra pode possuir vários atributos, e o sistema, por sua vez, encarrega-se de realizar todas as combinações necessárias.

Devido à simplificação da escrita das regras, a nova técnica permitiu expressar uma quantidade maior de atributos, ocasionando geração de diagnósticos mais ricos semanticamente.

## III. CAUSA RAIZ

Foi desenvolvida uma técnica de causa-raiz para análise de ocorrências em tempo real, com uma descrição fiel do que aconteceu, detalhando como a falha inicial se propagou, gerando as demais falhas, denominadas de falhas consequentes. A técnica utiliza raciocínio baseado em regras, onde regras parametrizadas constroem um modelo de propagação com relacionamentos de causa e efeito entre os diagnósticos, identificando dessa forma, qual ocorreu antes, depois, ou simultaneamente a em um determinado diagnóstico.

## IV. DIAGNÓSTICOS GRÁFICOS

Constatou-se, que a apresentação textual dos diagnósticos não era a melhor forma, pois o operador ainda tem que transformar mentalmente a informação abstrata para algo mais concreto. Diagnósticos gráficos emitidos diretamente nos perfis unifilares das subestações facilitam a percepção do problema, de sua abrangência e de suas consequências.

Os efeitos gráficos apresentados podem ser aplicados sobre dois tipos de tela:

- tela do unifilar: tela que apresenta o diagrama unifilar de uma determinada subestação;
- tela sistêmica: tela que apresenta todas as subestações monitoradas pelo Centro de Operação.

Os efeitos apresentados sobre um equipamento consistem em uma camada pulsante envolta do equipamento, cuja cor depende do tipo do

Informações sobre o Projeto de P&D: Smart Two - Evolução Sistema de Tratamento de alarmes em Centros de Controle da CHESF; 0048-035-2005; CHESF; UFCG; Ciclo 2004/2005; R\$ 645.954,63.

<sup>1</sup> CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (asergi-o@chesf.gov.br)

<sup>2</sup> UFCG – Universidade Federal de Campina Grande (jac-ques@dsc.ufcg.edu.br)

diagnóstico e do nível de supervisão do equipamento. Esses efeitos podem ser apresentados tanto na tela do unifilar quanto na sistêmica. Já o segundo tipo de efeito é aplicável sobre um conjunto de equipamentos. Diante de um blecaute de uma subestação, por exemplo, toda a subestação ficará escurecida.

## V. ESTABILIDADE DE SISTEMAS

Esse módulo calcula a distância para a instabilidade de um sistema de potência a partir de variáveis elétricas das barras e linhas de transmissão colhidas em campo. A distância para a instabilidade mede a diferença do consumo de potência entre o estado atual do sistema de potência e o estado no qual os geradores não conseguem mais atender à demanda dos consumidores, com perda de sincronismo.

A técnica de avaliação de estabilidade escolhida no desenvolvimento do Stability é a Análise Nodal de REI-Dimo [2]. Essa técnica oferece soluções para várias questões de sistemas de potência, como problemas de equivalência de sistemas elétricos e análise de estabilidade dinâmica e transitória [3].

## VI. RESULTADOS

Foi realizada a fase de aplicação prática chamada de pré-fase de operação experimental, com o objetivo principal de termos uma significativa contribuição dos operadores de sistema na elaboração de especificações técnicas e interfaces para o usuário. A solução está em fase de operação no Centro Regional de Operação de Sistema Leste (CROL) em Recife, onde continua a ser monitorada para confirmar o funcionamento apropriado da solução.

A importância do SmartTwo para o processo de tomada de decisão pode ser bem verificado em uma ocorrência num subsistema da Chesf que gerou mais de 5.000 alarmes no sistema de controle supervisão. O SmartTwo resumiu a ocorrência em apenas 18 diagnósticos e uma causa raiz.

## VII. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta o desenvolvimento e aplicação do SmartTwo, sistema para aplicação em tempo real nos centros de operação de sistema da CHESF. Aplicativo que é resultado de um trabalho cooperativo entre CHESF e UFCG, sistema evoluído a partir do SmartOne[1] que apresenta as ocorrências do sistema elétrico de potência de maneira resumida e clara, eliminando o número excessivo de alarmes apresentados ao operador de sistema com o propósito de aumentar a eficácia e eficiência destes no processo de tomada de decisões para restabelecimento quando de faltas, reduzindo o tempo de indisponibilidade das funções transmissão e das interrupções e atendimento aos clientes.

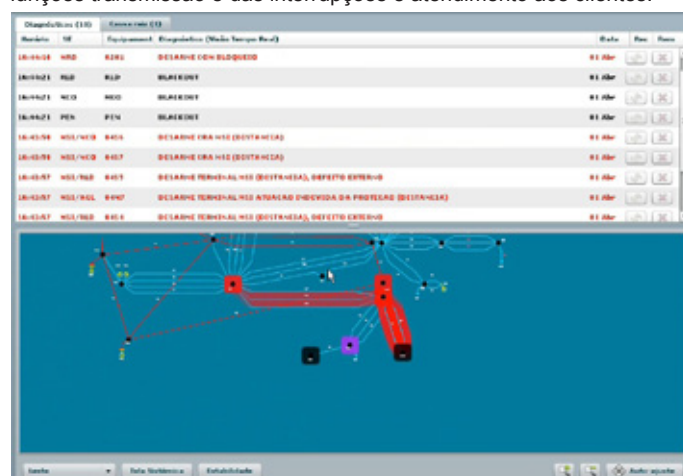


Figura 1. Tela de alarmes do SmartTwo.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. Cirne; A. N. Duarte; J. A. Feguediro; M. C. Sampaio; J. P. Souvê; E. R. Neto; A. S. Araújo; M. S. C. Melo. "Simplifying Maintenance in Intelligent Alarm Processing Systems", Proceed-ings of the ICKEDS'2004 International Conference on Know-ledge Engineering and Decision Support, p. 17-24, 2004.
- [2] P. Dimo. "Nodal Analysis of Power Systems." Taylor & Francis, 1975.
- [3] S. R. Erwin, M. L. Oatts, S. C. Savulescu. "Predicting steady-state instability". Computer Applications on Power Systems, IEEE, 1994.



# AES Tietê

---

## Empresa propõe modelo de alocação de responsabilidade por perdas na transmissão

Com o objetivo de criar um modelo que determinasse a contribuição de cada agente para as perdas na transmissão de energia, pesquisadores da AES-Tietê e da Engenho Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria criaram um sistema pelo qual se acredita ser possível distinguir as perdas que se devem, de fato, ao uso do sistema (que cabem ao gerador) daquelas involuntárias, associadas aos serviços prestados ao sistema e que, em princípio, não seriam responsabilidade do supridor. De acordo com os pesquisadores, o modelo atual causa insatisfação, pois os métodos existentes têm limitações que geram distorções: os benefícios ou prejuízos para cada agente são associados não à sua capacidade para gerar ou mitigar perdas, mas à sua localização no sistema ou, ainda, a critérios que dependem de despachos nem sempre realistas. Para corrigir esse problema, propôs um modelo inovador, simples, completo e transparente para a alocação justa e eficiente das perdas da transmissão. A metodologia do modelo permite que cada agente possa compreender e validar a alocação de perdas, ao separar uso e serviço e criar contabilizações e ressarcimentos adequados. Para aferir com precisão a contribuição de cada agente às perdas do sistema, os pesquisadores elaboraram um modelo com um critério de rateio baseado em quatro características: justo (cada agente paga de acordo com a sua contribuição), completo (os custos devem ser completamente recuperados), transparente (o critério deve ser conhecido por todos) e realista (os cálculos devem refletir fielmente a realidade do sistema). Dessa forma, segundo os autores, seriam evitados casuísmos e aproximações questionáveis, que contribuem à falta de consenso entre os agentes.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: AES Tietê  
Título: Um Modelo Justo e Eficiente para Alocação das Perdas em Sistemas de Transmissão  
Ciclo: 2005/2006  
Investimento: R\$ 63.315,00  
Execução: Engenho Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ltda.

# Um Modelo Justo e Eficiente para a Alocação das Perdas em Sistemas de Transmissão

Leontina Pinto 1 e Manuel José Póvoa 2

**Resumo** – A alocação de perdas da transmissão é um problema ainda em aberto. Cada método proposto até agora na literatura apresenta vantagens e limitações. Os benefícios ou prejuízos para cada agente são, muitas vezes, associados não à sua capacidade para gerar ou mitigar perdas, mas à sua localização no sistema ou a critérios que dependem de despachos nem sempre realistas. Este trabalho propõe um novo modelo, inédito no Brasil e no mundo, para a alocação das responsabilidades pelas perdas de transmissão. Os conceitos são claros e transparentes. O resultado é justo, não depende de indicadores controversos e espelha o que se deseja. Em última análise é a contribuição do agente para as perdas do sistema.

**Palavras-chave** – Perdas de Transmissão, Alocação das Perdas, Rateio da Perdas de Transmissão, Congestão

## I. INTRODUÇÃO

A alocação das perdas de transmissão e rateio de seus custos pelos agentes deve, como todo o critério de rateio, ser:

- Justa: todos os agentes devem pagar de acordo com sua contribuição.
- Completa: os custos devem ser completamente recuperados.
- Transparente: o critério deve ser conhecido e aceito por todos.
- Realista: os cálculos devem refletir fielmente a realidade do sistema.

A referência [1] oferece uma análise abrangente dos métodos e critérios propostos na literatura especializada. Pode-se dizer que nenhum atende completamente aos quatro critérios acima.

Este é o objetivo deste trabalho: propor um novo critério para a alocação justa, completa e transparente das perdas de transmissão. O novo modelo é simples, de fácil entendimento e absorção, sem pecar por casuísmos ou aproximações questionáveis.

## II. O MODELO PROPOSTO

### A. O Estado da Arte

A Referência [1] traça um panorama dos modelos mais conhecidos para a Alocação de Perdas de Transmissão. Todos exibem vantagens e desvantagens, discutidas detalhadamente no relatório de projeto [2]. Nenhum deles, entretanto, modela a rede brasileira congestionada.

Mais ainda, todos dependem de um despacho-referência, que pode variar significativamente, trazendo, como consequência, rateios (alocações) consistentemente diferentes. Este fato contribui para a falta de consenso entre os agentes, que podem se sentir beneficiados ou prejudicados, sem uma explicação clara e convincente.

### B. O Modelo Proposto

O modelo proposto representa o sistema tal como é: sujeito a perdas, congestões, com todas as suas especificidades. Para tanto, é utilizado o fluxo de potência ótimo que minimiza uma função objetivo genérica respeitando as restrições da rede:

$$\text{Min } fo = \sum_{i=1}^{ng} C_{gi} (P_{gi}) + \sum_{j=1}^{nl} C_{ff} (F_j) \quad (1)$$

respeitando as restrições da rede

$$P_{gi} - P_{di} = P_i (V, \theta); \quad i = 1, \dots, nb \quad (2)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} = Q_i (V, \theta); \quad i = 1, \dots, nb \quad (3)$$

$$P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max}, \quad i = 1, \dots, nb \quad (4)$$

$$Q_{gi}^{\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{\max}, \quad i = 1, \dots, nb \quad (5)$$

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max}, \quad i = 1, \dots, nb \quad (6)$$

$$|F_k| \leq F_k^{\max}; \quad k = 1, \dots, nl \quad (7)$$

onde

$fo$  representa, a critério do usuário, qualquer função de interesse: desde o custo de operação da geração distribuída até mesmo as pedas do sistema.

$P_g$  é o vetor de potências ativas geradas com custo associado  $C_g$

$P_d$  é o vetor de potências ativas demandadas

$Q_g$  é o vetor de potências reativas geradas

$Q_d$  é o vetor de potências reativas demandadas

$V$  e  $\theta$  são os vetores de tensão e ângulo nodais

$F$  é o vetor de Fluxos nas linhas de transmissão, com custo associado  $C_f$ , dado pelas suas componentes ativa  $P_{ij}$  e reativa  $Q_{ij}$

$$F_{ij} = \sqrt{P_{ij}^2 + Q_{ij}^2} \quad (8)$$

$$P_{ij} = V_i V_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)] \quad (9)$$

$$Q_{ij} = V_i V_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)] \quad (10)$$

As perdas do sistema são dadas por

$$\text{Perdas} = \sum_i F_i \quad (11)$$

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Atribuição dos Custos Sistemáticos de Perdas de Transmissão', Projeto 0064-001/2006, AES-Engenho, ciclo 2005

1 Engenho Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ltda. (e-mail: leontina@engenho.com)

2 AES-Tietê (e-mail: jose.povoa@aes.com).



### C. A Alocação das Perdas

A solução do Fluxo de Potência Ótimo permite o cálculo da responsabilidade de cada agente com respeito às perdas no sistema, “medida” através de

$$\pi_i = \frac{0(f_o)}{0P_i} \quad (12)$$

onde a função objetivo representa as perdas do sistema e  $\pi$  representa a sensibilidade das perdas à geração ou carga de cada agente.

Este cálculo é exato: não depende de conceitos, hipóteses ou simplificações. Define, de forma clara e transparente, o impacto de todos os agentes nas perdas. É um sinal locacional, justo, transparente e completo.

## III. CASO EXEMPLO

### A. O Sistema

O modelo proposto foi aplicado a um equivalente a 107 barras da parte da rede brasileira produzido pela Universidade Federal Fluminense [4] ilustrado na Figura 1 e despachado sob distintas condições.

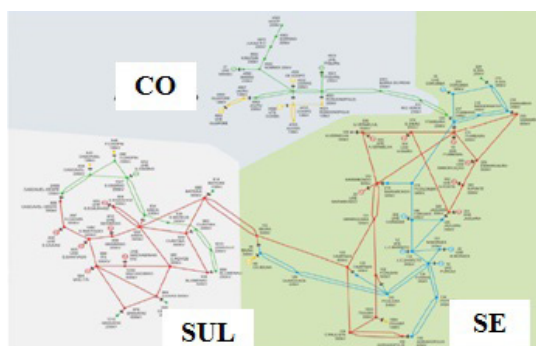


Figura 1 - Equivalente SUL/SE/CO

O objetivo será calcular a alocação de perdas para um gerador localizado próximo às cargas - tomamos a barra-equivalente da AES-Tietê. Os resultados obtidos são comparados com as alocações calculadas por um modelo alternativo: o ITL (Incremental Transmission Loss) [5], normalmente apontado como o mais adequado e cogitado por muitos para aplicação em nosso país.

### B. Testes Realizados

Realizamos quatro testes comparativos, abraçando possíveis cenários de operação, discutidos a seguir e sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação entre os Modelos

MODELO	ITL	PROPOSTO
1 - Caso Base	4.2%	-3.5%
2 - Min Perdas	3.4%	0%
3. Restri SE	3.8%	0%
4 - Restr SUL	6.5%	2.50%

### C. Discussões

O modelo proposto “captura” a distinção entre perdas devidas realmente ao uso da rede (modelo de mínimas perdas) e ao serviço que o gerador presta à rede (otimização energética, despacho sob restrições). Detalhamos a seguir as particularidades de cada cenário:

1. Caso-base: Despacho inicial sugerido em [4], com intercâmbio na direção SE-Sul. O despacho causa mais perdas do que deveria, devido à imposição do intercâmbio e não à necessidade de atendimento à demanda.

2. Mínimas perdas: nesse caso, a geração supre localmente a carga. Não chega à rede básica e não é penalizada por isso. O mero suprimento à carga não gera perdas, dada a proximidade entre geração e consumo.

3. Despacho sob escassez hidráulica no SE: como no caso anterior, o gerador não causa perdas. O fluxo suplementar vem do Sul.

4. Despacho sob escassez hidráulica no Sul: o gerador exporta energia ao Sul, arcando pesadamente com as perdas que só provoca porque foi “convocado” a auxiliar o sistema. Fica a questão: esse caso não configuraria um serviço ao sistema? Seria justo arcar com perdas que não beneficiam ao gerador ou a seus consumidores?

## IV. CONCLUSÕES.

Apresentamos um modelo inovador, simples, completo e transparente para a alocação justa e eficiente das perdas da transmissão. É possível distinguir as perdas realmente consequentes do uso do sistema (que cabem ao gerador) e aquelas involuntárias, associadas aos serviços prestados ao sistema e cujo custo, em princípio, não cabe ao gerador.

Nosso objetivo, longe de beneficiar qualquer agente, é oferecer uma metodologia justa e transparente, onde cada agente possa compreender e validar a alocação de perdas, separando uso e serviço e criando contabilizações e ressarcimentos adequados.

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. J. Conejo, J. M. Arroyo, N. Alguacil, A. L. Guijarro, “Transmission Loss Allocation: A Comparison of Different Practical Algorithms”, IEEE Transmision on Power Systems, vol. 17, No.3, pp. 517-576, August 2002.
- [2] L. Pinto, J.C.Mateus, “Atribuição dos Custos de Perdas Sistêmicas de Transmissão, Relatório de Projeto”, Relatório Engenho/AES, 2009
- [3] W.F.Alves, “Proposição de sistemas-teste para análise Computacional de sistemas de potência”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2007
- [4] A. Conejo, F. D. Galiana, I. Kockar, “Z-Bus Loss Allocation”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, No. 1, pp. 105 – 110. February, 2001

# UHE Dona Francisca

---

## Modelo de vertedouro em degraus possibilita redução de energia cinética em usina

Pesquisadores da Dona Francisca Energética S/A e da UFRGS construíram, em laboratório, um modelo de vertedouro em degraus para avaliar as características físicas do escoamento de água, tanto no próprio vertedouro como a jusante (localização inferior, no caso de rios e córregos e arroios, são os pontos situados no sentido de sua foz, da corrente, rio abaixo), na bacia de dissipação, localizada posteriormente ao vertedouro de uma usina hidrelétrica. A função básica de um vertedouro em degraus é reduzir a energia cinética à jusante da usina, minimizando a velocidade do impacto do jato d'água, os efeitos de cavitação (formação de vácuo), erosão e fadiga no leito do rio ou nas estruturas. Para evitar danos às obras hidráulicas é essencial que a energia cinética gerada pelo escoamento seja dissipada em sua maior parte. Um dos métodos mais difundidos para dissipação de energia é o uso de vertedouro em degraus. Com a dissipação da energia pode-se reduzir a capacidade portante (capacidade de armazenamento) da bacia de dissipação, tais como comprimento, espessura e ancoragem. Isto poderá ocasionar a diminuição nos custos totais das obras de dissipadores de energia. Os dados obtidos pelos pesquisadores em laboratório permitiram determinar os locais onde ocorreram as maiores flutuações de pressão sobre os degraus e onde terminaram as flutuações de pressão importantes sobre a bacia de dissipação. Dessa forma, os pesquisadores concluíram que é possível avaliar os locais que serão mais problemáticos (devido aos esforços hidrodinâmicos) na estrutura do vertedouro em degraus e conhecer previamente os valores de pressão em uma bacia de dissipação a jusante de vertedouros. Essas informações podem ser utilizadas em projetos futuros de vertedouros em degraus, possibilitando um dimensionamento mais seguro e com menor custo, além de passarem a fazer parte de banco de dados de informações sobre estruturas de vertedouro em degraus.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Dona Francisca Energética S/A  
Título: Análise das Características Macroturbulentas ao Longo de um Vertedouro em Degraus e no Ressalto Hidráulico formado a Jusante  
Ciclo: 2006/2007  
Investimento: R\$ 300.460,00 mil

# Análise das características macroturbulentas ao longo de um Vertedouro em degraus e no ressalto hidráulico formado a jusante

Marcelo. G. Marques<sup>1</sup>; Alexandre A. Mees<sup>1</sup>; João B. P. Silveira<sup>2</sup>

**Resumo** – A função básica de um vertedouro em degraus é reduzir a energia cinética a jusante de vertedouros, diminuindo a velocidade do impacto do jato, os efeitos de cavitação a erosão e a fadiga no leito do rio ou nas estruturas. Para um engenheiro estrutural é interessante conhecer quais as solicitações sobre tal obra para um dimensionamento seguro e econômico. Este artigo relata a pesquisa que teve como objetivo principal desenvolver processos de análise dos parâmetros hidráulicos preponderantes em escoamentos sobre vertedouros em degraus e bacias de dissipação a jusante destes, visando estabelecimento de critérios para o dimensionamento dessas estruturas para aplicação em usinas hidrelétricas. Este trabalho faz parte do projeto de P&D “Análise das características macroturbulentas ao longo de um vertedouro em degraus e do ressalto hidráulico formado a jusante”, firmado entre Dona Francisca Energética S.A e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas, IPH/UFRGS.

**Palavras-chave** – bacia de dissipação, modelos reduzidos, vertedouro em degraus.

## I. INTRODUÇÃO

Para evitar danos às obras hidráulicas é essencial que a energia cinética gerada pelo escoamento seja dissipada em sua maior parte. Um dos métodos atualmente difundidos para dissipação de energia é o uso de vertedouro em degraus. O vertedouro em degraus tem como objetivo dissipar parte da energia cinética antes de se atingir o canal a jusante. Dessa forma, reduzem-se os esforços impactantes sobre tal estrutura. Assim pode-se diminuir a capacidade portante da bacia de dissipação, tais como comprimento, espessura e ancoragem. Isso poderá ocasionar a redução nos custos totais das obras de dissipadores de energia, como o vertedouro em degraus da UHE Dona Francisca, mostrado na figura 1.

## II. METODOLOGIA DA PESQUISA

Os dados da pesquisa foram obtidos a partir de medições em laboratório em um modelo reduzido parcial de um vertedouro em degraus e canal de jusante, implantado em um canal construído no Laboratório de Obras Hidráulicas do IPH/UFRGS. O modelo do vertedouro em degraus possui 2,45 m de altura, com um canal de 0,40 m de largura, 1,20 m de altura e 8 m de comprimento, com visualização do escoamento em um trecho de 5 m, como pode ser visto na figura 2. O vertedouro possui degraus de 6 cm x 4,5 cm (altura x largura), sendo assim uma declividade de 1:0.75 (53°).

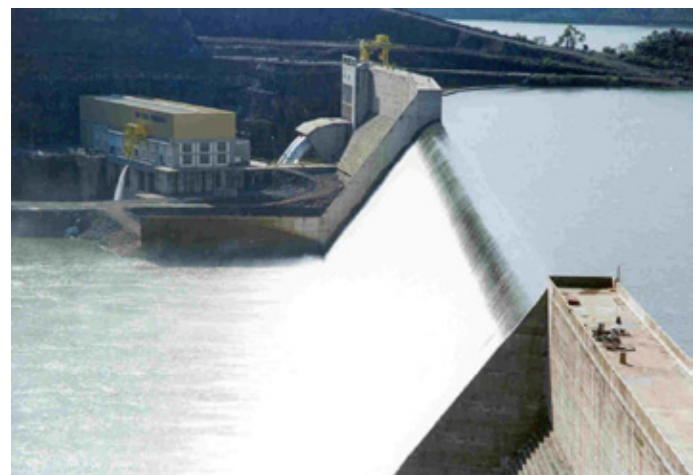


Figura 1. Vertedouro em degraus da UHE Dona Francisca.

O objetivo do P&D compreende a avaliação das características físicas do escoamento em um vertedouro em degraus e do escoamento a jusante (ressalto hidráulico). Tais informações deverão ser usadas para subsidiar com informações a técnica de construção de um vertedouro em degraus.



Figura 2. Vista geral do modelo do vertedouro em degraus e bacia de dissipação.

P&D: ‘Análise das características macroturbulentas ao longo de um vertedouro em degraus e no ressalto hidráulico formado a jusante’, DFESA, IPH/UFRGS, Ciclo 2007 Código Aneel 0667-001/2007, Investimento de R\$ 300.460,00

1 INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS / UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (e-mails: mmarques@iph.ufrgs.br; alexandremees@gmail.com).

2 DONA FRANCISCA ENERGÉTICA S.A. (e-mail: joao.silveira@dfesa.com.br)

As medições no trecho plano do canal de jusante, ou seja, a bacia de dissipação, mostrada na figura 3, consistiram de medição de pressão instantânea com transdutores de pressão piezométricos, medição de pressão média com piezômetros e análise visual do escoamento para determinação de suas características físicas (comprimento e níveis do ressalto hidráulico). Foram realizadas as mesmas medições na calha do vertedouro, mostrado na figura 4, nas quinas dos degraus. Foram medidas pressões nos 20 primeiros degraus, tanto na face vertical quanto na face horizontal dos degraus.

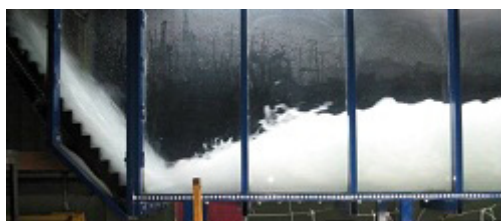


Figura 3. Escoamento sobre os degraus e ressalto formado na bacia de dissipação a jusante: vista lateral do modelo.



Figura 4. Escoamento sobre os degraus: vista frontal do modelo.

### III. ANÁLISES EFETUADAS

Foram analisadas as posições características de ocorrência do início da aeração sobre o vertedouro em degraus em função da vazão, mostrado

esquemáticamente na figura 5, e do término o ressalto hidráulico sobre a bacia de dissipação. Tais posições são de interesse do projetista, pois determinam os locais onde ocorrem, respectivamente, as maiores flutuações de pressão sobre os degraus e terminam as flutuações de pressão importantes sobre a bacia de dissipação. A figura 5 mostra as dimensões relevantes no degrau. O comportamento hidráulico de um vertedouro em degraus pode ser visto na figura 6.

A figura 7 mostra o comportamento adimensional do ponto de início da aeração em um vertedouro em degraus (adimensional LA). São indicados dois valores de posição: posição inicial da aeração (aeração intermitente, A2) e posição final da aeração (aeração fixa A1). A partir destes resultados é possível determinar a posição em que as condições de pressão são mais críticas em um vertedouro em degraus.

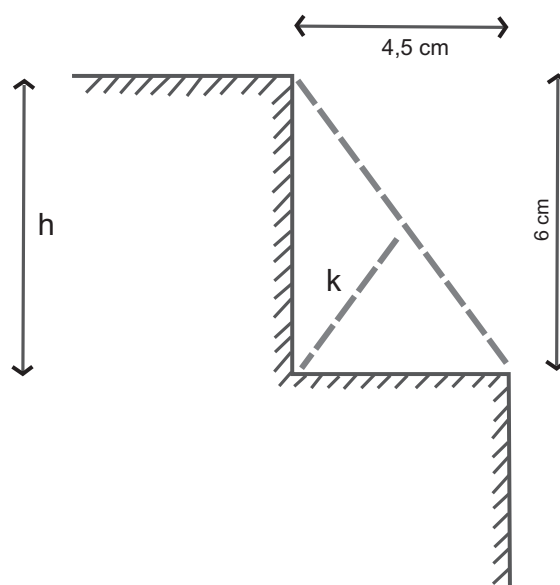


Figura 5. Tamanho do degrau e dimensão k

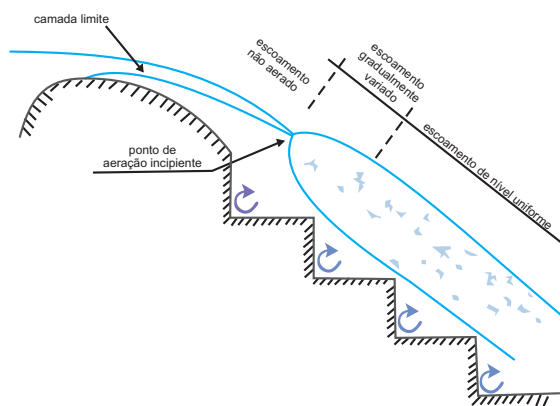


Figura 6. Posição de início da aeração e características do escoamento.

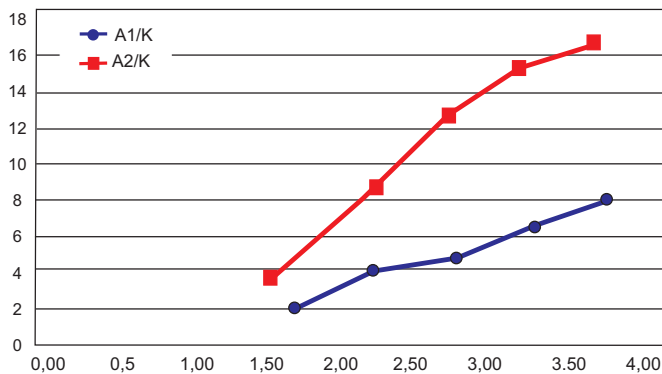


Figura 7. Posição adimensional de início da aeração, em função de  $y_c$  = altura crítica do escoamento

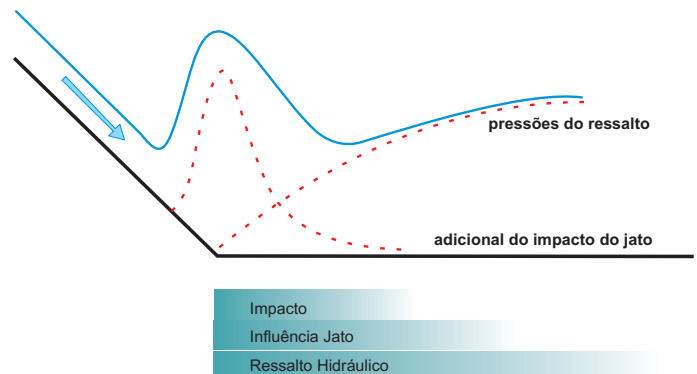


Figura 10. Esquema simplificado da distribuição de pressões na bacia de dissipação.

A figura 8 mostra as características de um ressalto hidráulico e suas variáveis relevantes na análise. Na figura 9 é mostrado o comprimento adimensional do ressalto hidráulico, informação que pode ser utilizada para determinação do comprimento de uma bacia de dissipação a jusante de vertedouro em degraus.

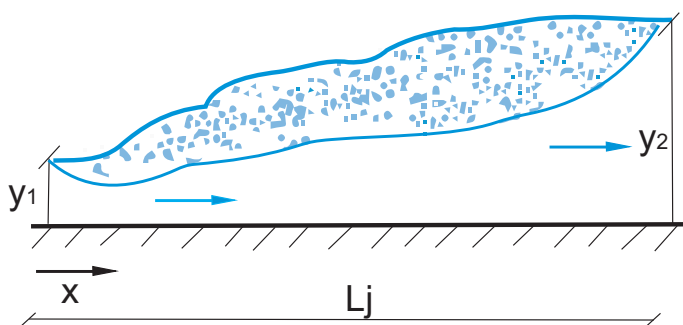


Figura 8. Ressalto hidráulico e características do escoamento.

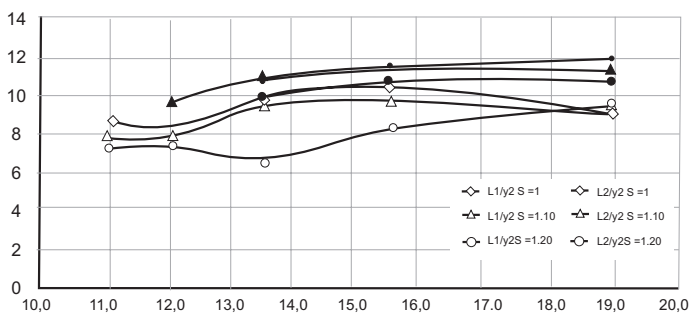


Figura 9. Comprimento do ressalto hidráulico em relação ao número de Froude.

Neste projeto de P&D também foram avaliadas as pressões que agem sobre a bacia de dissipação, mostradas esquematicamente na figura 10.

As adimensionalizações utilizadas na avaliação das pressões médias, assim como os ajustes para pré-determinação e utilização no dimensionamento de estruturas, podem ser vistos em [2], [3], [4] e [5].

#### IV. CONCLUSÕES

A partir das medições realizadas é possível avaliar os locais que serão mais problemáticos (devido aos esforços hidrodinâmicos) na estrutura do vertedouro em degraus (para as condições propostas). Além disso, é possível conhecer previamente os valores de pressão em uma bacia de dissipação a jusante de vertedouros em degraus com estas características, fornecendo ao engenheiro estrutural subsídios para um dimensionamento mais seguro e/ou econômico. Tais informações serão utilizadas em projetos futuros do investidor e fazem parte de banco de dados de informações sobre estruturas de vertedouro em degraus.

#### V. AGRADECIMENTOS

Aos colegas do Laboratório de Obras Hidráulicas/IPH/UFRGS pelo apoio e ao CNPQ e CAPES pelo auxílio financeiro na pesquisa.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Chanson, "The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways", Ed. Balkema, Lisse, Holanda, 2001, p.500.
- [2] M. G. Marques, A.A.A. Mees, "Análise das características macroturbulentas ao longo de um vertedouro em degraus e no ressalto hidráulico formado a jusante - Relatório de Projeto de P&D", Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS Jan. 2010.
- [3] A.A.A. Mees, "Análise das pressões em uma bacia de dissipação a jusante de um vertedouro em degraus", Tese de Doutorado (a ser publicada), Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 2012.
- [4] D. G. Sanagiotto, "Características do escoamento sobre vertedouros em degraus de declividade 1V:0,75V", Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 2003.
- [5] M. Daí Prá, "Características do escoamento sobre vertedouros em degraus de declividade 1V:1 V", Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 2004.

# AES Eletropaulo

---

## Sistema auxilia planejamento ótimo de uso múltiplo de rios usados na geração hidrelétrica

Em um rio como o Tietê, que corta o estado de São Paulo de leste a oeste, o gerenciamento do uso múltiplo da água assume grande importância. Isso motivou pesquisadores da AES e da USP a desenvolver estudo para elaborar um Sistema de Suporte de Decisão (SSD) para gestão e planejamento da empresa. Para alimentar o modelo, foram levantados os dados demográficos e as diversas demandas de utilização do rio, como abastecimento urbano, industrial, mineração, recreação, irrigação e eclusagem, além de informações hidrológicas. A ferramenta desenvolvida tem importante aplicação porque ao longo do Tietê existem seis grandes hidrelétricas em cascata: Barra Bonita (140,16 MW), Bariri (136,80 MW), Ibitinga (131,49 MW), Promissão (264,00 MW), Nova Avanhandava (347,40 MW) e Três Irmãos (807,50 MW). A utilização da água para geração de energia entra em conflito com outros usos, tais como transporte aquaviário, abastecimento urbano e industrial, irrigação, turismo e recreação, pesca e manutenção da vazão ecológica. O modelo proposto tem uma interface amigável, que facilita o acesso a banco de dados de resultados (séries temporais de 12 variáveis, em três cenários diferentes para cada uma das cinco hidrelétricas). Em fase de teste na empresa, o SSD tem auxiliado o gerenciamento dos reservatórios e norteado investimentos em pesquisa. O sistema identifica determinados períodos de condições de vazão suficientes para o aumento da geração hidrelétrica. Nas simulações feitas para o período seco, constatou-se, em todos os cenários, que a eclusagem compete com a geração de energia, mas os demais usos são atendidos plenamente. Os pesquisadores concluíram que o SSD é uma potente ferramenta no gerenciamento de uma cascata energética e o método apresentado pode ser reproduzido a outros casos.

---

### **Ficha técnica**

Ficha técnica

Empresa: AES Eletropaulo

Título: Sistema de Suporte a Decisão para Usinas Hidrelétricas da AES Eletropaulo no Rio Tietê

Ciclo: 2005/2006

Investimento: R\$ 198.740,00

Execução: Fundação para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial (FIPAI) e Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP)AES Eletropaulo





# Sistema de Suporte a Decisão para UHE da AES Eletropaulo no Rio Tietê

Odemberg Veronez 1, Marcus V. Estigoni 2 e Frederico F. Mauad 2

**Resumo** – A análise de desempenho de sistemas de Recursos Hídricos é fundamental para sua gestão, porém, esse é um processo complexo, sendo as interfaces amigáveis de um Sistema de Suporte a Decisão (SSD) uma alternativa para analisar tais problemas. Foi desenvolvido um SSD para a cascata energética do Rio Tietê, gerando cenários de atendimento dos usos múltiplos, subsidiando, assim, a gestão e operação dos reservatórios.

**Palavras-chave** – Cascata Energética, Sistema de Suporte a Decisão, Usos Múltiplos

## I. INTRODUÇÃO

O Rio Tietê nasce nos contrafortes da Serra do Mar e percorre o estado de São Paulo de Leste a Oeste, atravessa a Região Metropolitana de São Paulo e percorre aproximadamente 1.100 km até sua foz no Rio Paraná e é o rio mais importante do estado.

Existem seis grandes UHE em cascata ao longo do Tietê, como mostra a figura 1. De montante para jusante temos: Barra Bonita (140,16 MW); Bariri (136,80 MW); Ibitinga (131,49 MW); Promissão (264,00 MW); Nova Avanhandava (347,40 MW); e Três Irmãos (807,50 MW). Dessas, somente Três Irmãos não pertence a AES Tietê.

Outros usos da água possuem destaque, como transporte aquaviário propiciado por eclusas, o abastecimento urbano e industrial, a irrigação, o turismo e a recreação, a pesca e a manutenção da vazão ecológica, com competição entre os mesmos.

Dessa forma, pela elaboração de um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) foram identificados potenciais conflitos pelo uso d'água que podem vir a prejudicar a geração elétrica.

O SSD se mostra como uma potente ferramenta para a gestão e para o planejamento da AES Tietê. Mesmo em fase de testes dentro da empresa, o SSD tem embasado diretrizes de investimentos em pesquisa e a operação dos reservatórios.

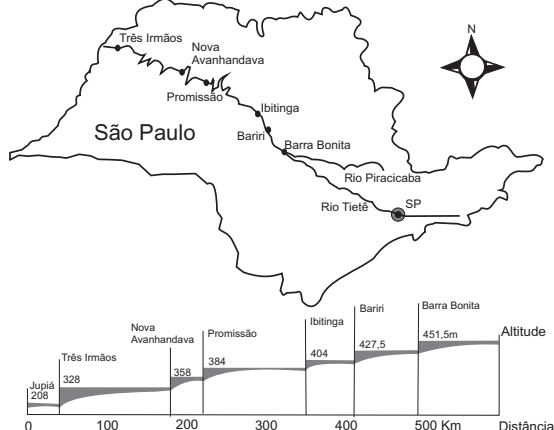


Figura 1 – Disposição das UHEs no rio Tietê

## II. SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO

Um SSD pode ser definido como um sistema interativo e flexível de informações baseado em computadores, desenvolvido para auxiliar a solução de problemas não estruturados e, assim, aperfeiçoar a tomada de decisão pelo usuário [1].

## III. LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DE DADOS

Os dados demográficos foram baseados naqueles coletados junto ao SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados) e projeções, pela curva logística.

Foram determinadas as áreas das bacias de drenagem dos reservatórios, figura 2.



Figura 2 - Bacia de drenagem das UHEs

As demandas pelos usos múltiplos (abastecimento urbano, industrial, mineração, recreação, irrigação e eclusagem) foram baseados nas outorgas do Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo (DAEE).

Os dados Hidrológicos foram levantados junto à ANA e ao DAEE.

Os cenários foram determinados pela análise das séries em vazões de cinco anos consecutivos que melhor representassem os períodos seco, normal e chuvoso, dos quais: de 2000 a 2004 Normal; de 1952 a 1956 Seco; e de 1995 a 1999 Chuvoso.

Outros dados utilizados pelo modelo correspondem às regras operacionais dos reservatórios e às curvas cota-área-volume dos mesmos, coletados em pesquisa prévia.

Sistema de Suporte a Decisão para as UHEs da AES no Rio Tietê; Código ANEEL 0064-008-2006; Proponente: AES Tietê; Exacutora: FIPAI – Fundação para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial, EESC – USP, Escola de Encheneria de São Carlos – Universidade de São Paulo; Investimento R\$ 198.740,00.

1 AES Tietê (e-mail: odemberg.veronez@aes.com).

2 FIPAI – EESC – USP (e-mails: mv.estigoni@gmail.com; mauadffm@sc.usp.br).

#### IV. MODELO DE PLANEJAMENTO

Foi escolhido o modelo MIKE BASIN 2009, da DHI Water and Environment®, devido a sua integração do modelo com a tecnologia OpenMI e com o SIG ArcGIS 9.3 da ESRI®. Baseado em um paradigma de rede de fluxo, exemplificado na figura 3, o modelo fornece a variação temporal do comportamento do sistema em cada ponto da rede.

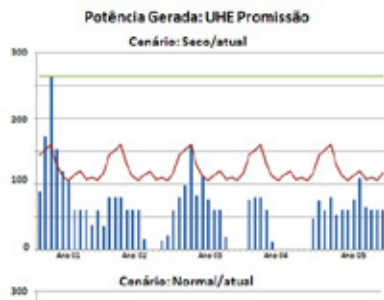


Figura 3 – Exemplo de Rede de Fluxo utilizada: UHE Barra Bonita

#### V. DESEMPENHO DO SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS

Os diferentes cenários foram analisados utilizando-se critérios de confiabilidade, vulnerabilidade e resiliência.

O desempenho do sistema é determinado a partir de suas variáveis,  $X_t$ , sendo definido um limite para a variável,  $X_0$ , enquadrando como satisfatórios (S) e falhas (F), definidos em (1) e (2).

$$S = \{ X_t | X_t \geq X_0 \} \quad (1)$$

$$F = \{ X_t | X_t < X_0 \} \quad (1)$$

Confiabilidade é a probabilidade de não ocorrer uma falha no sistema, definida em (3).

$$\alpha = \Pr \{ X_t \in S \} = \Pr \{ X_t \geq X_0 \} \quad (3)$$

A resiliência descreve quão rapidamente o sistema se recupera de falhas. A referência [2] apresenta a definição (4).

$$R1 = \Pr \{ X_{t+1} \in S | X_t \in F \} \\ = \Pr \{ X_{t+1} \geq X_t < X_0 \} \quad (4)$$

Onde R1 é a resiliência [%].

A referência [3] descreve resiliência como sendo a duração máxima da permanência no estado de falha, definida em (5).

$$R2 = 1 - \frac{L_{max}}{N} \quad (5)$$

$L_{max}$ : permanência máxima no estado de falha

N: número de eventos de falha

Vulnerabilidade é a medida da magnitude da falha do sistema.

$$Vul = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M s_j \quad (6)$$

Onde:

$s_j$  = déficit da variável de estado no período de falha.

M = número de períodos com falha.

#### VI. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

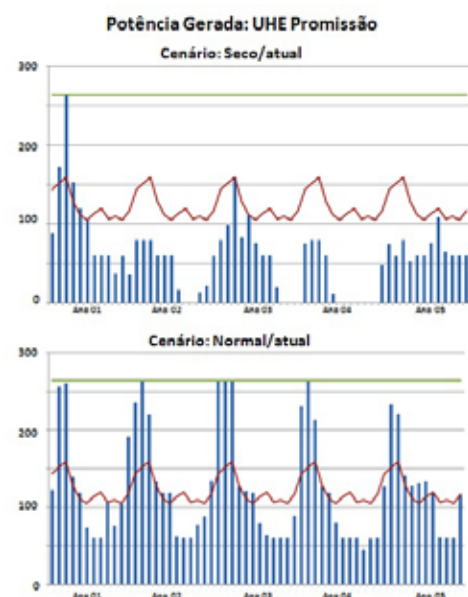
Foi criada uma interface amigável para o SSD para facilitar o acesso ao banco de dados de resultados (séries temporais de 12 variáveis, em 3 cenários diferentes para cada uma das 5 UHE's).

A Tabela I mostra a análise de desempenho do sistema no pior cenário para os atendimentos mais críticos. Os demais usos apresentam atendimento de 100%.

Tabela I – Desempenho do sistema. Cenário: seco/longo prazo. [%]

	B.Bon.	Bar.	Ibitin.	Prom.	N. Ava.
<b>Eclusagem</b>					
Satisf.	44,50	12,65	7,19	43,11	14,14
Conf	1,67	6,67	3,33	8,33	11,67
Vulner.	56,44	93,59	96,06	62,16	97,41
Resili.	3,39	5,36	3,51	5,56	3,85
<b>Geração Energética</b>					
Satisf.	20,67	32,85	34,81	22,48	33,03
Conf	1,67	1,67	0,00	1,67	0,00
Vulner.	80,68	68,29	65,19	78,83	66,97
Resili.	3,39	3,39	1,67	3,39	1,67
<b>Nível d'água (Navegação)</b>					
Satisf.	99,74	100	100	99,65	100
Conf	30,00	100	100	10,00	100
Vulner.	0,37	0	0	0,39	0
Resili.	23,81	100	100	5,56	100

A figura 4 ilustra os resultados de geração energética da UHE Promissão para diferentes cenários.



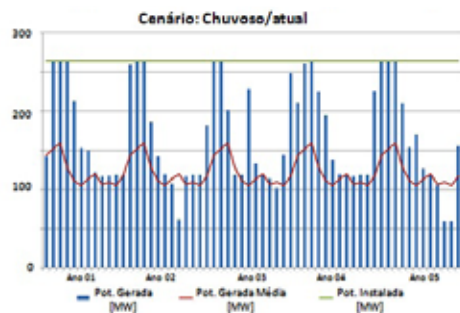


Figura 41 - Potência gerada na UHE Promissão

Gráficos semelhantes podem ser gerados para os demais usos. A íntegra dos resultados se encontra na referência [4].

## VII. CONCLUSÕES

O SSD, mesmo em teste na empresa, tem auxiliado o gerenciamento dos reservatórios e norteado investimentos em pesquisa.

Destacam-se, nos resultados determinados períodos, condições de vazão suficientes para o aumento da geração hidrelétrica.

Também é apresentada competição da geração energética e a navegação (nível d'água) nos períodos secos e todos os cenários apontam a competição entre eclusagem e geração.

Os demais usos são atendidos em 100% do período de simulação.

O SSD mostra-se como potente ferramenta no gerenciamento de uma cascata energética e o método apresentado pode ser reproduzido em outros casos, o que deve encorajar sua aplicação.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Turban, Decision support and expert systems: management support systems. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1995
- [2] T. Hashimoto; J. R. Stedinger; D. P. Loucks, "Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation", Water Resources Research, v. 18, n. 1, p. 14-20, 1982
- [3] W. S. Moy; J. L. Cohon; C. S. Re Velle, "A Programming Model for Analysis of the Reliability, Resilience, and Vulnerability of a Water Supply Reservoir" Water Resources Research, v. 22, n. 4, p. 489-498, 1986
- [4] F. F. Mauad; L. L. Albertin; O. Veronez, "Sistema de Suporte a Decisão para as UHEs da AES no Rio Tietê", Convênio FIPAI/AES Tietê/ANEEL, São Carlos, SP, Relatório Técnico, 2009.

# CHESF

---

## Pesquisa revela benefícios socioeconômicos a municípios afetados por hidrelétricas

Pesquisa desenvolvida pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf), em parceria com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a MGF Consultoria, constatou que há benefícios socioeconômicos para os municípios diretamente afetados por áreas alagadas dos reservatórios das usinas hidrelétricas. Foram pesquisados municípios nas cinco regiões brasileiras, onde estão os reservatórios de Xingó (NE), Tucuruí (N), Serra da Mesa (CO), Nova Ponte (SE) e Itá (S). Para determinar os benefícios, foi criado um indicador específico, denominado Índice de Desenvolvimento Local Sustentável (IDLS), constituído por quatro dimensões: qualidade de vida, educação, qualidade da gestão municipal e dinamismo econômico. Para avaliar o impacto de reservatórios de hidrelétricas foram analisados 17 municípios. Em cada região brasileira foram comparados dois municípios: um diretamente afetado pelo reservatório e outro, na mesma região, com características semelhantes, mas sem área alagada. Também foram estudados os municípios onde está localizada a gerência local da usina, denominados municípios-base. Foram coletadas informações sobre as quatro dimensões do desenvolvimento que compõem o IDLS, averiguando-se a associação entre sua presença e níveis mais elevados de desenvolvimento local. A pesquisa concluiu que os municípios com áreas alagadas por reservatórios, em geral, têm benefícios socioeconômicos diferenciados dos demais municípios da região, conforme resultados em três das cinco usinas estudadas: Xingó, Tucuruí e Itá. Em duas usinas (Serra da Mesa e Nova Ponte), os municípios diretamente afetados não mostraram benefícios socioeconômicos superiores aos demais municípios da região por questões relacionadas à qualidade da administração local, comprovando apenas parcialmente a hipótese de trabalho. O trabalho também demonstrou que há uma concentração dos benefícios socioeconômicos nos municípios-base. Com a pesquisa, espera-se contribuir para melhorar a receptividade das populações locais aos empreendimentos hidrelétricos.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF)

Título: Avaliação dos Efeitos de Usinas Hidrelétricas sobre o Desenvolvimento Socioeconômico dos Municípios Diretamente Afetados

Ciclo: 2005/2006

Investimento: R\$ 650.584,77

Execução: Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)



# Avaliação dos Efeitos de Usinas Hidrelétricas sobre o Desenvolvimento Socioeconômico dos Municípios Diretamente Afetados

Fátima Furtado<sup>1</sup>, Ricardo C. Furtado<sup>2</sup>, Sérgio Buarque<sup>3</sup> e João Luiz Mascarenhas<sup>4</sup>

**Resumo** – O artigo apresenta uma síntese da pesquisa Avaliação dos Efeitos de usinas Hidrelétricas sobre o Desenvolvimento Socioeconômico dos Municípios Diretamente Afetados. Foram comparados municípios que tiveram áreas alagadas pelos reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHE) com municípios da mesma região e não alagados, pelo Índice de Desenvolvimento Local Sustentável (IDLS). A pesquisa abrangeu UHE nas cinco regiões brasileiras: Xingó (NE); Tucuruí (N); Serra da Mesa (CO); Nova Ponte (SE); e Itá (S). Os resultados mostraram que há benefícios socioeconômicos para os municípios diretamente atingidos pelos reservatórios das usinas, o que poderá contribuir para mudar a atitude das populações locais em relação às UHE.

**Palavras-chave** – Desenvolvimento local sustentável, Dinamismo econômico, Educação, Qualidade de vida, Impactos de Usinas hidrelétricas.

## I. INTRODUÇÃO

O objetivo geral da pesquisa foi contribuir para a discussão dos impactos das UHE sobre o desenvolvimento local nas regiões onde são implantadas, permitindo, assim, uma melhor escolha pela sociedade das alternativas de geração de energia elétrica no país [1]. O trabalho parte do princípio de que as UHE trazem, sim, contribuições significativas para o desenvolvimento local dos municípios da região onde são implantadas, em todo país.

Essas contribuições foram demonstradas por meio dos níveis superiores de desenvolvimento local sustentável dos municípios diretamente afetados, medidos pelo Índice de Desenvolvimento Local Sustentável (IDLS) construído com esse objetivo e mais adequado do que os índices existentes. O IDLS é constituído por quatro dimensões: qualidade de vida, educação, qualidade da gestão municipal e dinamismo econômico. O artigo sintetiza as análises referentes ao Índice de Desenvolvimento Local Sustentável (IDLS) de municípios na área de influência direta e indireta em cinco UHE: Xingó (AL, SE), Tucuruí (PA), Itá (SC, RS), Serra da Mesa (GO), e Nova Ponte (MG). Foram comparados dois municípios em cada UHE: um representativo daqueles alagados pelo reservatório (G1) e outro, na mesma região, e que apresentava similaridades significativas com o representativo de G1 antes da implantação do empreendimento, mas que não teve área alagada (G2). Também foram estudados os municípios onde está localizada a gerência local da UHE (municípios base - B1). No total foram estudados 17 municípios.

Os resultados dessa pesquisa demonstraram que as UHE trazem benefícios socioeconômicos para os municípios em suas áreas de influência, permitindo aperfeiçoar a percepção da sociedade sobre esses empreendimentos.

## DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Aspectos Metodológicos

Formulou-se a seguinte hipótese: Os níveis de desenvolvimento local dos municípios diretamente influenciados por UHE são superiores aos níveis dos municípios indiretamente influenciados, no seu raio de abrangência, em todas as regiões do país.

Foram coletadas informações sobre as quatro dimensões do desenvolvimento que compõem o IDLS e os dois grupos de municípios foram comparados em cada UHE, averiguando-se a associação entre sua presença e níveis mais elevados de desenvolvimento local. Todos os municípios selecionados foram fundados após o início da construção da UHE, tinham o mesmo Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) antes do início da construção da UHE, e não sofreram influências significativas de outras fontes sobre o seu desenvolvimento local.

### B. Seleção e Caracterização Geral dos Empreendimentos

Para verificação da hipótese, além de se trabalhar nas cinco regiões do país, definiu-se o recorte temporal entre 1980 e 2000, sob a atual legislação ambiental. Consideraram-se, ainda, diversos tempos de operação efetiva e diferentes capacidades e geração das UHE. Do ponto de vista social, o critério foi a não inclusão de empreendimentos que se destacaram por terem gerado problemas sociais acirrados, ou ações assistenciais de custos ou duração atípicos. A escolha desses casos implicaria no enviesamento dos resultados, pois deveriam ser buscadas situações típicas do conjunto representado.

## III. RESULTADOS DA PESQUISA

O Índice de Desenvolvimento Local Sustentável (IDLS) é formado por quatro dimensões: qualidade de vida; educação; qualidade da gestão; e dinamismo econômico. Essas dimensões são compostas por temas, estes por aspectos, e os aspectos por indicadores [2], [3], [4].

O IDLS mostrou ser mais representativo e robusto do que o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, para medir o desenvolvimento lo-

Informações sobre o Projeto de P&D: Título: Avaliação dos Efeitos de Usinas Hidrelétricas sobre o Desenvolvimento Socioeconômico dos Municípios Diretamente Afetados; Código: 0048-005/2006; Suporte financeiro: CHESF; Entidades Executoras: FADE/UFPE; Aprovado no Ciclo 2005/2006 e executado no ciclo 2008/2010; Investimento aprovado para execução do projeto: R\$ 650.584,77.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (e-mail: fgfurla-do@hotmail.com).

<sup>2</sup> MGF Consultoria (e-mail: ricardofurtado@gmail.com).

<sup>3</sup> Consultor (e-mail: sbuarque@truenet.com.br).

<sup>4</sup> Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (e-mail: jlu-iz@chesf.gov.br). II.

cal sustentável, pois abrange mais dimensões (inclui dinamismo econômico) e tem aspectos e indicadores de educação, saúde e renda mais amplos. É formado por 73 indicadores, sendo 25 (34%) normalizados com base em uma referência local, adotando-se o valor 1 (um), da escala de 0 (zero) a 1 (um), para o maior valor entre os municípios estudados em cada usina.

#### IV. CONCLUSÕES

A primeira conclusão relevante da pesquisa é a contribuição das UHE para o desenvolvimento local sustentável dos municípios base em todas as regiões do país. A exceção é Minaçu, base da UHE Serra da Mesa, em Goiás que, embora tenha uma dimensão dinamismo econômico bem superior à do município do G2, não conseguiu reverter esse ganho em desenvolvimento, particularmente em razão de uma péssima qualidade da gestão municipal.

A pesquisa concluiu que os municípios com áreas alagadas por reservatórios de UHE, em geral, têm benefícios socioeconômicos diferenciados dos demais municípios da região, conforme resultados em três das cinco usinas estudadas – Xingó, Tucuruí e Itá. Em duas usinas – Serra da Mesa e Nova Ponte – contudo, os municípios diretamente afetados não mostraram benefícios socioeconômicos superiores aos demais municípios da região, comprovando apenas parcialmente a hipótese de trabalho.

A pesquisa mostrou que há uma concentração dos benefícios socioe-

conômicos nos municípios-base, acima, inclusive, daqueles encontrados nos diretamente afetados. A exceção é a UHE Serra da Mesa, onde o município base e o município representativo do G1 têm o mesmo IDLS, embora o município-base tenha um valor bem superior ao do município do G1 para a dimensão dinamismo econômico.

Esses resultados indicam que os benefícios socioeconômicos trazidos pelas UHE precisam ser mais bem distribuídos no território; os programas socioeconômicos das usinas devem focar mais nos municípios diretamente afetados, para que eles atinjam os mesmos níveis de desenvolvimento local dos municípios-base para a maximização dos benefícios locais das UHE é fundamental investir no aprimoramento das gestões municipais, na educação dos jovens e na capacitação profissional dos adultos, para que os elevados níveis de dinamismo econômico trazidos pelas usinas se traduzam em níveis mais elevados e sustentáveis de desenvolvimento local.

---

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. BUARQUE, *Construindo o Desenvolvimento Local Sustentável: Metodologia de Planejamento*, 2ª ed., Rio de Janeiro: Garamond, 2004.
- [2] P. M. JANUZZI, *Indicadores Sociais no Brasil*, Campinas: Alínea, 2006.
- [3] D. Tunstall, "Developing environmental indicators: definitions, framework and issues", in *Workshop on Global Environmental Indicators*, Washington, DC. Dec. 7-8, Washington DC.: World Resources Institute, 1992.
- [4] C. WONG, *Indicators for Urbana and Regional Planning*, London, UK: Routledge, 2006.

Projeto das

# Distribuidoras



# AES ELETROPAULO

---

## Novas funcionalidades de *software* otimizam sistema subterrâneo reticulado de distribuição

A AES ELETROPAULO e a Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) desenvolveram uma ferramenta para análise de redes reticuladas subterrâneas de distribuição de energia da empresa, com objetivo de apoiar os estudos de planejamento de expansão da malha. No sistema reticulado, as cargas são supridas por uma rede de circuitos interconectados, alimentados por transformadores ligados em paralelo e equipados com protetores para interrupção dos circuitos. Durante o projeto, nove funcionalidades foram desenvolvidas para o software SINAP T&D, que permite análises integradas de redes, com interface gráfica considerada de fácil visualização e manipulação. Dentre elas, destacam-se a criação de relatórios de operação para avaliação de contingência que considera todas as combinações possíveis de falhas de equipamento, o planejamento das obras por meio de simulação e o uso ótimo da rede pela utilização de algoritmo que busca configurações que minimizem as perdas elétricas. Na área-piloto escolhida para o desenvolvimento do projeto foram instalados chaves, painéis de controle e identificadores de defeitos em quatro circuitos, analisados com o software SINAP T&D. O trabalho permitiu a otimização da topologia da rede e o estabelecimento de critérios para o planejamento e a operação do sistema subterrâneo. O uso contínuo da ferramenta poderá proporcionar maior flexibilidade e confiabilidade em operações para restabelecimento de cargas, apoiando a análise da rede em condições normais ou em casos de defeitos.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: AES Eletropaulo

Título: Otimização do Sistema de Distribuição Subterrâneo Reticulado

Ciclo: 2005/2006

Investimento: R\$ 1.223.377,00

Execução: Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FTDE)





# Otimização do Sistema de Distribuição Subterrâneo Reticulado

Marcelo Ap. Pelegrini<sup>1</sup>, Carlos M. V. Tahan<sup>2</sup>, João C. Guaraldo<sup>1</sup>, Henrique Kagan e Benedito V. Mello<sup>3</sup>

**Resumo** – O trabalho descreve o desenvolvimento de metodologias e sua implementação computacional para a análise e simulação da rede primária do sistema subterrâneo reticulado da AES Eletropaulo, visando apoiar os estudos de planejamento da expansão e apoio à operação da rede. Neste artigo são apresentadas as metodologias desenvolvidas e os resultados da implementação.

**Palavras-chave** – Operação da distribuição, planejamento da distribuição, rede reticulada, sistema de distribuição subterrâneo.

## I. INTRODUÇÃO

O sistema subterrâneo reticulado da AES Eletropaulo é normalmente instalado com redes secundárias em malha, com subdivisões em mini-reticulados de baixa tensão, com até quatro transformadores (Figura 1).

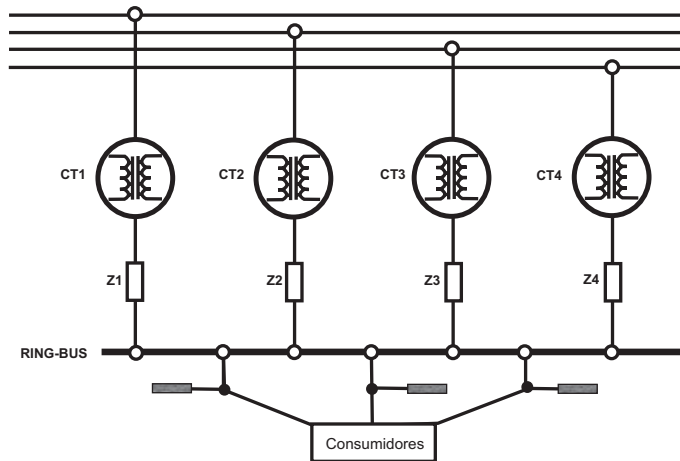


Figura 1. Mini-reticulado

Estas redundâncias permitem manter o suprimento nos alimentadores primários durante contingências, o que resulta em um sistema muito confiável. Por outro lado, sua grande extensão e complexidade dificultam a análise técnica da rede para planejamento e operação.

A proposta deste estudo foi desenvolver ferramentas para o software SINAP T&D para análise específica de redes reticuladas, tanto em condições normais quanto em contingência. Este estudo permite otimizar a topologia da rede, minimizando custos e aprimorando a confiabilidade do fornecimento.

## II. SINAP T&D

O SINAP T&D realiza análises integradas de redes, sem restrições quanto à topologia e ao número de patamares das curvas de carga.

A interface gráfica, de fácil visualização e manipulação, permite a representação geo-referenciada ou esquemática da rede. Equipamentos podem ser editados diretamente no módulo gráfico, com possibilidade de criar redes do zero. Há recursos de exibição de múltiplas redes, “zoom” e “pan”.

O programa trabalha com bases de dados de equipamentos em MS Access, com parâmetros definidos pelo usuário. A partir da configuração da rede, calcula-se o fluxo de potência, curto-circuito e gráficos fasoriais. É possível o uso de equivalentes de redes para estudar individualmente os subsistemas, sem prejuízo nos cálculos (Figuras 2 e 3)

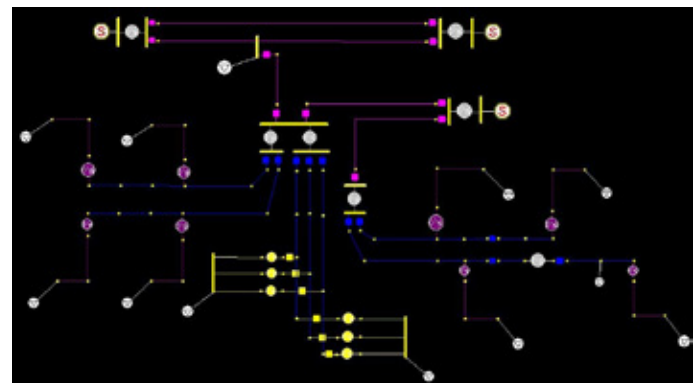


Figura 2. Rede carregada completa

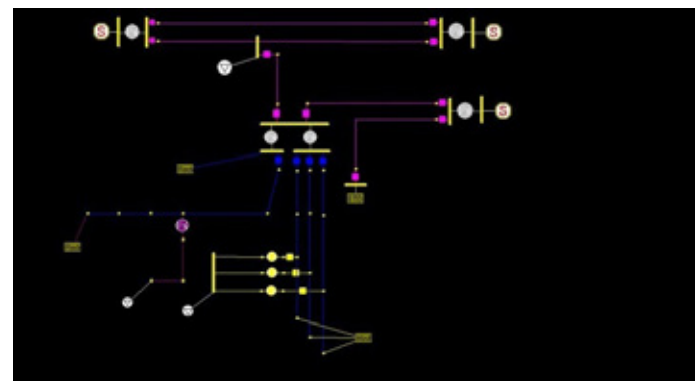


Figura 3. Rede com equivalentes

### A. Diagnóstico da rede

Este recurso permite analisar o carregamento em qualquer ponto do circuito, para qualquer patamar diário de carga. Segundo limites técnicos da rede definidos pelo usuário, os locais com critérios transgredidos são identificados visualmente pela cor vermelha (Figura 4).

SINAPSIS Inovação em Energia<sup>1</sup> (e-mails: marcelo.pelegrini@sinapsisenergia.com; joao.guaraldo@sinapsisenergia.com; henrique.kagan@sinapsisenergia.com).

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo<sup>2</sup> (e-mail: cmvtahan@pea.usp.br)

<sup>3</sup> AES Eletropaulo<sup>3</sup> (e-mail: benedito.mello@aes.com).

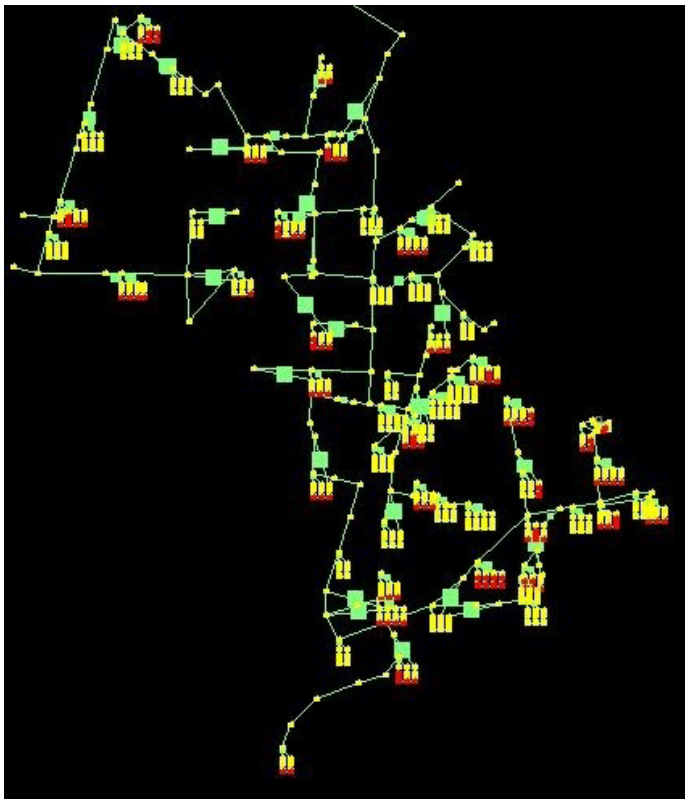


Figura 4. Diagnóstico da rede em período crítico (14h)

### B. Curto-circuito

Este módulo calcula tensões e correntes resultantes de diversos tipos de defeitos na rede (Figura 5). Permite um bom dimensionamento dos sistemas de proteção.

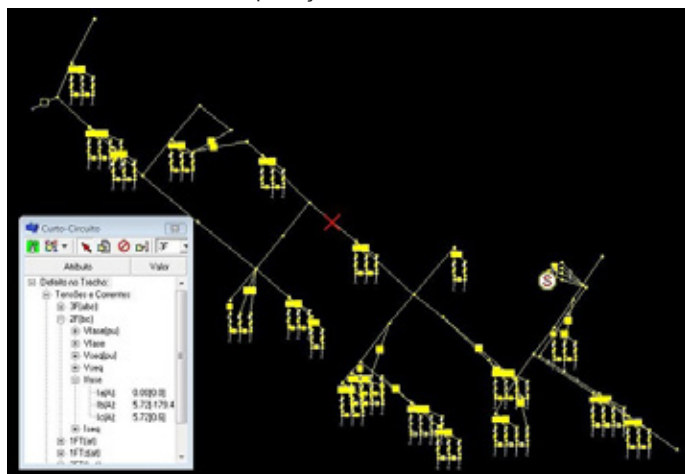


Figura 5. Simulação de curto circuito

### III. FUNCIONALIDADES DESENVOLVIDAS

Foram desenvolvidas as seguintes funcionalidades específicas para o projeto:

- Importador de medições: após aprovadas pelo usuário, as leituras das CTs são armazenadas para utilização em outros módulos.
- Ajuste de demanda: ajusta leituras de forma a coincidir com o fluxo de potência na saída da subestação, usando algoritmos de estimação de

estado. Pondera os dados, priorizando leituras mais confiáveis, e atualiza estimativas.

- Projeção de mercado: com o cadastro das taxas de crescimento anual esperadas por carga ou conjunto de cargas, estima o crescimento do mercado, permitindo modelização da rede em anos futuros.

- Análise de confiabilidade: a partir de certos parâmetros de confiabilidade, calcula indicadores de continuidade referentes à duração, frequência e energia não distribuída. Fundamental para atender às exigências regulatórias.

- Análise de contingências: realiza diagnósticos da rede e equipamentos sob contingências definidas pelo usuário (Figuras 6 e 7), antecipando contingências reais para aprimorar a reação diante de emergências.



Figura 6. Diagnóstico geral

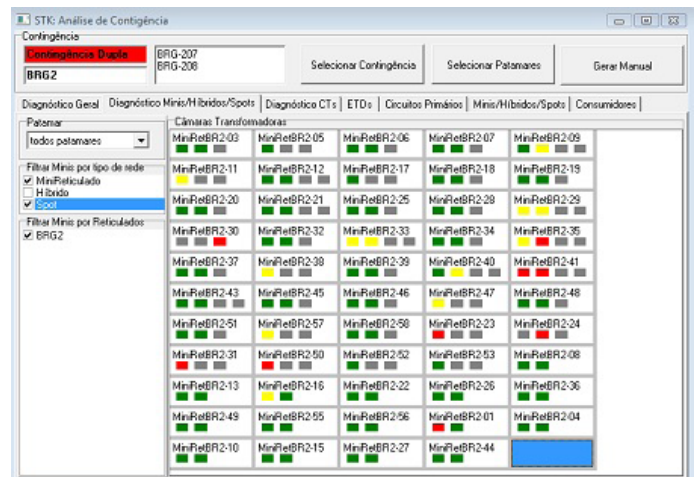


Figura 7. Diagnóstico Minis/Híbridos/Spots

- Criação de relatórios de operação: executa o módulo “analisar contingência” considerando todas as combinações de falhas possíveis de equipamentos.

- Execução de manobras: permite a execução de manobras específicas para ações de isolamento ou religamento, identificando chaves a serem manobradas.

- Planejamento de obras: simula a realização de obras de expansão, substituição ou retirada de equipamentos definidas pelo usuário com o custo e ano de implantação.

- Otimização da rede: utiliza algoritmo genético para buscar configurações que minimizem as perdas, prevendo manobras de chaves solidárias e mantendo a radialidade do sistema.

#### IV. ESTUDO PILOTO

O projeto previa a instalação piloto de chaves de transferência automática de carga entre reticulados, para otimização da rede. Após estudos comparativos, o reticulado Centro V foi escolhido como área-piloto para análise dos benefícios técnicos da instalação das chaves de transferência automática (Figura 14). Chaves, painéis de controle e identificadores de defeito foram instalados em quatro circuitos (Figura 8), que foram então analisados com o SINAP T&D (Figura 9).



Figura 8. Chaves de transferência automática

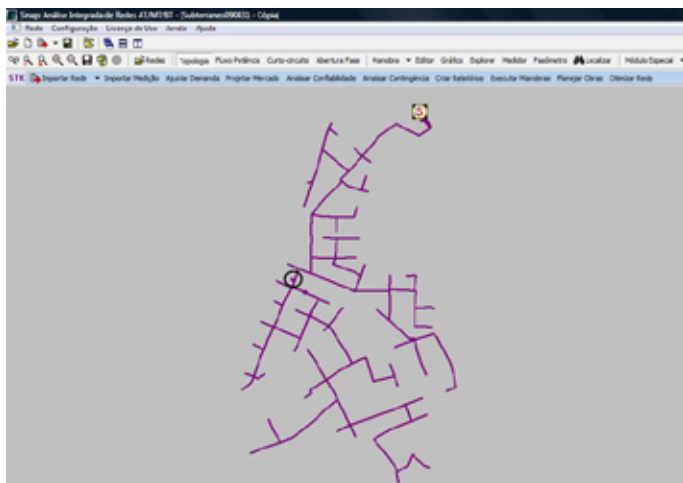


Figura 9. Área piloto para a instalação das chaves – circuito CTR5

##### A. Fluxo de potência

As simulações de fluxo de potência identificam as correntes no circuito, o que permite calibrar as chaves com a faixa esperada de operação (Tabela I).

##### B. Níveis de curto-circuito

Este cálculo foi realizado em dois pontos – logo após as chaves e no final do tronco de alimentação – de modo a obter as correntes de falta máxima e mínima na chave. A Tabela II apresenta as correntes esperadas para cinco tipos de falta: trifásica (3F), dupla-fase (2F), dupla-fase-terra (2FT), fase-terra (FT) e fase-terra com impedância (FTz).

A fim de auxiliar a configuração dos relés das chaves de proteção, foram calculadas as impedâncias equivalentes para alguns poços de inspeção requisitados.

Tabela I. Fluxo de potência

Situação	patamar	Carregamento na Chave (A)			
		CTR 217	CTR 218	CTR 219	CTR 220
Normal	01:00am	57	56	56	48
	11:00am	99	104	108	95
Contingência dupla	11:00am	0	0	205	176
		0	213	0	182
		0	194	208	0
		205	0	0	181
		190	0	200	0
		188	192	0	0
Faixa esperada		57-205	56-213	56-208	48-182

Tabela II. Curto circuito

ponto	curto-circuito (A)				
	3F	2F	2FT	FT	FTz
chave	9.881	8.558	8.633	373	174
fim	6.083	5.268	5.313	330	158
Faixa de correntes de curto - 158 a 9.881 Ampère					

##### C. Análise de contingência

Foi montado um relatório de análise do circuito em situações de contingência com base no período mais carregado do sistema, 14h. Para cada combinação de circuitos fora de operação, foram calculados os carregamentos esperados para os transformadores e minirreticulados e destacados aqueles fora dos limites operacionais (mas dentro da faixa de 110% aceitável em contingências), e também os desligamentos forçados para preservar os equipamentos.

##### V. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um trabalho de otimização da topologia da rede e estabelecimento de critérios para o planejamento e a operação do sistema subterrâneo utilizando o sistema SINAP T&D. Como indicado no caso piloto, o uso contínuo da ferramenta irá proporcionar maior flexibilidade e confiabilidade em manobras para o restabelecimento de cargas, auxiliando na análise da rede em operação normal ou em casos de defeitos com contingência entre os circuitos subterrâneos. A ferramenta foi homologada pela AES Eletropaulo e está em uso corrente na área de planejamento.

##### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ELETROBRÁS - COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. Planejamento de Sistemas de Distribuição. Rio de Janeiro, Campus, 1982. (Coleção Distribuição de Energia Elétrica, v.1)
- [2] KAGAN, N. Electrical power distribution systems planning using multiobjective and fuzzy mathematical programming. London, 1992. 215p. Thesis (Ph.D.). Queen Mary & Westfield College, University of London.
- [3] GÖNEN, T.; RAMIREZ-ROSADO, I.J. Optimal multi-stage planning of power distribution systems. IEEE Transactions on Power Delivery, v.2, n.2, p.512-9, Apr. 1987.

## CEMIG - D

---

# Análise de velocidade de vento permite identificar vãos críticos em linha aérea de transmissão

No projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da CEMIG Distribuição S/A foi desenvolvida uma metodologia para determinar a capacidade máxima de corrente elétrica (ampacidade) nas linhas de transmissão, com utilização de dados sobre a velocidade dos ventos obtidos pela análise numérica da Camada Limite da Atmosfera (CLA). Com essa metodologia, tornou-se possível identificar vãos críticos nas linhas de transmissão. Os vãos críticos são aqueles com menor intensidade de velocidade de vento (essencial para o resfriamento dos condutores durante o transporte de energia) e menor distância livre entre o condutor e o objeto aterrado mais próximo, os quais, conseqüentemente, limitam a capacidade térmica da linha. Essa identificação permite o monitoramento mais confiável das linhas aéreas e a exploração máxima mais segura desses ativos. O estudo foi realizado na linha de transmissão localizada na região de Acuruí, em Minas Gerais. A análise da camada limite da atmosfera permitiu simular a velocidade do vento, em todos os vãos da linha, o que possibilitou discriminar aqueles com distâncias livres inferiores ao padrão mínimo de segurança. No caso em estudo, foram observados dois vãos críticos em 133 vãos ao longo de 52 quilômetros (km) de extensão da linha. Diante do resultado do projeto, executado pela CEMIG-D e pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), serão planejadas outras aplicações para a Metodologia de Determinação da Ampacidade (AmpCLA).

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: CEMIG Distribuição S/A

Título: Metodologia de Determinação da Ampacidade de Linhas Aéreas de Transmissão Considerando a Influência da Camada Limite da Atmosfera

Ciclos: 2004/2005 e 2005/2006

Investimento: R\$ 650 mil

Execução: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

# Metodologia de Determinação da Ampacidade de Linhas Aéreas de Transmissão Considerando a Influência da Camada Limite da Atmosfera

Carlos Alexandre M. do Nascimento<sup>1</sup> e João A. Vasconcelos<sup>2</sup>

**Resumo** – Este artigo apresenta uma nova metodologia de determinação da ampacidade de linhas aéreas, que utiliza dados da velocidade do vento obtidos por meio da análise numérica da Camada Limite da Atmosfera (CLA) baseada na determinação do vão crítico. Nessa metodologia os vãos com menor intensidade de velocidade de vento e simultaneamente com menor distância livre são definidos como críticos e são naturalmente aqueles que limitarão a capacidade térmica da linha. Os resultados obtidos na aplicação da metodologia em uma linha aérea de 138 kV, com 133 vãos, demonstram a consistência da metodologia e sua aplicabilidade.

**Palavras-chave** – Linhas de Transmissão, Parâmetros Climatológicos, Método Determinístico, Método Probabilístico, Ampacidade.

## I. INTRODUÇÃO

Um ponto relevante para a melhoria do processo de determinação da ampacidade é a necessidade de se estabelecer ao longo de todos os vãos da linha aérea os valores dos parâmetros climatológicos [1]. O monitoramento dessas condições ao longo da linha aérea por meio de estações climatológicas é de custo elevado [2], sobretudo para linhas longas. Assim, um ponto de partida plausível para se trabalhar na determinação da velocidade do vento, que é o parâmetro climatológico de maior influência para a ampacidade, é a utilização do estudo numérico da Camada Limite da Atmosfera (CLA) [3] e [4] na região da linha aérea. No modelo da CLA é preciso dispor da topografia digital do terreno e de medidas de velocidade do vento em pontos sobre a fronteira da região e em seu interior. Uma vez validado o modelo, é preciso efetuar simulações com diversas condições de fronteira (conforme exemplo da Figura 1) para formação de um banco de dados que será utilizado na determinação dos vãos críticos da linha.

A Figura 2 apresenta uma linha real no domínio computacional discretizado no malhador em 3D.

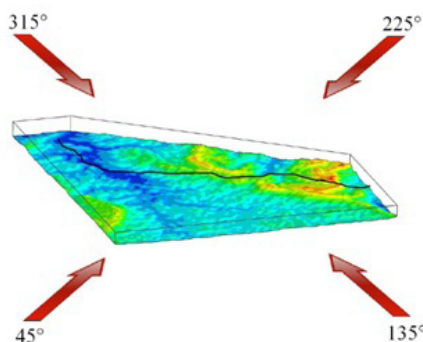


Figura 1 - Domínio de simulação com os ângulos de incidência do vento na CLA

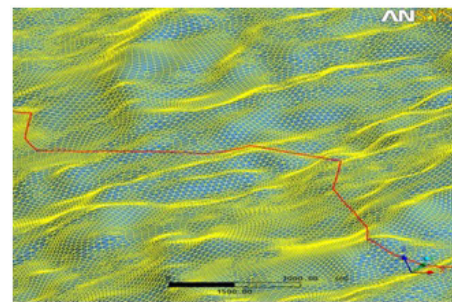


Figura 2 – Discretização do domínio da linha de transmissão para análise da camada limite.

## II. OBJETIVO

Neste trabalho apresenta-se a metodologia de determinação da ampacidade – AmpCLA, que busca ser mais realista do que as metodologias tradicionais [5] e [6], uma vez que o estudo da regionalização da velocidade do vento é amplamente simulado e analisado aos longo de todos os vãos da linha aérea.

## III. CRITÉRIO PARA LOCALIZAÇÃO DO VÃO CRÍTICO

A definição de vão crítico, juntamente com os fatores que os influenciam, são elegantemente discutidos em [2]. Basicamente, os vãos críticos são aqueles que possuem a menor velocidade de vento e concomitantemente possuem a menor distância livre entre o condutor e o objeto aterrado mais próximo. Foram realizadas quatro simulações, uma para cada ângulo de incidência do domínio, conforme mostrado na Figura 1. Após essas simulações, foram identificados os vãos críticos climatológicos, isto é, quais vãos possuíam velocidade do vento inferior a 1 (m/s).

Matematicamente, seja  $V_{ce}$  o conjunto de vãos críticos elétricos quanto à distância livre e  $V_{cc}$  o conjunto de vãos críticos climatológicos quanto à velocidade do vento. Os vãos que pertencem a ambos os conjuntos  $V_{cc}$  e  $V_{ce}$  formam o conjunto interseção  $V_{cne}$ . O conjunto  $V_{cne}$  é definido como o conjunto de vãos críticos da linha após aplicação do critério de não-dominância [7].

## IV. CAMADA LIMITE DA ATMOSFERA (CLA)

A região da CLA é definida como sendo uma fina camada da atmosfera, adjacente à superfície terrestre (até 2 km de altura), em que o escoamento do vento apresenta um elevado número de Reynolds. Esse escoamento ocorre em diferentes escalas, onde cada escala, descrita

P&D162 - Aplicação do modelamento da camada limite atmosférica na ampacidade de linhas aéreas de transmissão; Cemig D; UFMG; ciclos 2004/05 e 2005/06 com investimento (R\$ 650 mil).

<sup>1</sup> Cemig Distribuição S.A (e-mails: caxandre@cemig.com.br).

<sup>2</sup> UFMG (e-mail: vasconcelos.joao.antonio@gmail.com).

em termos de domínio computacional, utiliza modelos distintos. A simulação da CLA foi realizada via sistema computacional [8].

## V. METODOLOGIA AMPCLA

A metodologia AmpCLA foi desenvolvida com base em informações de velocidade do vento - obtidas via análise da CLA para determinação do conjunto de vãos críticos climatológicos da linha aérea -, e em informações sobre o conjunto de vãos com distância livres inferiores à mínima distância mínima de segurança. Após a determinação dos vãos críticos, a redefinição de ampacidade da linha pode simplesmente ser feita por meio de seu monitoramento durante a operação conforme mostra a Figura 4.



Figura 4 Linha aérea de 138 kV monitorada em Acuruí.

## VI. APLICAÇÃO PRÁTICA DA AMPCLA

A AmpCLA foi aplicada na determinação dos vãos críticos de uma linha aérea projetada com condutor tipo Linnet ou 336(mcm), 510 (A) e 138 (kV). Essa linha possui 133 vãos ao longo de 52 km na região de Acuruí-MG. As distâncias mínimas, em todos os vãos, são calculadas ou retiradas diretamente do projeto da linha. Nela, os vãos com menores distâncias constituem o conjunto Vce. Nesse caso, esse conjunto é composto dos seguintes elementos:  $Vce = \{3-4, 19-20, 20-21, 39-40, 40-41\}$ .

A CLA foi simulada com a velocidade de vento na fronteira de entrada da região (1 m/s) em cada uma das quatro direções do vento (45; 135; 225; 315°C). Dos resultados numéricos obtidos foram então extraídas as velocidades de vento em todos os vãos. Os valores mostrados na Figura 3 são os menores valores obtidos de velocidade do vento nas quatro simulações. Os três vãos {20-21, 40-41 e 51-52} são aqueles que apresentam os valores inferiores ao valor de referência (1 m/s) e constituem o conjunto Vcc.

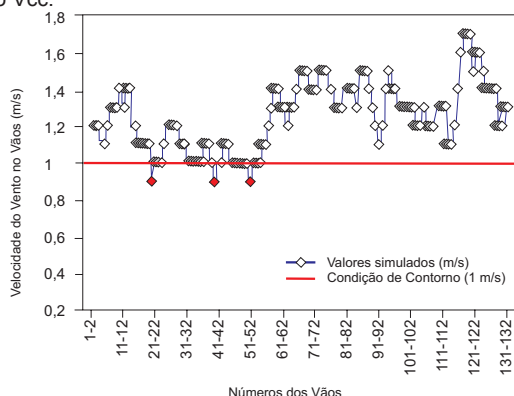


Figura 3 Velocidade do vento nos vãos da linha aérea de 138 kV.

A determinação dos vãos críticos é feita analisando-se a interseção entre os dois conjuntos Vcc e Vce, isto é,  $V_{crt} = V_{cc} \cap V_{ce} = \{20-21, 40-41\}$ .

## VII. CONCLUSÕES

Esse artigo apresentou a nova metodologia AmpCLA, a qual permite identificar os vãos críticos da linha e, conseqüentemente, monitorar a linha de forma mais segura. Em um caso real, em uma linha aérea de 133 vãos na região de Acuruí – MG, foram identificados apenas 2 vãos críticos. Os resultados obtidos mostram a consistência da AmpCLA, bem como a necessidade de se investir no monitoramento desses vãos para obter a exploração máxima da linha aérea com segurança. Dessa forma, outras aplicações da AmpCLA têm sido planejadas para os próximos anos na Cemig D.

A Figura 5 mostra as equipes da Cemig e da UFMG em treinamento no laboratório de computação evolucionária da UFMG.



Figura 5 Equipes em fase de treinamento na UFMG.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ELECTRA 174 - WG 22.12. The thermal behaviour of overhead conductors", October 1997.
- [2] G.J. Ramon - Dynamic Thermal Line Rating: Summary and Status of the State-of-the-Art Technology. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 3, July 1987.
- [3] T. Uchida and Y. Onya - Numerical Simulation of Atmospheric Flow Over Complex Terrain, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 81, p. 283-293, 1999.
- [4] P.A. Taylor and H.W. Teunissen - The Askervein Hill Project: Overview and Background data. Boundary Layer Meteorology, v.39. pp,15-39. 1987.
- [5] IEEE P738/D1. Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors, January 2007.
- [6] CIGRE-Task Force B2.12.6, Guide for selection of weather parameters for bare overhead conductor ratings. December 28, 2005.
- [7] K. M. Miettinen - Nonlinear Multiobjective Optimization. Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [8] CFX-5.5 - AEA Technology plc. Documentation. AEA Technology Engineering Software Ltd, United Kingdom, 2002.

# CEMIG-D

---

## Equipamento de alta precisão permite calibragem de medidores no local da instalação

A construção de um novo equipamento para verificação em campo do desempenho dos medidores eletromecânicos ou eletrônicos foi o foco do projeto desenvolvido pela CEMIG Distribuição S/A e NANSEN S/A. Segundo os pesquisadores, o *Precision Field*, medidor de alta precisão, é caracterizado, dentre outras coisas, por fácil operação, custo competitivo, capacidade de armazenamento de dados e baixo peso. Seu principal objetivo é fazer a calibragem dos medidores de energia no local onde estão instalados, evitando a retirada e substituição dos medidores que precisam ser calibrados. Isso contribui para redução de custos e da insatisfação do consumidor com o procedimento. Com a utilização do Precision Field, o consumidor pode acompanhar a calibragem, necessária para que os medidores atuem sempre em conformidade com as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). O novo equipamento conta com software que facilita a transferência das informações registradas em sua memória. Foram construídos 10 protótipos, testados no Laboratório Eletrônico de Medição da CEMIG-D e nos laboratórios da Nansen S/A. Os resultados dos testes foram considerados satisfatórios. Os equipamentos de alta precisão estão sendo utilizados para calibragem de medidores instalados em unidades consumidoras e sugestões de melhoria têm sido registradas para atualização do projeto, com vistas à produção em escala industrial.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: Cemig Distribuição S/A (CEMIG-D)  
Título: Desenvolvimento de um padrão portátil de baixo custo para inspeção e verificação de medidores de energia elétrica em campo  
Ciclo: 2005/2006  
Investimento: R\$ 657.890,00  
Execução: Nansen

## Desenvolvimento de um Padrão Portátil de Baixo Custo para Inspeção e Verificação de

# Medidores de Energia Elétrica em Campo

Rios, L. R. F. 1, Batista, J.P.A. 1, Felix, F. R. 2, Diorio, F. A. 2, Mafra Jr., J. J. 2, Ribeiro, C. A. S. 2

**Resumo** – Visando verificar o desempenho dos medidores de energia elétrica, tanto eletromecânicos como eletrônicos, em laboratório e em campo, foi desenvolvido um padrão portátil trifásico de energia - PRECISION FIELD - que automatiza as calibrações, bem como a emissão de relatórios. O instrumento substitui com vantagens técnicas e econômicas os atuais padrões de energia disponíveis comercialmente. Foram utilizadas tecnologias de medidores eletrônicos, de microprocessamento e de informática que, aliadas a uma configuração mecânica adequada, proporcionam facilidades operacionais nas calibrações, sobretudo em campo. A solução alcançada propicia um reduzido tempo de instalação, alta exatidão nas medições, boa performance operacional, facilidade de diagnósticos e de emissão de relatórios.

**Palavras-chave** – Calibração de Medidores, Medição, Padrão de Energia, Perdas Comerciais, Proteção de Receita

### I. INTRODUÇÃO

Há anos as concessionárias vêm se frustrando diante das dificuldades técnicas e econômicas de operacionalizar, de forma satisfatória, a verificação dos medidores de energia em campo. Tal fato deve-se aos altos custos dos padrões de energia e às dificuldades operacionais em conectá-los aos medidores instalados nos padrões de entrada.

Em 2005 foi iniciado o projeto de P&D 172 [1] pela CEMIG e pela NANSEN S. A., objetivando obter um padrão com especificações para industrialização, capaz de viabilizar a inspeção e a verificação dos medidores tanto em laboratório como em campo.

A medição para faturamento de energia é regulamentada por Normas Técnicas da ABNT e Inmetro, o que requer que os medidores tenham seu funcionamento regido dentro de determinados parâmetros, destacando-se a precisão das medidas realizadas. Para a verificação dessa precisão e dos respectivos “erros”, utilizam-se normalmente medidores de alta precisão denominados “padrões de energia”.

Esses padrões verificam os erros de medidores novos e dos reparados e dos que se encontram instalados nas unidades consumidoras. O presente projeto visou exatamente desenvolver um padrão para estas finalidades, e principalmente, para a calibração dos medidores instalados.

A calibração em laboratório gera custos de retirada do medidor, de instalação de um novo medidor, de deslocamento do medidor retirado até o laboratório e de armazenagem. Também pode gerar desconfiança no consumidor quanto aos erros detectados, já que este, na maioria das vezes, não possui tempo nem recursos financeiros para acompanhar

mento da calibração no laboratório. Tendo em vista essa problemática, o padrão desenvolvido teve como foco principal a obtenção de um instrumento capaz de calibrar os medidores instalados nas próprias unidades, possibilitando o acompanhamento “in loco” pelo consumidor. Isso gera economia tanto aos consumidores como às concessionárias e aumenta a transparência do processo.

### II. CARACTERÍSTICAS DO PADRÃO DE ENERGIA

O padrão trifásico portátil desenvolvido neste projeto é composto basicamente dos seguintes componentes: garras de tensão, alicates de corrente, sensor de pulsos/voltas do disco, medidor/registrator microprocessado com teclado, *display* e *software*.

Dentre as vantagens do *Precision Field* em relação aos concorrentes, podemos citar: facilidade de operação, custo competitivo, *software* de operação, *design* que favorece a operação em campo, armazenamento de dados bastante amigável e baixo peso.

#### A. Hardware

As principais especificações do padrão de energia são:

- Medição de tensão: 90 a 280 volts
- Medição de corrente: 0,025 a 120 ampéres
- Exatidão: classe 0,2 em conexão direta (0,06 a 10 A), classe 0,5 em conexão por alicates de corrente (1 a 120A)
- Frequência: 45 a 65 hertz
- Consumo: 10 VA
- Tipos de medição: energia ativa e reativa
- Temperatura de operação: 0°C a 70°C
- Coeficiente de temperatura 0,02%/K
- Grau de proteção: IP50
- Dimensões: 91 x 173 x 266 mm
- Peso: 1,3 kg.

A figura 1 apresenta o aspecto externo do padrão de energia e permite visualizar a Porta Óptica de Comunicação na sua lateral.

Informações sobre o Projeto de P&D 172: “Desenvolvimento de um Padrão Portátil de Baixo Custo para Inspeção e Verificação de Medidores de Energia Elétrica em Campo”; ‘Cemig’; ‘Nansen S.A.’; ciclo 2005; Investimento de R\$ 657.890,00.

Rios, L. R. F. é Engenheiro de Tecnologia e Normalização da CEMIG Distribuição e Gerente do Projeto de P&D172/2005 (email: lrenatof@cemig.com.br).

Batista, J.P.A. é Técnico do Sistema Elétrico da CEMIG Distribuição (email: joao.aguiar@cemig.com.br).

Ribeiro, F. R. é da empresa NANSEN e Coordenador do Projeto P&D172/2005 (e-mail: felix@nansen.com.br).

Mafra Jr., J. J. e Diório, F.A. são Engenheiros Eletricistas e Pesquisadores na NANSEN (e-mail: johnny@nansen.com.br e diorio@nansen.com.br).

Ribeiro, C. A. S. R. é Engenheiro de Controle e Automação e pesquisador na Nansen (e-mail: cesar.ribeiro@nansen.com.br).





Figura 1. Aspecto Externo do Padrão de Energia.

## B. Software

Para facilitar a transferência de informações sobre os ensaios e resultados armazenados na memória do Padrão, foi desenvolvido um aplicativo (Pégasus) em linguagem Delphi, com a funcionalidade da gestão de operadores, clientes, ensaios e resultados.

## III. CERTIFICAÇÃO DO PADRÃO DE ENERGIA

Após aprovação dos protótipos nas provas de conceito, nos testes e ensaios de desempenho nos laboratórios da NANSEN [2] [3] [4], foi verificada a performance de operação dos equipamentos no Laboratório Eletrônico de Medição (LEM) da CEMIG [5] [6], que é acreditado pelo Inmetro e certificado no Sistema de Gestão da Qualidade - ISO 9002.

A seguir é apresentada a curva de calibração de kWh de um dos protótipos do padrão, realizada com Padrões de Referência classe 0,025 (250 p.p.m). Em vermelho encontram-se os limites de erro.

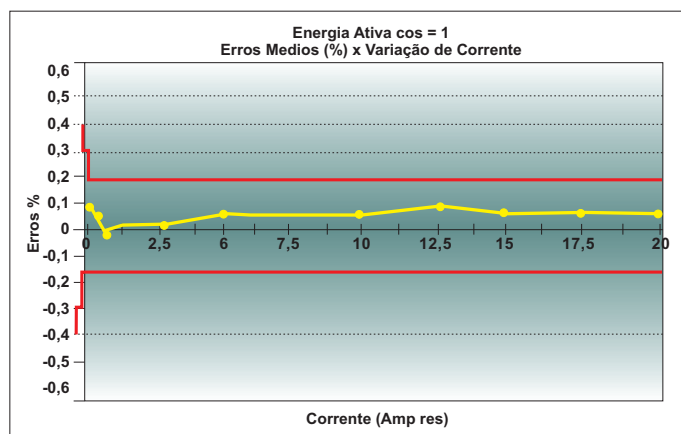


Figura 2. Curva de Corrente Direta para Carga Ativa Trifásica  $\cos \phi = 1$

Para validação dos protótipos em um laboratório externo, foram se-

leccionadas duas amostras, que foram testadas em vários pontos para energia ativa e reativa. Os resultados obtidos foram satisfatórios, o que conforma o desempenho do produto.

## IV. TESTES DE CAMPO COM O PADRÃO DE ENERGIA

Foram construídas 10 unidades do padrão que vêm sendo utilizadas na inspeção e calibração de medidores instalados nas unidades consumidoras. Todas as sugestões de melhoria vêm sendo registradas para atualização do projeto em caso de produção em escala industrial.

## V. CONCLUSÕES

O produto resultante do projeto de P&D 172 deverá proporcionar condições para efetuar ensaios em medidores em campo, segundo recomendação do Órgão Metrológico Oficial, de forma prática e viável. Isso ocorrerá por meio de um sistema simples e de baixo custo, com o qual é possível executar ensaios para a verificação do comportamento dos medidores com a determinação dos erros de calibração.

Esperam-se ainda os seguintes benefícios:

- melhoria no relacionamento da concessionária com seus consumidores devido a maior agilidade e transparência no processo de calibração, já que possibilita a calibração em campo com a presença dos consumidores;
- melhoria na eficiência dos serviços executados, e
- menor tempo de execução e melhor logística e redução de custos operacionais de retirada, transporte e armazenagem de medidores.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Relatório Técnicos:

[1] Projeto P&D ANEEL /CEMIG/NANSEN/Fundep P&D172 – “Desenvolvimento de um Padrão Portátil de Baixo Custo para Inspeção e e Verificação de Medidores de Energia Elétrica em Campo” ciclo 2005/2006/2007.

Normas e Legislação:

[2] ABNT/NBR 14519, Medidores eletrônicos de energia elétrica (estáticos) – Especificação.

[3] ABNT/NBR 14520, Medidores eletrônicos de energia elétrica (estáticos) – Método de Ensaio.

[4] Portaria Inmetro nº 431, de 01 de dezembro de 2008; Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO

Laudos Técnicos:

[5] Relatório RVP0001 de 03/10/2010[5] – Relatório de Validação de Produto, realizado em 03/02/2010 – LEM / CEMIG-D

[6] Relatório RVP0009 de 03/10/2010[5] – Relatório de Validação de Produto, realizado em 03/02/2010 – LEM / CEMIG-D

# LIGHT

## Estudo aponta recomendação para formalizar fornecimento a consumidor de baixa renda

Pesquisadores da PUC-RIO analisaram práticas nacionais e internacionais de regularização do fornecimento de energia para populações carentes, com objetivo de elaborar recomendações para as áreas atendidas por Unidades de Polícia Pacificadora no Rio de Janeiro. Dos quase 50 casos analisados, foram selecionados 18 pela semelhança de características em relação ao perfil desejado: alta concentração de unidades consumidoras em zonas urbanas violentas e marcadas pela informalidade, atendidas por concessionária privada obediente à regulação por preço-teto, com subsídio tarifário e baixa capacidade de pagamento da conta de energia. Dentre esses casos, destacam-se as experiências na Argentina, Chile, Colômbia, Peru, Uruguai, Índia, Malásia, Filipinas, África do Sul, Moçambique, Marrocos, Estados Unidos e Brasil, particularmente regiões atendidas pelas distribuidoras Eletropaulo (SP), Coelba (BA), Coelce (CE), Celpa (PA) e pela própria Light (RJ). Como resultado, o estudo apresentou seis recomendações para formalização do fornecimento de energia para consumidores de baixa renda. Uma delas refere-se à geração de renda e aumento da capacidade de pagamento. Nesse item, recomenda-se que a concessionária atue para auxiliar esses consumidores a receber o Número de Identificação Social (NIS), um dos requisitos necessários à candidatura da unidade consumidora à obtenção do benefício da Tarifa Social. Outra sugestão é implementar programas como troca de lixo reciclável por descontos na conta de energia e projetos de geração de emprego e renda, além de treinamento aos trabalhadores das empresas instaladas na comunidade. Recomenda-se, também, firmar pactos sociais e promover a educação para o consumo de energia, bem como incentivar a eficiência energética por meio da instalação de placas de aquecimento solar para reduzir o consumo dos chuveiros elétricos. O estudo sinaliza ainda a adoção de política creditícia local, por meio do financiamento da troca de equipamentos ineficientes. Melhorar os padrões de eficiência energética da construção civil também aparece entre as recomendações e pode ser feita pela influência da arquitetura das casas, de modo a torná-las mais claras e adaptadas ao clima local. O combate à fraude, ou seja, ao consumo irregular, é apontada como alternativa a ser alcançada com a substituição de medidores domiciliares por equipamentos de medição remota, instalação de transformadores automonitorados, entre outras opções. Sugere-se, ainda, o aprimoramento da regulação sobre o atendimento dessas comunidades, com reconhecimento de investimentos necessários à recuperação das perdas das concessionárias e fixação de tetos adequados de perda e inadimplência no cálculo tarifário.

### ***Ficha técnica***

Empresa: Light Serviços de Eletricidade S/A

Título: Formalização do Fornecimento a Consumidores de Baixa Renda: Lições das Experiências Nacional e Internacional para as Áreas do Rio de Janeiro Atendidas por Unidades de Polícia Pacificadora

Ano: 2008

Investimento: R\$ 425.084,20

Execução: Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação da PUC-Rio

# Formalização do Fornecimento a Consumidores de Baixa Renda: Lições das experiências nacional e internacional para as áreas do Rio de Janeiro atendidas por Unidades de Polícia Pacificadora

Marina Figueira de Mello<sup>1</sup>, Maurício Frota<sup>1</sup>, Carlos Ruffin<sup>2</sup>, Connie Smyser<sup>2</sup>

**Resumo** – No contexto de um Projeto de P&D LIGHT-ANEEL, o artigo descreve o resultado de um estudo feito pela PUC-Rio sobre as melhores práticas nacionais e internacionais para a regularização do fornecimento de energia elétrica para populações carentes.

**Palavras-chave** - Capacidade de pagamento; Educação para o consumo; Tarifa social.

## I. INTRODUÇÃO

A regularização do fornecimento de serviços públicos para as comunidades do Rio de Janeiro atendidas por Unidades de Polícia Pacificadora constitui um enorme desafio. No caso da eletricidade, é necessária uma revolução cultural que implante uma política eficiente de atendimento à baixa renda, respeitando a capacidade de pagamento dos consumidores.

## II – DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Dos quase 50 casos estudados (experiências nacionais e internacionais) [1], foram selecionados aqueles que tinham conformidade com o problema do Rio de Janeiro: elevado percentual de consumidores em áreas urbanas violentas e informais; concessionárias privadas; regulação por tetos de preços; subsídios à baixa renda; pouca capacidade de pagamento; e ambiente cultural semelhante.

Com a aplicação destes filtros, o número de casos analisados reduziu-se para 18: Argentina, Chile, Colômbia, Peru, Uruguai, Bangladesh, Índia, Malásia, Filipinas, África do Sul, Moçambique, Marrocos, EUA, Eletropaulo/Paraisópolis, Light/Morro de Santa Marta, Coelba, Coelce e Celpa.

## III – RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES

As principais recomendações, algumas já em aplicação na LIGHT, são: A) geração de renda e aumento da capacidade de pagamento; B) pactos sociais, educação para o consumo e eficiência energética; C) implantação de política creditícia setorial; D) melhoria dos padrões de eficiência energética; E) tecnologias de combate à fraude e F) melhoria da regulação.

### A. Geração de renda e aumento da capacidade de pagamento.

O respeito à capacidade de pagamento é crucial. Pela nova regulação brasileira (Lei 12.212, de 20/01/2010), os domicílios com renda per capita inferior a meio salário mínimo têm direito à tarifa social (mais baixa) quando inscritas no Cadastro Único e com Número de Identificação

Social (NIS). Recomenda-se: auxílio da concessionária para obtenção do NIS; implantação de programas de troca de lixo reciclável por descontos na conta; treinamento para os trabalhadores das empresas da comunidade; programas de geração de renda e emprego (terceirização dos serviços para os próprios membros da comunidade, priorização das compras no comércio local). Os programas de apoio mais bem sucedidos da experiência internacional tratam os serviços básicos (educação, saúde, eletricidade, água, esgoto, gás e telefone) num mesmo pacote. Na Colômbia, as famílias são classificadas em seis categorias sócio-econômicas baseadas na qualificação de sua vizinhança em termos da qualidade das casas. As três faixas inferiores recebem subsídios. O Chile também aplica política unificada oferecendo uma cesta de primeira necessidade sujeita a condicionais semelhantes às do Bolsa-Família.

**B. Pactos sociais,** educação para o consumo e eficiência energética. A existência de um pacto com a comunidade é condição sine qua non. Sabidamente, os consumidores que não pagam consomem demais. É importante que seja concedido um prazo para que os clientes recém regularizados possam conhecer o valor que sua conta teria caso o consumo fosse integralmente cobrado. O Brasil tem sido líder na substituição de lâmpadas e eletrodomésticos. Também placas de aquecimento solar (Figura 1) têm sido instaladas para reduzir o consumo do chuveiro elétrico. Entretanto, o modo internacionalmente consagrado de controlar o consumo é a adoção de sistemas de pré-pagamento (Figuras 2 e 3), que evitam perdas relativas à inadimplência. O sistema alerta o consumidor quando a energia adquirida está prestes a terminar. Recomenda-se que o pré-pagamento seja ampliado nas áreas carentes do Brasil, com base nas experiências da região norte.

**C. Implantação de política creditícia setorial.** Como as distribuidoras têm acesso privilegiado à avaliação do risco de crédito de seus clientes, nos EUA elas formam parcerias com instituições financeiras para a substituição dos equipamentos ineficientes. Os eletrodomésticos são trocados e o pagamento é feito pela não redução imediata do valor da conta de luz. Esta fica com o mesmo valor que tinha antes da substituição (apesar de agora, com os novos equipamentos, o consumo ser mais baixo) até que o montante financiado seja devolvido, quando então, a conta é reduzida. A escolha do consumidor é inequívoca: ou fica com o equipamento antigo e uma conta alta; ou com a mesma conta alta, equipamentos novos e a certeza de redução da conta no futuro. Ninguém

Subsídios à formulação de tarifas para consumidores de baixa renda: indicadores e estudo de experiências bem sucedidas": P&D LIGHT-ANEEL no. 09/2008. Concessionária: LIGHT. Entidade Executora: PUC-Rio (Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação). Ano: 2008. Investimento: R\$ 425.084,20.

PUC-Rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. (E-mails: marina@econ.puc-rio.br e mfrota@puc-rio.br).

<sup>2</sup> Consultores internacionais do P&D pela PUC-Rio (Carlos Ruffin, University of Suffolk, Boston, USA, cruffin@suffolk.edu e Connie Smyser, Partner Smyser Associates, San Francisco, California, USA, conniesmyser@aol.com).

prefere a primeira opção. Em algumas experiências o crédito abrange pequenos negócios da comunidade e até outras atividades.

**D. Melhoria dos padrões de eficiência energética da construção civil.** É recomendável que se influencie a arquitetura das casas para que fiquem mais claras e adaptadas às condições climáticas locais. A principal sugestão é que as indústrias de cimento firmem convênios com os governos locais para obrigá-las a fazer sugestões de arquitetura e conselhos práticos às pessoas que constroem suas próprias casas.

**E. Implantação de tecnologias de combate à fraude.** As tecnologias antifraudes são conhecidas no Brasil e vem sendo implantadas com sucesso. As técnicas desenvolvidas no País e na América Latina são reconhecidas como de vanguarda. Para combate às fraudes recomenda-se: retirada dos medidores das residências; medidores controlados remotamente; relógios que desligam automaticamente quando o consumo ultrapassa determinado patamar; transformadores auto-monitorados; blindagem de redes; monitoramento de grandes consumidores e redes inteligentes. A segurança da rede é indispensável.

**F. Aprimoramento da regulação.** Quanto mais bem tratada na regulação a questão do atendimento às comunidades carentes, mais eficaz este se torna. São cruciais: o reconhecimento na tarifa dos investimentos na recuperação das perdas; a adequada determinação dos tetos de perdas e de inadimplência; e a harmoniosa imbricação com a política social.



Figura 1. Isolamento do teto e aquecedor solar

(Fonte: Eskom, Johannesburg)

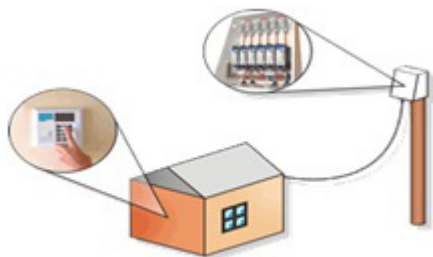


Figura 2. Sistema remoto de pagamento pré-pago

(Fonte: PNEnergy&Unicity, Cape Town)



Figura 3. Produção comunitária de medidores pré-pagos

(DESCO, Bangladesh)

#### IV – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Relatório do P&D LIGHT-ANEEL 09/08 Subsídios à formulação de tarifas para a subclasse residencial baixa renda: estudo de experiências nacionais e internacionais bem sucedidas, dez 2010.

# LIGHT

---

## Modelo computacional permite verificar comportamento térmico do transformador

Pesquisa desenvolvida pela Light Serviços de Eletricidade S/A, Universidade Federal Fluminense (UFF) e Universidade Gama Filho (UGF), com apoio das consultorias Cognitor e Electromagnetics, resultou na elaboração de um modelo computacional em três dimensões para um transformador. A partir do modelo, foi possível verificar o comportamento térmico do equipamento em função da temperatura ambiente e da curva de carga e determinar os limites de seu carregamento de forma otimizada, com significativa redução de custos de operação e expansão. O estudo foi motivado pela necessidade de explorar ao máximo o potencial de uso dos transformadores sem prejudicar seu desempenho e sua vida útil. Além disso, levou em consideração o imperativo de se atender regulamentação da agência reguladora e norma da NBR sobre a vida útil dos equipamentos e limites de temperatura do óleo e do enrolamento. Para isso, os pesquisadores utilizaram técnicas computacionais de visualização em 3D que permitem determinar os pontos quentes do transformador e, dessa forma, descobrir seus limites de carregamento. Para validar o modelo criado, foi feita uma simulação por três dias. Ao longo desse período os valores obtidos na simulação foram comparados com os colhidos na subestação de São Conrado (RJ) por meio de um termômetro digital instalado próximo ao transformador. Após esse monitoramento, verificou-se que as curvas medidas ficaram bem próximas aos valores experimentais. No modelo computacional, foi possível identificar nos transformadores, a partir de um mapa de cores, os locais onde os enrolamentos apresentavam as temperaturas mais elevadas.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Light Serviços de Eletricidade S/A

Título: Determinação de Limites de Carregamento de Transformadores Levando em Conta Modelos Termodinâmicos e Análise Tridimensional

Ciclo: 2006/2007

Investimento: R\$ 376.015,00

Execução: Light, Universidade Federal Fluminense e Universidade Gama Filho e consultorias Cognitor e Electromagnetics

# Determinação de Limites de Carregamento de Transformadores Levando em Conta Modelos Termodinâmicos e Análise Tridimensional

C. E. Vizeu Pontes<sup>1</sup>, S. Feitoza Costa<sup>2</sup>, M. Caldora Costa<sup>3</sup>, H. O. Henriques<sup>4</sup> & J. C. O. Aires<sup>5</sup>

**Resumo** - O artigo apresenta os estudos realizados pela LIGHT para desenvolver um modelo tridimensional em elementos finitos para um transformador de potência de 20 MVA, verificando o seu comportamento térmico em função da temperatura ambiente e de sua curva de carga, e comparando os resultados de simulação com valores obtidos a partir de medições de temperatura realizadas no topo do óleo e no ponto quente dos enrolamentos. A modelagem desenvolvida faz parte de um conjunto de ações e pesquisas realizadas com o objetivo de determinar os limites de carregamento para as unidades transformadoras de forma otimizada e com significativas reduções nos custos de operação e expansão.

**Palavras-Chaves:** transformadores; sobrecarga; capacidade operativa e limites de carregamento.

## I. INTRODUÇÃO

A Resolução nº.191/2005 estabeleceu limites de capacidade operativa para os transformadores da rede básica e de fronteira, de acordo com a NBR 5416. A metodologia da norma leva em conta, principalmente, a vida útil dos transformadores e os limites de temperatura do óleo e do enrolamento. A extensão dessa metodologia aos transformadores das subestações distribuidoras tornou-se um desafio face à necessidade da adoção de modelos específicos, capazes de explorar ao máximo o potencial de uso dos equipamentos sem prejudicar o desempenho e a vida útil dos mesmos. Por outro lado, as técnicas computacionais de visualização em 3D e os modelos baseados em elementos finitos constituem novos atributos para a estimação de pontos quentes, que propiciam subsídios importantes na determinação dos limites de carregamento.

O artigo baseia-se no projeto LIGHT-19/2007, "Determinação de limites de carregamento de transformadores levando em conta modelos termodinâmicos e análise tridimensional (3D)", e apresenta a modelagem e os principais resultados obtidos para a SE 138/13,8 kV com 3 transformadores de 20 MVA, localizada no bairro de São Conrado, no Rio de Janeiro.

## II. METODOLOGIA

Foi desenvolvido um modelo computacional em 3D de um transformador de potência utilizando o software FLUX3D® [1], baseado no Método dos Elementos Finitos, dedicado ao cálculo térmico [2]. O modelo foi desenvolvido considerando-se as principais características geométricas e físicas do transformador, tendo sido modelados o núcleo, os enrolamentos de alta e baixa tensão e o tanque do transformador.

Com relação às fontes de calor contempladas no modelo, foram consideradas as perdas no núcleo (perdas em vazio) e as perdas nos enrolamentos, sendo estas proporcionais à variação da carga alimentada pelo transformador ao longo do tempo. As correntes induzidas no

tanque do transformador e os efeitos da radiação solar não foram considerados no modelo, apesar de representarem fontes de calor existentes na prática.

A dissipação de calor do transformador para o meio ambiente foi contemplada através da modelagem dos fenômenos de convecção e de radiação térmica, levando-se em consideração a variação da temperatura ambiente ao longo do dia. Fatores relacionados à umidade relativa do ar e ao eventual vento soprando sobre a superfície do transformador não foram contemplados no modelo implementado.

Ainda no que se refere à dissipação de calor do transformador, considerou-se no modelo a troca de calor entre os enrolamentos e o óleo do tanque através do fenômeno de convecção. Buscou-se incorporar ao modelo o efeito de refrigeração do óleo resultante da ação do radiador ligado do transformador.

## III. DESCRIÇÃO DO TRANSFORMADOR E DO MODELO UTILIZADO NA ANÁLISE

Para a validação do modelo, foi feita uma simulação considerando-se um período de três dias (72 horas) e comparando-se os valores simulados de temperatura no ponto quente dos enrolamentos e no topo do óleo com valores obtidos a partir de medições realizadas em um transformador instalado na subestação (Figs 1 e 2).

O modelo envolveu a definição da geometria, da malha de elementos finitos e das propriedades físicas.



Figura 1 – SE São Conrado – Visão geral

1 LIGHT - carloseduardo.vizeu@light.com.br

2 COGNITOR - sergiofeitoza@cognitor.com.br

3 ELECTROMAGNETICS - mcosta@electromag.com.br

4 LETD/UFF - rique@vm.uff.br

5 UGF - jcaires@ajato.com.br



Figura 2 – SE São Conrado – TR 1 – 15/20 MVA – ONAN/ONAF

### A. Geometria

A geometria do modelo (Fig. 3) foi criada utilizando-se as principais dimensões geométricas como altura, largura e comprimento do tanque e do núcleo, entre outros. É possível identificar o núcleo (azul), as bobinas dos enrolamentos de AT (vermelho) e BT (amarelo). Observa-se ainda que os enrolamentos foram modelados como sendo estruturas cilíndricas contínuas.

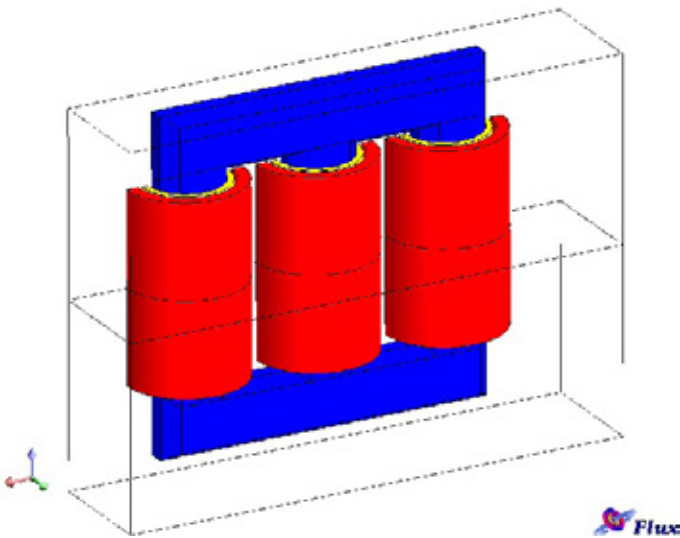


Figura 3 – Geometria do Modelo

## IV. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram comparados com valores de medições realizadas em um dos transformadores da subestação, no período de 24 a 26 de julho de 2010.

A temperatura ambiente e a curva de carga do transformador (representada pela corrente do enrolamento de AT) medidas no mesmo período de 3 dias estão representadas, respectivamente, nos gráficos

das Figura 4 e 5. A medição da temperatura ambiente local foi feita por termômetro digital instalado próximo ao transformador.

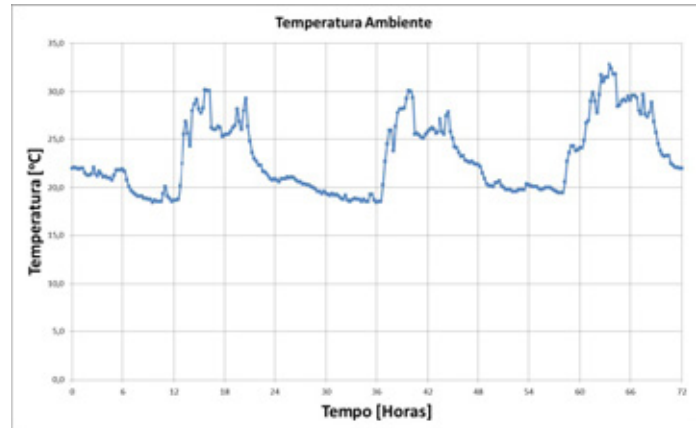


Figura 4 – Temperatura ambiente entre 24 e 26 de julho de 2010

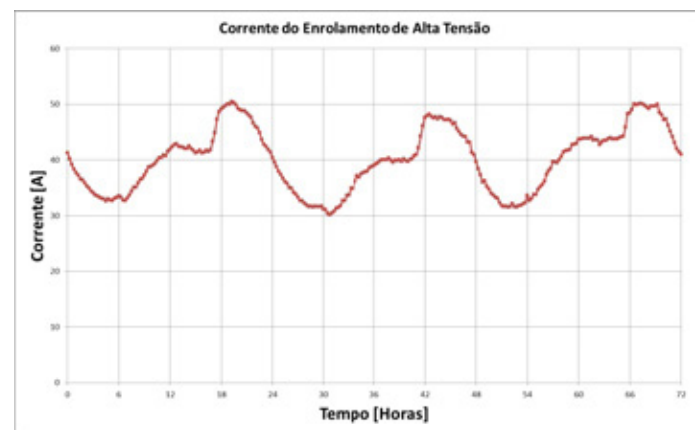


Figura 5 – Curva de carga do transformador entre 24 e 26 de julho de 2010

A Figura apresenta o gráfico com os valores de temperatura no ponto quente do enrolamento obtidos a partir das simulações realizadas. Neste mesmo gráfico, são apresentados os valores de temperatura referentes às medições realizadas no período considerado. Observa-se que as curvas medidas e simuladas estão bem próximas em termos de valores e comportamento, apresentando uma pequena divergência nos períodos entre 12:00 horas e 18:00 horas de cada um dos três dias analisados.

Na Figura, é possível analisar o mapa de cores de temperatura nos enrolamentos resultante da simulação realizada, no qual se observa que a região do enrolamento que apresenta os valores de temperatura mais elevados encontra-se a ¼ da base do enrolamento.

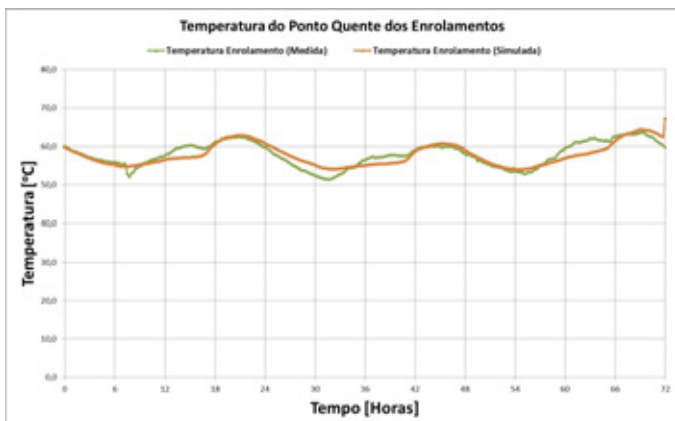


Figura 6 – Temperatura no ponto quente dos enrolamentos

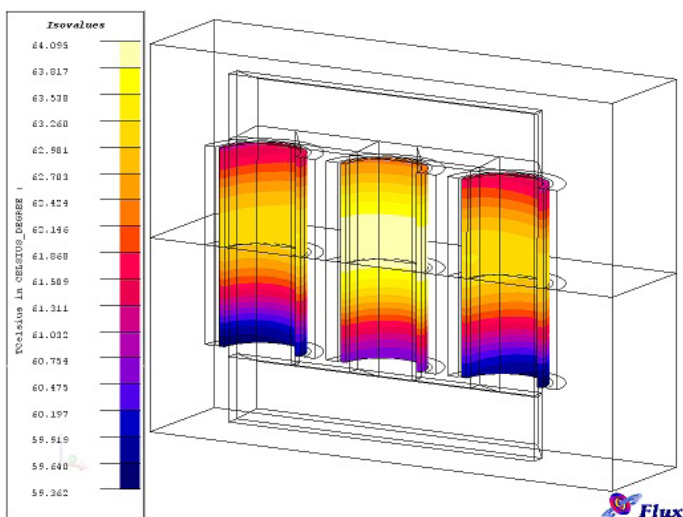


Figura 7 – Mapa de cores da temperatura nos enrolamentos

## V. CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido mostrou-se eficiente. A validação foi feita a partir de dados reais (medição da temperatura no topo do óleo e no das subestações da LIGHT. As curvas de temperatura obtidas nas ratura dos enrolamentos.

Algumas das divergências mencionadas no capítulo IV, e visualizadas na Figura 6, serão objetos de futuros refinamentos do modelo.

## VI. REFERÊNCIAS

### Relatórios Técnicos:

- [1] FLUX3D® – Software para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos.
- [2] J. P. Bastos, N. Sadowski; "Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods", 1st Edition. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003.
- [3] Maurício Caldora Costa. Modelagem Térmica de Transformador de Potência pelo Método dos Elementos Finitos. ELECTROMAGNETICS. RT.08.123.01.A. 23/12/2010.
- [4] Sérgio Feitoza Costa. Validação de Simulações de Ensaio de Arco Interno, de Forças Eletrodinâmicas e de Elevação de Temperatura em Painéis e Barramentos. www.cognitor.com.br

### Normas e Resoluções

- [5] ABNT. Aplicação de Cargas em Transformadores de Potência - Procedimentos. ABNT-NBR 5416. Julho de 1997.
- [6] ANEEL. Resolução Normativa N° 191 de 12 de dezembro de 2005.



# LIGHT

---

## *Software* monitora sons para prevenir falhas em redes subterrâneas

Em pesquisa realizada pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e pela LIGHT Serviços de Eletricidade S/A, foi desenvolvido *software* que observa a emissão de ruídos em câmaras de redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica. O objetivo do monitoramento é detectar possíveis estados de degradação dos materiais isolantes e, dessa forma, prever a ocorrência de falhas, que podem gerar explosões, com risco de acidentes e tempo de restauração elevado, o que degrada os índices de qualidade da prestação do serviço da concessionária. Quando há perda de propriedades elétricas dos isolantes, ocorrem descargas parciais e cada um de seus tipos emite um som específico, relacionado a um determinado defeito. Para fazer o rastreamento dos ruídos, foram instalados sensores nas câmaras subterrâneas, que enviam parâmetros físicos reais, como temperatura ambiente, nível de água, ventilação e vibrações, para um sistema inteligente. O sistema armazena um histórico de temperatura e ruído para classificar e prever potenciais falhas e possibilidades de danos nos equipamentos elétricos. De acordo com as informações que chegam ao sistema, o equipamento suspeito pode ser indicado para retirada e manutenção. Os pesquisadores puderam concluir que, ao usar o monitoramento remoto por meio de sensores e o *software* que analisa os dados coletados, torna-se possível estruturar de forma otimizada os programas de manutenção e reduzir o número de intervenções na rede. Os autores avaliam que a metodologia utilizada no projeto poderá ser aplicada em todas as câmaras subterrâneas da LIGHT e, posteriormente, expandida para outras distribuidoras que possuam sistemas subterrâneos.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Light Serviços de Eletricidade S/A

Título: Sistema de Previsão de Falhas em Redes Subterrâneas

Ciclo: 2006/2007

Investimento: R\$ 388.240,00

Execução: Fundação Euclides da Cunha de Apoio Institucional à Universidade Federal Fluminense (UFF)

# Sistema de Previsão de Falhas em Redes Subterrâneas

Henrique O Henriques 1, Marcos A C Pequeno<sup>1</sup>, Andrés Pablo L Barbero 1, Ricardo M Ribeiro<sup>1</sup>, Odair S Chavier<sup>1</sup>, Clayton G Vabo 2

**Resumo** – Esse trabalho apresenta um sistema de supervisão de câmaras subterrâneas para previsão de falhas em componentes e equipamentos permitindo estruturar, de forma otimizada, os programas de manutenção e reduzir o número de intervenções na rede. Dentre os objetivos do trabalho estão o de executar a aquisição de sensores/dispositivos, desenvolver *hardware* e *software* e instalá-los em uma câmara subterrânea da LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE SA. Foram avaliados o custo, desempenho, hostilidade do ambiente e disponibilidade no mercado nacional. Questões de telemetria, especificação de concentrador e instalação de sensores também foram examinadas.

**Palavras-chave** – Manutenção de redes subterrâneas, previsão de falhas, rede de distribuição, suportabilidade de equipamentos.

## I. INTRODUÇÃO

As chaves e transformadores, encontrados em câmaras subterrâneas, caso haja o desenvolvimento de falha e explosões, apresentam risco de acidentes e tempos de restauração elevados que degradam os índices de qualidade, podendo levar o agente regulador a estipular multas elevadas.

Para agir antecipadamente à falha foi desenvolvido um sistema computacional que é alimentado com dados reais captados por sensores de parâmetros físicos tais como: temperatura ambiente e dos equipamentos, nível de água, ventilação, vibrações. Para segurança, foram instalados sensores de abertura de tampa e de presença.

Após vários testes no laboratório do LETD da UFF, foi construído um sistema de supervisão e instalado na câmara subterrânea CT - 1367 na Travessa do Ouvidor – Centro do Rio de Janeiro. Cada equipamento possui um “log”, que armazena um histórico de temperatura e ruído, com a finalidade de classificar e identificar de forma preditiva, as potenciais falhas e as possibilidades de dano desses componentes elétricos. Os resultados, que estão sendo utilizados em caráter experimental, podem ser acompanhados, em tempo real, através de um link na internet.

A metodologia desenvolvida nesse projeto poderá ser expandida para todas as câmaras subterrâneas da LIGHT e de todas as demais empresas Distribuidoras de Energia brasileiras que possuam sistemas subterrâneos.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Metodologia Empregada

O grau de avanço do produto final alcançado por esse projeto, em relação ao atual estado da arte, consistiu em detectar possíveis estados de degradação de materiais isolantes, tornando possível estabelecer uma previsão temporal da ocorrência de falhas.

A perda das propriedades elétricas e mecânicas por parte dos materiais isolantes intensifica o aparecimento de descargas parciais (DPs). Cada tipo de defeito resulta em um comportamento específico para os sinais acústicos emitidos pela DP.

Baseado nesse conceito foi desenvolvido um sistema inteligente para monitorar equipamentos de redes subterrâneas.

### B. Resultados Obtidos

Para a CT – 1367, pertencente ao sistema reticulado da subestação de Santa Luzia, foram adquiridos e adaptados os sensores de temperatura (PT-100), ventilação (Hot Wire) e nível d’água (TSH/600M/P/06) apresentados na figura 1.



Figura 1. Sensores de temperatura, ventilação e nível d’água da CT 1367.

A figura 2 apresenta a instalação dos sensores de presença e de abertura de tampa e a figura 3 apresenta a instalação do sensor de ruído.



Figura 2. Sensores de presença e abertura de tampa da CT 1367.

A figura 4 ilustra uma visão da câmara com as bandejas de fiação que ligam os sensores à caixa de controle no interior da câmara e a figura 5 apresenta uma visão do interior da caixa de controle, com o computador instalado e a tela de captura de dados.

Projeto de P&D 0382 - 039 /2007 'Sistema de Previsão de Falhas em Redes Subterrâneas', desenvolvido pela Fundação Euclides da Cunha de Apoio Institucional à Universidade Federal Fluminense, UFF, com suporte financeiro de R\$ 388.240,00 da LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A.

1 'Fundação Euclides da Cunha 1' (rique@vm.uff.br; marcospequenus@yahoo.com.br; pablo@telecom.uff.br; rmr.rlk@terra.com.br; odairxavier@yahoo.com.br);

2 'Light Serviço de Eletricidade S. A. 2' (clayton.vabo@li-ght.com.br).



Figura 3. Sensor de ruído em um dos trafos da CT 1367.



Figura 4. Instalações da CT 1367.



Figura 5. Sistema de captura de dados

O *software* desenvolvido para monitorar os sinais vindos do sensor de ruídos é baseado numa rede neural linear conhecida como ADALINE, "Adaptive Linear Neuron Net-work", composta por apenas um neurônio com função de transferência linear e utiliza o método da média dos mínimos quadrados como regra de aprendizado.

A figura 6 mostra o gráfico de ruído com evento de amplitude. A mesma figura mostra a detecção dessa variação pela rede neural.

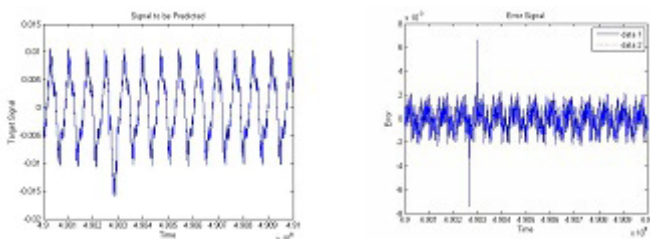


Figura 6. Evento de amplitude.

No caso de alteração de forma, mantendo-se a amplitude entre -0.01 e 0.01 DB, o resultado da detecção do erro é mostrado na figura 7. A figura 8 mostra o caso de mudança de amplitude e alteração de forma, para onda quadrada.

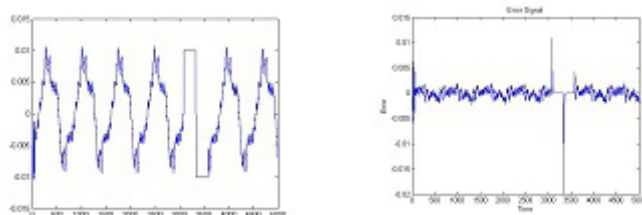


Figura 7. Evento de forma.

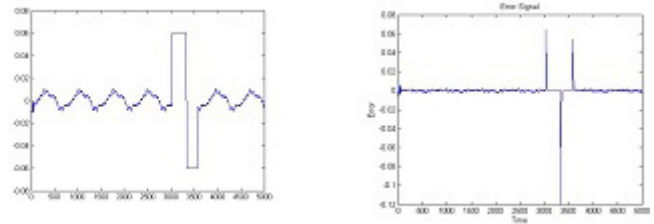


Figura 8. Evento de forma e amplitude.

Para variações de forma e valor aleatórias a detecção do erro é feita conforme mostrado na figura 9

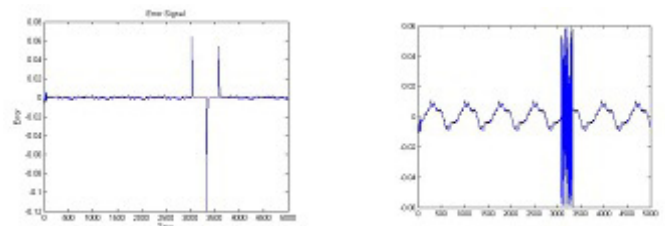


Figura 8. Evento aleatório.

Se no período amostrado não houver evento, os dados amostrados são automaticamente descartados. Os dados relevantes são armazenados em um computador remoto. Cada erro da rede tem uma assinatura que define o diagnóstico.

### C. Benefícios Auferidos

Os baixos custos auferidos foram os seguintes:

Mão de Obra: Instalação de cabos, fios, canaletas, montagem e adaptação de sensores, etc: R\$ 17.500,00.

Equipamentos: Sensores, concentrador, modem 3G, computador LG, etc: R\$ 22711,04.

Diversos (Passagens, refeições, miudezas): R\$ 1.500,00

Total, sem software: R\$ 41.711,04

Custo do Software de Captura: R\$ 13. 780,00;

Total sem software de diagnóstico: R\$ 55.491,04

Para equipar a câmara, supervisionando 16 pontos, sem considerar apenas o custo do software de diagnóstico dos ruídos, o valor total por ponto foi de R\$ 3.468,19.

### III. CONCLUSÕES

O protótipo do software desenvolvido mostrou-se eficiente no rastreamento de eventos. De acordo com a severidade do evento e se identificado como descarga parcial, o equipamento em questão é indicado a ser retirado para manutenção.

A comunicação 3G teve variação de desempenho entre operadoras e ficou evidente a necessidade de instalação de um software local que vigie a continuidade da comunicação, tipo "watchdog", que dispara um reset ao sistema se o programa principal, devido a alguma condição de erro, perder a comunicação.

A análise acústica provou ser eficiente na prevenção de defeitos,

abrindo caminho para análises futuras com ultrassom. Existe também a possibilidade de verificação de alguma correlação entre o gradiente térmico e a variação do som, como uma ferramenta poderosa de análise.

---

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HOEPPNER, C. H.; DORF, R. C. The Electrical Engineering Handbook - Telemetry. 2.ed. USA: CRC-Press, 2000. p. 1737-1748;
- [2] C UCEL. Transmissão de Dados <http://www.ucel.com.br/dados.asp>, 2006. Acesso em 19/05/2006;
- [3] W. Reder and D. Flaten. Reliability Centered Maintenance for Distribution Underground

- Systems. 1, 551-556. 2000. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting;
- [4] Y. Lu, X. Tan, and X. Hu, "PD detection and localization by acoustic measurements in an oil-filled transformer," IEE Proceedings on Science Measurement and Technology, vol. 147, no. 2, pp. 81-85, Mar. 2000;
- [5] R Heywood, J Lapworth, L Hall and Z Richardson "Transformer lifetime performance – managing the risks" IEE Proc Int Conf on Reliability of Transmission and Distribution Networks, pp309-313, February 2005;
- [6] B. Han, "Partial Discharge Monitoring of Power Transformers" PhD Thesis, University of Southampton, 2004;
- [7] J Fuhr, "Procedure for Identification and Localization of Dangerous PD Sources in Power Transformers" IEEE Trans DEIS, 12(5), p1005-1114, 2005.

# AMPLA

---

## Equipamento permite corte e religamento remotos de consumidores de média tensão

Para realizar corte e religamento remoto de energia de unidade consumidora do Grupo A (atendidos em tensão igual ou superior a 2,3 quilovolts), pesquisadores da AMPLA e do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) desenvolveram um sistema que permite a execução dessas operações. O procedimento atual dessas atividades tem alto custo de logística, pois o consumidor do Grupo A é alimentado por redes de distribuição de média tensão. Por essa razão, o corte demanda previamente o desligamento de um trecho da linha de distribuição e a criação de rotas alternativas. Com o sistema, é possível realizar essas ações pela comunicação com o centro de comunicação da concessionária ou pelo comando local da chave, por meio de um coletor de dados. O protótipo criado é constituído por uma caixa que acomoda os componentes necessários às operações de corte e religação. A caixa é protegida para evitar entrada de água, vandalismo ou intervenção sem autorização da distribuidora. Dentro dela foram incluídos, em compartimentos separados, uma bateria e os circuitos eletrônicos previamente montados. O protótipo foi testado em laboratório e depois instalado em unidade de consumo de média tensão. Os pesquisadores concluíram que o projeto apresenta custo reduzido, na comparação com o que existe no mercado e com todas as funções incluídas. O próximo passo é apresentação de novo projeto de P&D para geração e integração do protótipo e sua produção em larga escala.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Ampla Energia e Serviços S/A  
Título: Desenvolvimento de Sistema de Comando Remoto para Corte/Religamento de Consumidores Classe A  
Ciclo: 2006/2007  
Investimento: R\$ 923.340,00  
Execução: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)

# Desenvolvimento de Sistema de Comando Remoto para Corte/ Religamento de Consumidores Classe A

Carlos G. Bianchin, Andréia A. Barbiero, Ricardo M. Schmal, Luís F. Diniz

**Resumo** – O artigo apresenta os resultados do projeto de pesquisa e desenvolvimento de um sistema para corte e religamento de baixo custo para instalação em consumidores classe A, atendidos pela concessionária Ampla em média tensão (classe 15 kV). Também serão mostrados os fluxogramas do sistema desenvolvido e seus componentes eletrônicos. O sistema protótipo foi instalado em um consumidor e foram realizados testes de corte e religamento.

**Palavras-chave** – Automação, Comunicação, Média Tensão, Processamento Digital.

## I. INTRODUÇÃO

Os consumidores Classe A são alimentados por redes de distribuição de média tensão. A necessidade de corte de um destes consumidores demanda uma logística cara: desligar um trecho da linha de distribuição, criar rotas alternativas e, finalmente, fazer o corte. Para minimizar tarefas e planejamentos para corte ou religamento destes consumidores é que foi executado o projeto.

O objetivo foi o desenvolvimento de um sistema que permitisse o corte e religamento remoto do consumidor classe A, pela comunicação com centro de operação da concessionária ou, ainda remotamente, comandar a chave de forma local, através de um coletor de dados.

A metodologia do projeto "P&D-011/07-Sistema Remoto de Corte/Religamento de Consumidores Classe A" foi implementada de tal forma a estudar os mecanismos disponíveis no mercado, as tecnologias para comunicação e o desenvolvimento de um sistema que convergisse estes itens.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O projeto pode ser dividido em 4 seções:

### A. Estudo sobre as chaves para automação em média tensão

No tocante a chaves para sistemas de média tensão, elas podem ser divididas em 2 grupos (operação manual e operação automática) [1,2].

A operação manual de chaves serve principalmente para situações onde se pretende 2 objetivos: manutenção e corte de energia. Abaixo a figura 1 mostra um exemplo de chave com operação manual.



Figura 1. Cortesia S&C Electric do Brasil – Chave para abertura sob carga em rede de distribuição aérea.

Os detalhes desta chave são principalmente a corrente de abertura sob carga (900 Amperes) e abertura visível [3].

Algumas chaves do tipo manual possuem um sistema para ser integrado e torná-las automáticas.

Para automação de tais chaves trabalha-se com objetivos maiores, como ampliar a confiabilidade do sistema, melhorar a qualidade do serviço e aperfeiçoar os serviços de corte e religamento [4].

As chaves devem possuir sistema de comunicação remoto para realizar tal função. Esse sistema deve ser capaz de receber-emitir sinal tanto para comandar quanto para sinalizar se o sistema está ou não em operação, dependendo da ação iniciada [5].

### B. Especificação do sistema computacional e de comunicação

Segue abaixo, um diagrama de blocos do funcionamento do sistema.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL.

A equipe agradece ao suporte financeiro da Ampla Energia através do programa de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL.

Carlos G. Bianchin, Andréia A. Barbiero e Ricardo M. Schmal trabalham no 'LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento' (bianchin@lactec.org.br, andréia@lactec.org.br, ricardo.muzzolon@lactec.org.br).

Luís F. Diniz trabalha na 'AMPLA Energia e Serviços S. A.' (ldiniz@ampla.com).

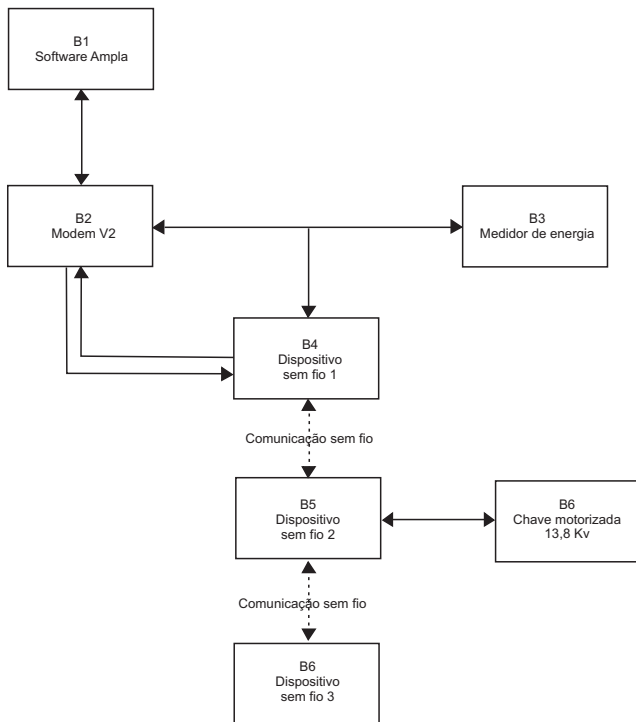


Figura 2. Diagrama operacional do sistema computacional desenvolvido.

No diagrama da Figura 2 o bloco B1 consiste no software de controle da concessionária.

O bloco B2 é responsável pela transmissão dos dados vindos de B1 para o restante do sistema. O software de B2, deve ser alterado para receber a solicitação de CORTE/RELIGA de B1 e disponibilizar, em um pino de saída (S1), o estado desejado da chave motorizada (B6).

Os dispositivos B4, B5, B6 e B7 foram desenvolvidos. O bloco B4 lê o pino de saída do modem B2 (S1) e envia a requisição para o módulo receptor B5. Este envio se dá via Bluetooth. Este meio de comunicação foi implementado em todos os coletores da Ampla (sistema de coleta de dados de leitura de energia elétrica).

### C. Descrição do hardware e software

O hardware e o software podem ser divididos em três blocos:

- dispositivo 1: ficará junto com o modem V2 e com o medidor, comunicando-se com o dispositivo 2.

Segue o diagrama de blocos (figura 3).

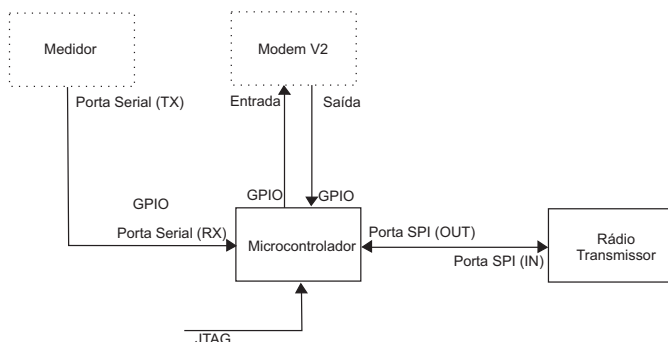


Figura 3. Diagrama em blocos do hardware (dispositivo 1).

- dispositivo 2: ficará junto da chave, e será responsável pela sua abertura e fechamento.

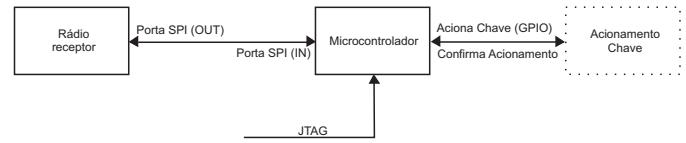


Figura 4. Diagrama em blocos do hardware (dispositivo 2).

- dispositivo 3: é portátil, responsável pela comunicação com o dispositivo 2. Foi desenvolvido um software que executa em um dispositivo móvel (coletor de dado - Palm-top *WorkAbout Pro*, da fabricante *Psion*).

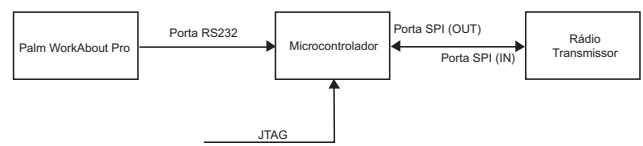


Figura 5. Diagrama em blocos do hardware (dispositivo 3).

### D. Descrição do firmware

O *Firmware* é composto de dois módulos: um que monitora constantemente o modem V2, que verifica o recebimento de um *bit* indicativo de requisição de acionamento da chave e das tensões e correntes vindas do medidor, e um módulo de comunicação por rádio, responsável pelo acionamento da chave via rádio.

A outra unidade constituinte do sistema deve monitorar o status e comandar a chave de média tensão para corte ou religamento do consumidor.

### III. TESTES COM O PROTÓTIPO

Uma vez montados, os circuitos eletrônicos, foi desenhada e fabricada uma caixa apropriada onde os componentes pudessem ser acondicionados com proteção contra entrada de água (figura 6).

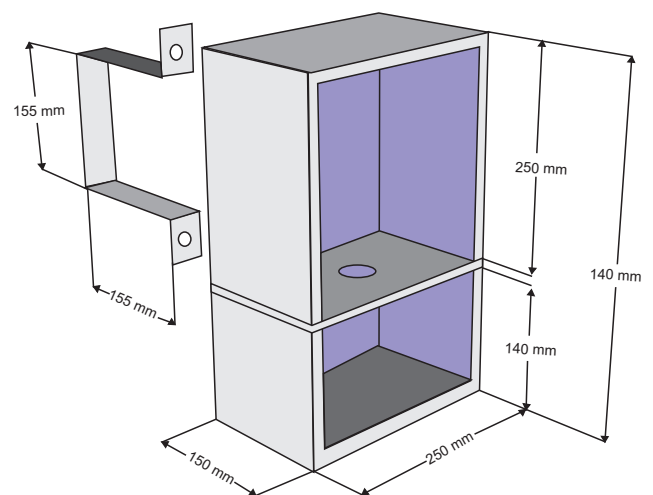


Figura 6. Caixa fabricada para acomodar os componentes do protótipo do sistema de automação da chave de média tensão.

O compartimento inferior foi dedicado à bateria de 24 V, 7 A.h. Os circuitos eletrônicos, bem como o conector para o comando da chave estão acomodados na parte superior da caixa.

A caixa foi desenvolvida de forma a reduzir a probabilidade de vandalismo ou intervenção sem autorização.

Após montado, o protótipo foi instalado junto à chave como mostrado na figura 7.



Figura 7. Protótipo instalado na chave tripolar de média tensão.

Ressalta-se que a indicação visual na cor vermelha ao lado do protótipo faz parte do sistema visual local da própria chave.

O protótipo também foi ensaiado em laboratório antes de seguir a campo para verificar as questões de isolamento e proteção do circuito eletrônico contra o campo elétrico de média tensão.

A figura 8 mostra o protótipo instalado em um consumidor atendido em média tensão.



Figura 8. Protótipo instalado em consumidor.

#### IV. CONCLUSÕES

Este artigo mostrou o desenvolvimento de um sistema para automação de chaves de MT para instalação em consumidores.

Como resultado, o produto obtido ao final do projeto apresenta custo reduzido, frente ao existente no mercado e também com todas as funções incluídas.

Em termos de aplicação dentro da concessionária, a Ampla informou que outra área também identificou potencial no segmento de seccionização de trechos de alimentadores de média tensão.

A proposta futura de trabalho é de apresentar novo projeto de pesquisa e desenvolvimento, para a integração do protótipo para produção em larga escala.

#### V. AGRADECIMENTOS

A equipe de pesquisa e desenvolvimento deste trabalho agradece a oportunidade, oferecida pela Ampla Energia S.A., nas pessoas do gerente do projeto Luís Felipe Diniz, assim como Maria Beatriz Medeiros da gestão do P&D.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. A. Momoh, *Electric Power Distribution, Automation, Protection and Control*, CRC Press, 2008, p. 1.
- [2] T. E. Browne Jr., *Circuit Interruption – Theory and Techniques*, 10th ed., Ed. New York: Marcel Dekker Inc., 1984.
- [3] "S&C Scada-Mate CX Switching System", S&C Electric Company, Chicago, IL, Relatório Técnico 768-34.
- [4] H. Saadat, *Power System Analysis*, 2nd ed., McGraw-Hill Companies, 2002.
- [5] J. Northcote-Green, R. Wilson, *Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems*, 10th ed., CRC Press, 2007.



# CELPE

---

## Sistema inteligente diagnostica falha em transformador pela análise de óleo isolante

A Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) desenvolveram projeto para auxiliar a tomada de decisão sobre a realização de manutenção preditiva nos transformadores de potência. Este equipamento possui um sistema de isolamento que é composto de óleos isolantes, os quais, submetidos ao estresse operacional, acabam por emitir gases. A análise dessas emissões pode indicar o estado do transformador e a necessidade de manutenção do equipamento. Como resultado do projeto da CELPE foi desenvolvido um *software* capaz de armazenar laudos de concentrações gasosas que permitem diagnosticar falhas incipientes pela análise cromatográfica dos óleos isolantes. A decisão de fazer manutenção em transformadores é importante porque evita a falha nesses equipamentos, aumentando sua vida útil, e diminuindo o tempo e a frequência de falta de energia a ser fornecida aos usuários. As concentrações de hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, metano, acetileno, etano, etileno, monóxido e dióxido de carbono podem determinar o estado operacional do equipamento. O *software* desenvolvido pelos pesquisadores usa um sistema de inteligência artificial para interpretar os dados colhidos na análise cromatográfica e diagnosticar o problema. A solução, denominada Sistema Inteligente de Manutenção Preditiva de Transformadores de Potência (Pedritrafo), encontra-se atualmente em uso pela CELPE e tem demonstrado ser adequada para o acompanhamento de óleos isolantes nos transformadores, tornando-se uma ferramenta auxiliar importante na tomada de decisão sobre a necessidade ou não da manutenção preditiva, realizada por meio do acompanhamento periódico dos equipamentos a partir de dados coletados pelo monitoramento ou inspeção em campo.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: Companhia Energética de Pernambuco (CELPE)  
Título: Sistema Inteligente de Manutenção Preditiva de Transformadores de Potência (Pedritrafo)  
Ciclos: 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008  
Investimento: R\$ 438.419,40  
Execução: Universidade Federal de Pernambuco

# Sistema Inteligente de Manutenção Preditiva de e Transformadores de Potência - PREDITRAFO

Agnaldo M. S. Silva<sup>1</sup>, Milde M. S. Lira<sup>1</sup>, Ronaldo R. B. Aquino<sup>1</sup>, Viviane K. Asfora<sup>1</sup> e Helde-marcio F. Leite<sup>2</sup>

**Resumo** – Este artigo descreve o produto final de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), desenvolvido pela equipe do Laboratório Digital de Sistema de Potência (LDSP) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Este projeto de P&D resultou em um *software* que está sendo utilizado para diagnosticar falhas incipientes em transformadores de potência pela análise cromatográfica dos óleos isolantes e recebeu o nome PREDITRAFO. Com um indicador, o PREDITRAFO irá prestar auxílio aos engenheiros na tomada de decisão da realização ou não da manutenção em um dado transformador. O *software* faz uso das normas ROGERS e IEC 599, e a partir delas utiliza a lógica *fuzzy* para diagnosticar os prováveis defeitos que podem está ocorrendo num determinado transformador. Como principal contribuição deste *software*, destaca-se a indicação de uma ou mais falhas incipientes, mesmo quando a relação dos gases através das normas nada indique.

**Palavras-chave** – Falhas Incipientes, Lógica *Fuzzy*, Óleo Isolante, Transformadores de Potência.

## I. INTRODUÇÃO

Um transformador em operação está sujeito aos estresses térmicos e elétricos, os quais podem destruir o material isolante, liberando assim produtos gasosos. Os gases de acordo com a análise cromatográfica do óleo isolante contêm concentrações (PPM por volume) de hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, metano, acetileno, etano, etileno, monóxido de carbono e dióxido de carbono. A análise dos gases dissolvidos em óleo – DGA (Dissolved Gas Analysis) – pode determinar a condição dos transformadores a partir da razão específica de gases.

Com base no exposto foi desenvolvido um *software*, denominado de PREDITRAFO, capaz de armazenar os laudos fornecidos pelas empresas contratadas pela CELPE e a partir das concentrações gasosas fornecidas nestes laudos, estimar falhas incipientes no transformador.

## II. DIAGNÓSTICO DE FALHAS

Existem muitos métodos de interpretação baseados na técnica DGA para diagnosticar a natureza da deterioração do transformador [1]-[2]. Esses métodos são praticados pela maioria das empresas do setor elétrico e fabricantes de equipamentos, sendo de conhecimento comum e de validade comprovada em todo o mundo. Caracterizados por experiências, muitas vezes empíricas, estes métodos associam as formações de alguns gases-chave ao principal gás gerado, além de associar o tipo de falha incipiente às relações de gases combustíveis distribuídas em faixas de valores. Cada faixa é associada a um código numérico e cada código indica diferentes tipos de problemas internos.

As relações gasosas pelos métodos ROGERS [1] e IEC [2] não são válidas para todas as possíveis combinações de concentrações gasosas e, em muitos casos, nem se quer acusam um diagnóstico.

## III. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: LÓGICA FUZZY

A utilização de lógica *fuzzy* na indicação do tipo de falha incipiente em transformadores de potência a partir da DGA foi estudada por outros autores citados em [3] e mostrou-se promissora.

O sistema de inferência FUZZY implementado e a razão da escolha dos tipos das funções de pertinências mostradas na Figura 1 encontram-se descritos detalhadamente em [3].

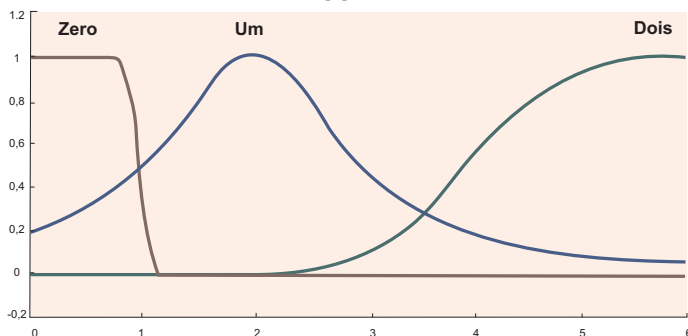


Figura 1. As três funções membro da relação gasosa C2H4/C2H6.

As funções de pertinência para cada provável defeito indicam a probabilidade de um defeito estar relacionado ao transformador, como segue:

$$F(0) = R_{1, \text{Zero}} + R_{2, \text{Zero}} + R_{3, \text{Zero}} \quad (0)$$

$$F(1) = R_{1, \text{Zero}} + R_{2, \text{Zero}} + R_{3, \text{Zero}} \quad (1)$$

$$F(2) = R_{1, \text{Zero}} + R_{2, \text{Zero}} + R_{3, \text{Zero}} \quad (2)$$

$$F(3) = R_{1, \text{Zero}} + R_{2, \text{Zero}} + R_{3, \text{Zero}} \quad (3)$$

$$F(4) = R_{1, \text{Zero}} + R_{2, \text{Zero}} + R_{3, \text{Zero}} \quad (4)$$

$$F(5) = R_{1, \text{Zero}} + R_{2, \text{Zero}} + R_{3, \text{Zero}} \quad (5)$$

$$F(6) = \text{máximo}((R_{1, \text{um}} + R_{2, \text{Zero}} + R_{3, \text{um}}) \text{ ou } (R_{1, \text{dois}} + R_{2, \text{Zero}} + R_{3, \text{dois}})) \quad (7)$$

$$F(7) = R_{1, \text{um}} + R_{2, \text{Zero}} + R_{3, \text{dois}} \quad (8)$$

$$F(8) = R_{1, \text{um}} + R_{2, \text{um}} + R_{3, \text{Zero}} \quad (9)$$

onde, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> e R<sub>3</sub> indicam as razões dos gases C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> e C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> respectivamente; R<sub>nMem</sub> indica a fuzzificação da relação R<sub>n</sub> na função membro "Zero", "Um" ou "Dois", e.g., R<sub>1,Zero</sub> indica a fuzzificação da relação R<sub>1</sub> na função membro "Zero". O resultado final é a soma dos valores de pertinência de cada função-membro referente à relação gasosa de cada defeito.

Informações sobre o Projeto de P&D: título "Sistema Inteligente de Manutenção Preditiva de Transformadores de Potência"; código ANEEL: 0043-013/2006; CELPE; entidade executora: UFPE; 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008; R\$438.419,40.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (e-mails: agnaldomagnum@yahoo.com.br; milde@ufpe.br; rrb@ufpe; vi-khoury@hotmail.com).

<sup>2</sup> CELPE (e-mail: heldemarcio@celpe.com.br).



#### IV. RESULTADOS

A partir das relações gases contidos na análise cromato-gráfica do óleo isolante de um transformador de potência, a lógica fuzzy fornece um diagnóstico compatível com os das normas IEC e ROGERS. Os diagnósticos, cujos limites de concentração dos gases não possuem tabelamento através destas normas, são aproximados para um ou mais diagnósticos tabelados, já que podem existir falhas simultâneas ocorrendo no transformador.

As Tabelas I e II apresentam a quantidade de erros com a aplicação do SIF quando avaliada pelas normas IEC e Rogers respectivamente.

Diante destes resultados, pode-se observar que, tomando como critério de validação os laudos fornecidos pelas normas, a ferramenta desenvolvida foi capaz de acertar todos os casos. Além disso, o sistema também foi capaz de fornecer laudos onde as normas não forneciam quaisquer diagnósticos. A qualidade do SIF é de extrema importância, pois substitui a falta de informação por um provável diagnóstico e sua probabilidade de ocorrência.

Tabela I. Resultados pela norma IEC

Diagnóstico pela norma IEC	Total de amostras	Erro Percentual do FIS (%)
Sem falha	573	0,00
Defeito térmico de baixa temperatura	436	0,00
Descargas parciais de pequena densidade de energia	237	0,00
Defeito térmico de baixa temperatura	815	0,00
Defeito térmico de média temperatura	208	0,00
Defeito térmico de alta temperatura	232	0,00
Descarga de energia reduzida	143	0,00
Descarga de alta energia	9	0,00
Descarga parciais de alta densidade de energia	144	0,00

A fim de mostrar o desempenho do FIS, foi realizado o acompanhamento dos diagnósticos DGA para um caso real de um transformador de potência de 69kV/15MVA, fabricado pela ITEL em 1977, alocado na subestação da Ilha do Retiro/PE.

Tabela II. Resultados pela norma ROGERS

Diagnóstico pela norma ROGERS	Total de amostras	Erro Percentual do FIS (%)
Normal	200	0,00
Descargas parciais - corona	98	0,00
Descargas parciais - corona	15	0,00
Descargas parciais - corona envolvendo o papel	89	0,00
Descarga continua	89	0,00
Arco com alta energia	13	0,00
Arco com baixa energia	285	0,00
Sobreaquecimento (<150°C)	352	0,00

Diagnóstico pela norma ROGERS	Total de amostras	Erro Percentual do FIS (%)
Sobreaquecimento (150°C a 200°C)	352	0,00
Sobreaquecimento (200°C a 300°C)	371	0,00
Sobreaquecimento dos condutores	276	0,00
Corrente de circulação no enrolamento	131	0,00
Corrente de circulação no núcleo do tanque, sobreaquecimento em conexões	138	0,00

Inicialmente, a análise cromatográfica do óleo pela norma IEC não era conclusiva sobre um possível defeito no transformador. Entretanto, o SIF desenvolvido sempre acusava o defeito com maior probabilidade de estar ocorrendo. A cada ano, era realizada a análise cromatográfica e apenas após seis anos o laudo foi decisivo, indicando uma descarga parcial de pequena densidade de energia, falha acusada pela SIF desde a primeira amostra.

#### V. CONCLUSÕES

O PREDITRAFO encontra-se atualmente em uso pela Celpe e tem sido de grande utilidade no acompanhamento do óleo isolante dos transformadores de potência, sendo, principalmente, uma ferramenta auxiliar na tomada de decisão de uma manutenção preditiva.

Com a utilização do PREDITRAFO foi possível modificar o antigo sistema de armazenamento de laudos enviados pelas empresas contratadas pela Celpe para realizar a DGA (análise dos gases dissolvidos).

Os resultados encontrados mostram que o PREDITRAFO é uma poderosa ferramenta na tarefa de diagnosticar tipos de falhas incipientes em um transformador de potência.

Uma das funcionalidades deste sistema a ser destacada é a possibilidade de se obter um possível diagnóstico para os laudos cuja razão dos gases não encontra tabelamento pelas normas. A informação de um possível diagnóstico ajudará na tomada de decisão da equipe responsável pela manutenção.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE Guide for the detection and determination of generated gases in oil-immersed transformers and their relation to the serviceability of the equipments, IEEE Standard C57.104-1978, Oct. 1978.
- [2] CEI - IEC Guide for Interpretation the analysis of gases in transformer and other oil-filled impregnated Electrical Equipment in Service, CEI - IEC - 60599-1978, First Edition, 1978.
- [3] R. B. Aquino, M. M. S. Lira, T. Figueiras, H. L. Ferreira, O. Nóbrega Neto, A. M. S. Silva and V. K. Asfora, "A fuzzy System for Detection of Incipient Fault in Power Transformers Base on Gas-in-Oil Analysis," apresentado na IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Barcelona, Espanha, 2010.

# CELPE

---

## Ultrassom, raio X e termovisão auxiliam avaliação de isoladores poliméricos

Com os objetivos de estudar a degradação dos isoladores poliméricos de linha por métodos não invasivos, tais como raios X, termovisão e ultrassonografia, foi desenvolvido o trabalho de técnicos da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Foi comparada a degradação desses equipamentos em diversos ambientes: região litorânea, sertão e em laboratório. A pesquisa permitiu enumerar requisitos funcionais e de desempenho para os isoladores, elaborar suas especificações, determinar rotinas de inspeção, de substituição e de novas implantações. Para desenvolver o estudo, os pesquisadores retiraram amostras dos isoladores e as encaminharam para laboratório, onde foram submetidas a um processo de envelhecimento acelerado. Posteriormente, realizaram-se ensaios elétricos de alta tensão para avaliação de variações em propriedades mecânicas e físico-químicas. Efetivaram-se, também, medições de corrente de fuga em campo com várias condições climáticas (litoral e sertão) e em laboratório. Posteriormente, foram realizadas inspeções com câmeras infravermelhas e de ultravioleta para observação durante as inspeções. Os resultados obtidos apontaram para a dependência das intensidades das correntes dos isoladores em relação aos níveis de salinidade e de umidade de cada ambiente. As inspeções com ultravioleta e termovisor mostraram pontos de aquecimento junto a descargas superficiais, o que indicou correlação com as medições de corrente de fuga. De acordo com os pesquisadores, isso pode sinalizar que esses métodos também poderiam ser utilizados para detecção de isoladores degradados. Os pesquisadores concluíram que o projeto contribuiu para os estudos sobre o desenvolvimento de um meio eficaz de avaliar a condição de isoladores poliméricos e para revisão dos requisitos de desempenho das especificações dos equipamentos.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Companhia Energética de Pernambuco (CELPE)

Título: Estudo para Avaliação da Degradação de Vida Útil de Isoladores Poliméricos através de Sensor por Corrente de Fuga, Técnicas não-Invasivas e Experimentação Laboratorial

Ciclo: 2205/2006 e 2006/2007

Investimento: R\$ 822.718,03

Execução: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)



# Estudo para Avaliação da Degradação de Vida Útil de Isoladores Poliméricos através de Sensor por Corrente de Fuga, Técnicas não Invasivas e Experimentação Laboratorial

Aldo M. Formiga 1, Anapaula N. Ferreira 1, Carlos A. O. Campos 1, Phillip L. Mendonça 1, Flávio E. Nallin 2, Joceli M. G. Angelini 2, Edson G. Costa 3, Tarso V. Ferreira 3 e Armando H. Shinohara 4

**Resumo** - O objetivo deste trabalho é mostrar os resultados obtidos nos vários estudos para a avaliação da degradação de isoladores, para-raios, espaçadores e laços de amarração poliméricos da rede de distribuição da CELPE. A avaliação da degradação foi realizada por meio de sensores por corrente de fuga e técnicas não invasivas como raios X, termovisão e ultra-violeta. A degradação natural (em campo, no ambiente de proximidade do mar e sertão) foi comparada com a experimental (acelerada em laboratório, por variações em propriedades físicas, elétricas, químicas).

**Palavras-chave** - Produtos poliméricos, Requisitos de desempenho, Sensor de corrente de fuga, Termovisão, Ultravioleta.

## I. INTRODUÇÃO

O projeto de pesquisa e desenvolvimento teve como proponente a CELPE e como executoras o CPqD, a UFCG e a UFPE. Os objetivos do projeto foram: 1) Avaliar a degradação de isoladores poliméricos em campo por meio de sensores por corrente de fuga e técnicas não invasivas como raios X, termovisão e ultrassonografia. 2) Comparar a degradação natural, em campo, nos ambientes marítimo e sertão, com a experimental, acelerada em laboratório, por variações em propriedades físicas, elétricas, químicas. 3) Levantar requisitos funcionais e de desempenho otimizados para os produtos e elaborar suas especificações. 4) Determinar as rotinas de inspeção, de substituição e novas implantações, e ajudar na elaboração de procedimentos. A- Geração de renda e aumento da capacidade de pagamento.

## II. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Inicialmente, as amostras retiradas da CELPE foram encaminhadas para os laboratórios da UFGG, UFPE e CPqD.

Os ensaios de envelhecimentos acelerados foram realizados por seis meses (junho a dezembro de 2008), em diferentes câmaras no CPqD, após isto, foram enviadas para a UFCG, para ensaios elétricos de alta tensão, e retornaram aos laboratórios do CPqD, para avaliações de variações em propriedades mecânicas e físico-químicas.

### A. Amostras e Ensaios Realizados

Os seguintes produtos foram estudados: isoladores tipo pino poliméricos 15 kV, de PEAD; isoladores tipo bastão 15 kV, de silicone; pára-raios RD 12 kV 10 kA, de silicone; espaçadores losangulares 15 kV, de PEAD; laços pré-formados de topo e laterais, de PVC. As amostras foram também envelhecidas em névoa

salina mais tensão elétrica, no Laboratório de Alta Tensão da UFCG e acompanhadas as variações em diversas propriedades elétricas. Foram ensaiados isoladores 69 kV após 8 anos em campo na orla marítima. Também houve análise de falha de isolador retirado com falhas do sertão.

## III. RESULTADOS

Os resultados dos inúmeros ensaios em campo e em laboratório serão apresentados aqui de forma compacta ou resumida. Detalhes dos procedimentos, resultados e conclusões podem ser obtidos nas referências [1], [2], [3] e [4].

### A. Ensaios Físico-Químicos e Mecânicos para Acompanhar Degradações Aceleradas.

A Figura 1 ilustra o rompimento na interface polímero metal e revela a falta de aderência entre ferragem, bastão de fibra de vidro e revestimento polimérico, evidenciando a não integridade do produto.

Para espaçadores, o ensaio de tração foi realizado de acordo com a Especificação CODI-3.2.18.24.1- "Espaçadores e Amarrações para Rede Compacta 13,8 e 34,5kV". Os valores encontrados para todos os espaçadores estão bem abaixo do especificado, 4500 N.

### FTIR/MO

Os espectrogramas obtidos por Espectrofotometria Infravermelho com Transformada de Fourier e Microscopia óptica acoplada (FTIR/MO) são apresentados em [2] e [3]. Pelos espectrogramas, podem-se identificar os polímeros e as suas alterações ocorridas durante os ensaios de envelhecimentos acelerados.



Figura 1. Amostra de isolador tipo bastão de silicone após 6 meses de envelhecimento acelerado a 120°C, após tração.

### DSC

Os termogramas por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), modo isotérmico, para determinação de Tempo de Indução Oxidativa (OIT) para espaçadores foram obtidos. Para as amostras novas e enve-

Informações sobre o Projeto de P&D: título 'Estudo para Avaliação da Degradação de Vida Útil de Isoladores Poliméricos Através de Sensor por Corrente de Fuga, Técnicas não Invasivas e Experimentação Laboratorial', código ANEEL: 0043-006/2006; CELPE; entidades executoras: CPqD e UFCG; 2005/2006 e 2006/2007; R\$822.718,03

1 Companhia Energética de Pernambuco (e-mails: aldoformiga@celpe.com.br, anapaula@celpe.com.br; ccampos@celpe.com.br; phillip@celpe.com.br).

2 CPqD (e-mails: nallin@cpqd.com.br).

3 UFCG (e-mails: edson@dee.ufcg.edu.br, tarsoville-la@yahoo.com.br).

4 UFPE (e-mail: shinohara@ufpe.br).

lhecidas artificialmente, os OIT encontrados foram maiores que 60 minutos, indicando estabilização contra foto e termodegradação [3].

### B. Análise Elétrica - Sensores em Campo para Isoladores 69kV

Medições de corrente de fuga em campo e em laboratório foram realizadas. Inspeções com câmeras infravermelho e de ultravioleta foram feitas. Descargas superficiais e pontos quentes foram observados nas inspeções. Correntes de fugas em várias condições climáticas foram realizadas. Os resultados apontam para a dependência das intensidades das correntes de seus picos com os níveis de salinidade e de umidade.

A Figura 2 ilustra a instalação dos sensores de corrente de fuga nos isoladores 69 kV de EPDM em linhas da CELPE no litoral do estado de Pernambuco. Ensaios preliminares apontam para que o valor de 4 mA seja um limiar de corrente de fuga para indicar ponto de lavagem.

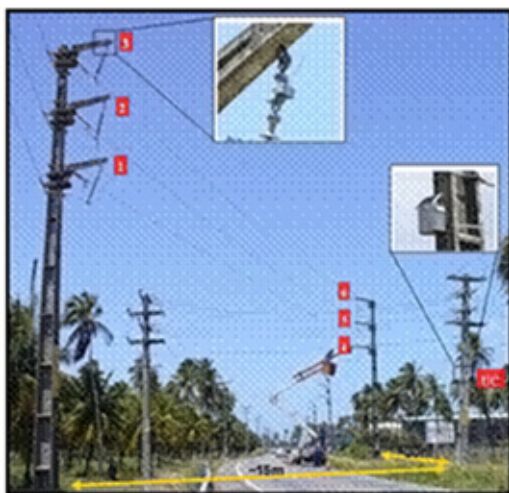


Figura 2. Ilustração da instalação dos sensores de corrente de fuga nos isoladores 69 kV de EPDM, em 04/09/2009.

As inspeções com ultravioleta e termovisor mostram coerência com as medições de corrente de fuga, ou seja, pontos de aquecimento junto às descargas superficiais indicando que esses métodos também poderiam ser utilizados para detecção de isoladores degradados.

### C. Especificações CELPE com Sugestões de Requisitos de Desempenho.

A Figura 3 ilustra processos e a integridade para um sistema de distribuição e transmissão de energia elétrica.

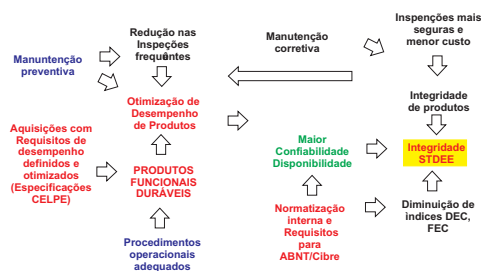


Figura 3. Processos e Integridade do Sistema de Distribuição e Transmissão.

## IV. CONCLUSÕES

“O desenvolvimento de um meio eficaz para avaliar a condição de isoladores poliméricos de linha é um desafio que a indústria enfrenta como, também, o desenvolvimento de um ensaio de rotina para garantir a ligação do revestimento ao núcleo de fibra de vidro durante a moldagem por injeção, a uniformidade das propriedades da borracha na injeção, e o desenvolvimento de um método para testar danos ao núcleo da fibra de vidro durante a estampagem do revestimento”[5].

Este projeto de P&D vem contribuir para os estudos sobre desenvolvimento de um meio eficaz de avaliar a condição de isoladores poliméricos de linha e também para a revisão dos requisitos de desempenho das cinco especificações de produtos poliméricos da CELPE, da ABNT e do Cigré, recomendando ou exigindo dos fornecedores produtos com uma maior vida útil e mantendo sua funcionalidade.

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. G. Costa, T. V. Ferreira, J. M. G. Angelini, A. H. Shinohara, P. L. Mendonça, “Effects of artificial aging on polymeric spacers”, ISH 2009.
- [2] P. L. Mendonça, E.G. Costa, T. V. Ferreira, J. M. G. Angelini, A.H. Shinohara, “Studies in polymeric insulators, surge arresters and spacers of CELPE electricity distribution lines”, CCIE 2008.
- [3] T.V. Ferreira, E.G. Costa, J. M. G. Angelini, A. H. Shinohara, P.L. Mendonça, “Deterioration of polymeric insulators using exclusive agents”, CIRED2009.
- [4] Gernamo A. D. ; Ferreira, T. V. ; Costa, E. G. ; Angelini, J. M. G., Mendonça, P. L., Isoladores Poliméricos Envelhecidos Naturalmente: Lavagens e suas Consequências. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2010, Belém PA.
- [5] E. Cherney, “Nonceramic line insulators-Concerns and Challenges”, Palestra conferida no SBSE 2008.

# CELPE

---

## Inteligência artificial ajuda combater as perdas não técnicas de energia

Um *software* que utiliza sistema de rede neural artificial (inteligência artificial) para identificar perdas comerciais e, dessa forma, ajudar a orientar e planejar ações de inspeção *in loco* é o resultado do projeto desenvolvido pela Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e pesquisadores da Universidade Federal Fluminense (UFF) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Inicialmente, foram formados *clusters* (grupos) de consumidores com características semelhantes de carga, ligados a um determinado transformador. Em seguida, foi realizada uma Pesquisa Social de Posses e Hábitos de Consumo (PSPH), utilizada para calcular as curvas de carga estimadas para cada agrupamento e para alimentar o *software* com informações. Dessa forma, a diferença entre os valores estimados pela ferramenta para cada transformador e aquele efetivamente medido resulta na perda comercial calculada pelo sistema. De posse dessas informações, instaura-se um procedimento de três etapas: tratamento de eventuais erros de cadastro, correção desses desvios e instalação de medidores comparativos na rede de baixa tensão onde a curva de carga corrigida for muito diferente da estimada ou apresentar oscilações em relação à curva projetada. Essas discrepâncias ocorrerão, entre outros motivos, por conta de erros no processo de faturamento, furto de energia ou ligações clandestinas ou irregulares. Durante a pesquisa, foram medidos 30 transformadores, o que resultou na indicação de 170 unidades consumidoras para inspeção, dos quais 15 consumidores comerciais, 133 residenciais e 32 de baixa renda. Em 57% dos casos de unidades consumidoras de baixa renda, a situação estava normal e, no restante, havia algum tipo de problema relacionado à perda. Dentre os consumidores residenciais, o comportamento normal foi verificado em 56% dos casos. Os pesquisadores chegaram à conclusão que o método proposto serve para indicar os transformadores que precisam ser inspecionados, o que reduz o custo elevado de verificar todos ou de se instalar medidores comparativos ao longo de todo o sistema.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: Companhia Energética de Pernambuco (CELPE)

Título: Prospecção de Fraudes e Identificação de Ações de Combate a Perdas Comerciais

Ciclos: 2005/2006 e 2007/2008

Investimento: R\$ 367.845,28

Execução: Universidade Federal Fluminense (UFF) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

# Prospecção de Fraudes e Identificação de Ações de Combate a Perdas Comerciais

Fábio B. Ribeiro<sup>1</sup>, José A. Lopes<sup>1</sup>, Wladimir L. de Moura<sup>1</sup>, Henrique de O. Henriques<sup>2</sup>, Otávio M. Junior<sup>2</sup>, Heraldo L. S. de Almeida<sup>3</sup> e Felipe B. Carregosa<sup>3</sup>

**Resumo** – Este projeto propõe uma metodologia de inspeção de redes direcionada por medições em pontos estratégicos. A perda comercial é detectada pela diferença entre a leitura da demanda fornecida na saída do alimentador e o somatório das cargas dos transformadores de distribuição, somadas às perdas ôhmicas. A origem da perda comercial é estimada resolvendo-se um sistema linear fuzzy, que calcula a correção de demanda horária dos transformadores e Unidade Consumidora (UC) de distribuição. Os transformadores e UC com valores maiores de correção são selecionados para inspeção local.

**Palavras-chave** – Curvas de carga, fraudes, inspeções inteligentes e lógica fuzzy.

## I. INTRODUÇÃO

O processo ideal para estimar a energia consumida visando à identificação das perdas comerciais seria instalar medidores comparativos ao longo de todo o sistema. Entretanto, o custo desse procedimento é elevado, pois seria necessária uma quantidade muito grande desses medidores.

O principal produto desse trabalho é um software que está sendo utilizado na CELPE para orientar e planejar inspeções mais efetivas.

## II. METODOLOGIA

### A. Informações Necessárias

- dados cadastrais dos clientes;
- informações de conexão à rede elétrica;
- resultados da pesquisa social de posses e hábitos;
- tabelas de consumo típico de aparelhos elétricos [1];
- curvas de carga obtidas na campanha de medidas.

### B. Formação de Clusters por Rede Neural Artificial

A formação de clusters tem por objetivo agrupar consumidores que presumivelmente possuam hábitos de consumo semelhantes.

As informações cadastrais dos clientes foram codificadas e agrupadas por meio de uma rede neural artificial competitiva do tipo Mapa de Kohonen [2].

### C. Estimativa Inicial das Curvas de Carga Fuzzy

Inicialmente, foram calculadas curvas de carga para cada tipologia, obtidas de uma campanha de medidas. A Figura 1 mostra uma dessas curvas.

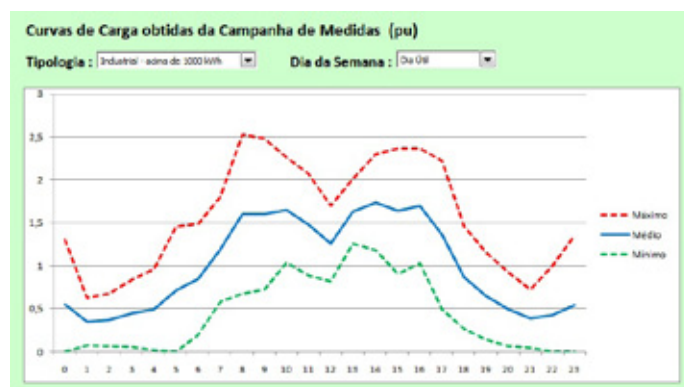


Figura 1. Curva de carga presumida para uma tipologia de cliente

Em seguida, foi realizada uma Pesquisa Social de Posses e Hábitos de Consumo (PSPH), com base na qual foram calculadas curvas de carga estimadas para cada cluster, como ilustrado na Figura 2.

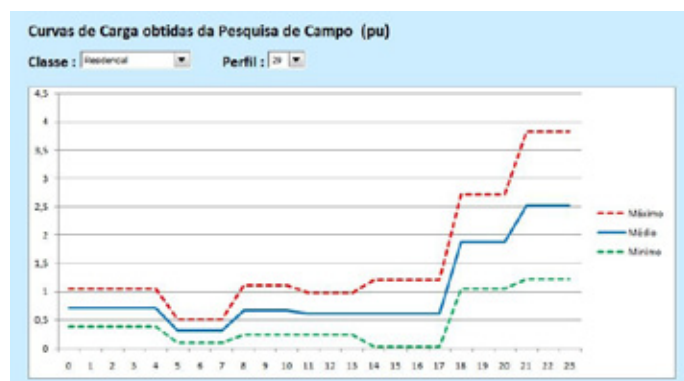


Figura 2. Curva de carga presumida para um cluster de clientes residenciais

As curvas de carga estimadas para cada cliente são calculadas a partir de uma composição da curva de carga presumida para o cluster em que o cliente foi classificado e da curva de carga presumida para a tipologia na qual o cliente se enquadra. O valor da curva em cada hora é um valor fuzzy [3] representado pelos quatro parâmetros a, b, c e d que delimitam o trapézio ilustrado na Figura 3.

A Figura 4 mostra a curva de carga fuzzy agregada correspondente ao transformador T25365 do alimentador 01C3 da subestação Pau Amarelo.

Título: "Prospecção de Fraudes e Identificação de Ações de Combate a Perdas Comerciais"; código ANEEL: 0043-010/2006. CELPE. Executora: UFF. Ciclo 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008. R\$ 367.845,28.

1 CELPE (e-mails: jose.lopes, fabiobarros, wladimir@celpe.com.br)

2 UFF (e-mails: rique@vm.uff.br, omagalhaesjr@gmail.com)

3 UFRJ (e-mails: heraldo@ufrj.br, felipecarregosa@gmail.com)



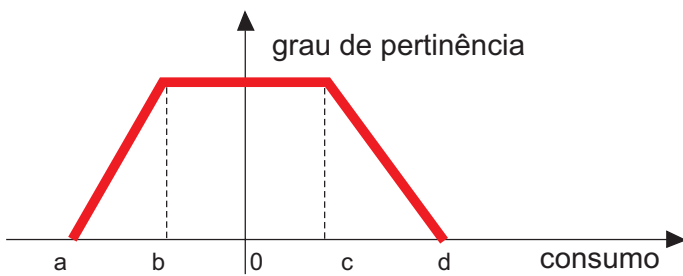


Figura 3. Representação trapezoidal dos valores fuzzy de consumo

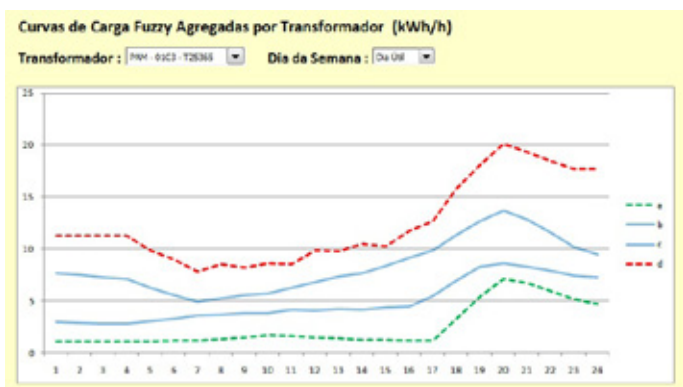


Figura 4. Curva de carga agregada por trafo

#### D. Correção das Curvas de Carga por Estimação Fuzzy

A diferença horária *fuzzy* entre o valor medido na subestação e o somatório dos valores estimados para cada transformador é a perda comercial *fuzzy*. Essa perda precisa ser alocada entre os trafos. O problema, ilustrado pela Figura 5 a seguir, consiste em determinar a demanda de cada transformador de distribuição alimentado por um circuito primário, baseando-se nas estimativas iniciais  $P_i^c$ ,  $i=1,2,\dots,n$ , em função do consumo e dos limites inferior e superior  $C_i^m$  e  $C_i^M$ ,  $i=1,2,\dots,n$ , determinados por curvas típicas e na leitura da saída do circuito.

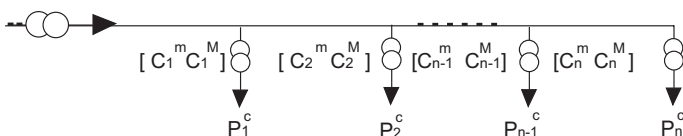


Figura 5. Circuito radial típico

As correções  $P_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$ , são obtidas resolvendo-se um problema de programação linear por meio do algoritmo Simplex [4].

#### E. Processo Iterativo de Localização de Medidores

Os medidores devem ser colocados prioritariamente nos locais onde a curva de carga corrigida tiver forma muito diferente da estimada, ou apresentar oscilações em relação à curva estimada. Este critério é explicado pela premissa de que tais discrepâncias só ocorrerão em situações especiais, tais como informação desatualizada de conexão dos clientes aos trafos, manobras no alimentador, erros no processo de faturamento, furto de energia, ligações clandestinas, ou ligações irregulares.

#### F. Operacionalização do Processo

O processo é implantado em três etapas. A primeira consiste no tratamento de erros de cadastro e solução do sistema linear fuzzy para áreas que possuem medidor. A segunda consiste na solução do sistema linear fuzzy para os demais trafos sem medidores instalados, considerando as correções efetuadas na primeira etapa. Na terceira etapa, são instalados medidores na rede de baixa tensão dos trafos selecionados na segunda etapa, visando a seleção dos clientes a serem inspecionados.

A Figura 6 mostra um exemplo de erro de vinculação, pois a curva corrigida (azul) cruza duas vezes a curva estimada (verde), o que se reflete na inversão do sentido das barras azuis (diferença entre valor estimado e corrigido).

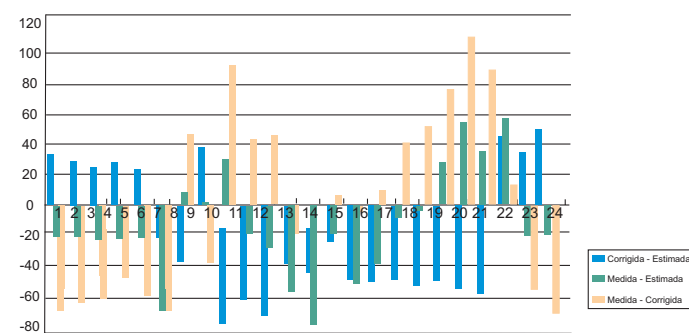
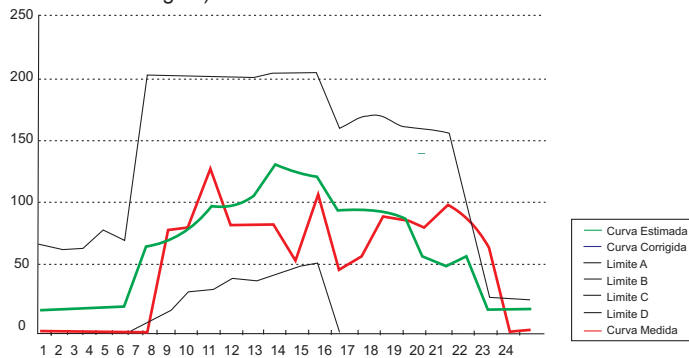


Figura 6. Análise das diferenças entre as curvas

Seja  $X$  a diferença entre os valores corrigidos e estimados e  $Y$  a diferença entre os valores medidos e estimados, para verificar possíveis erros de vinculação, os sinais das diferenças de  $X$  e  $Y$  devem ser interpretados como ilustrado na figura 7 a seguir.

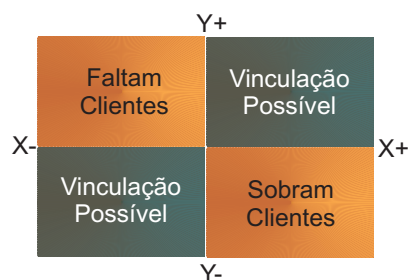


Figura 7. Erros de vinculação possíveis em um transformador

### III. TESTES DE CAMPO

Foram medidos 30 trafos do alimentador três da subestação de Pau Amarelo, sendo consideradas apenas as medidas de nove (30%) dos trafos na primeira etapa. As demais medidas serviram para comparar o valor estimado pelo processo e o valor real medido.

A Figura 8 mostra o diagrama unifilar do alimentador. Os trafos em vermelho foram selecionados para terem seus medidores considerados no cálculo de estimação dos valores corrigidos. Os trafos marcados com uma seta foram escolhidos para inspeção.

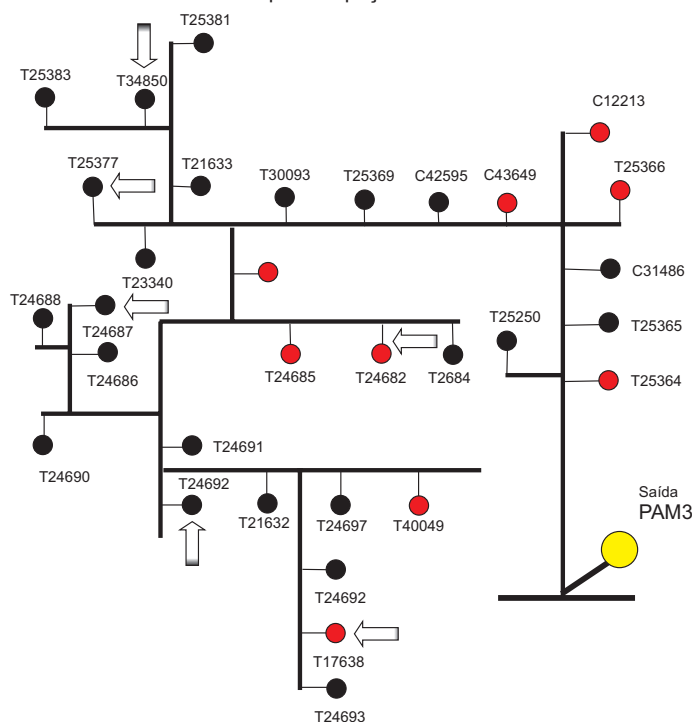


Figura 8. Subrede Pau Amarelo

### IV. RESULTADOS DAS INSPEÇÕES

Foram indicados 170 clientes para inspeção, sendo 15 da classe comercial e 155 da Residencial, dentre estes 123 da classe B1 e 32 de baixa renda. Alguns resultados obtidos são exibidos na figuras 9 e 10.

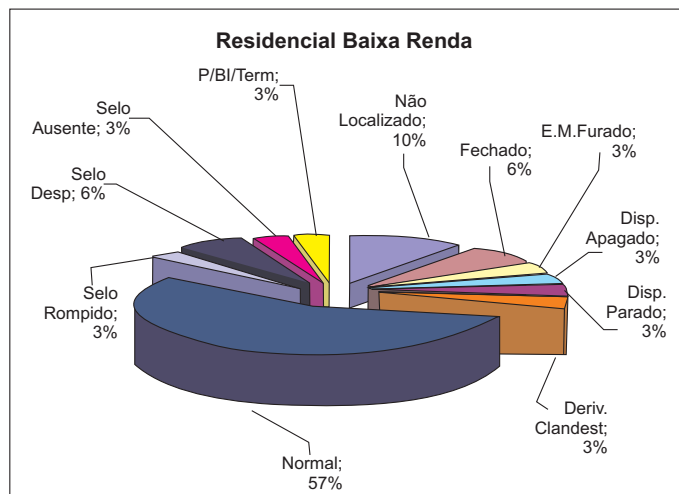


Figura 9. Resultados obtidos (residencial baixa renda)

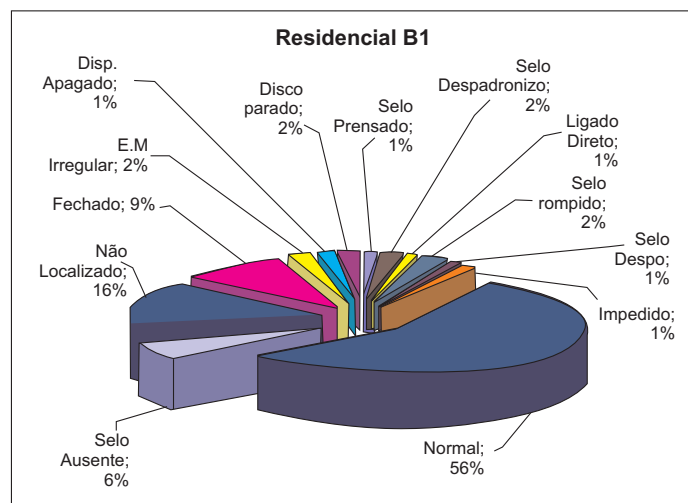


Figura 10. Resultados obtidos (residencial B1)

### V. CONCLUSÕES

O método proposto nesta pesquisa avalia quais os trafos precisam ser verificados, reduzindo-se o custo de verificar todos. Uma boa assertividade depende também da atualização da topologia da rede, ou seja, devem estar atualizados os dados de quais os trafos que estão ligados ao alimentador em estudo.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Eletrobras, "PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica", <http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp>, acesso em 13/09/2009.
- [2] T. Kohonen, "Self-Organization and Associative Memory", Berlin: Springer-Verlag, 1987.
- [3] H. J. Zimmerman, "Fuzzy Set Theory and its Applications", 3rd edition, Kluwer, Boston, 1996.
- [4] G. B. Dantzig, Mukund N. Thapa, "Linear programming 1: Introduction", Springer-Verlag, 1997.

# CPFL

---

## Concreto leve substitui madeira na fabricação de cruzetas instaladas em postes

O projeto da CPFL, desenvolvido com técnicos da Universidade Federal Fluminense (UFF) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), resultou na criação de uma cruzeta de concreto leve (Concrelev) para substituir a madeira de lei comumente utilizada como matéria-prima. A cruzeta é uma peça de sustentação dos condutores (cabos) de energia instalada no alto dos postes das redes de distribuição. O trabalho foi iniciado em 2006, com a pesquisa aplicada. De 2008 a 2011 está na fase de produção de lote pioneiro de cruzetas para inserção no mercado. De acordo com os pesquisadores da CPFL, o produto tem custo de manutenção inferior aos similares existentes no mercado e maior durabilidade, além de ser economicamente viável e benéfico para o meio ambiente, na medida em que substitui as cruzetas de madeira de lei. O objetivo inicial do projeto era reduzir custo de manutenção, por meio do desenvolvimento de novos padrões de materiais que mitigassem riscos de queda das cruzetas, cabos e isoladores nas redes de distribuição de energia elétrica. O ponto de partida foi a cruzeta de concreto armado, com resistência e durabilidade largamente comprovadas, mas que tivesse peso inferior. Para isso, seria necessária a substituição dos agregados tradicionais (areia e brita), por outros de menor massa específica, obtendo-se assim um “concreto leve”. Foi analisada a possibilidade de adoção de vários tipos de insumos, como o poliestireno expandido (EPS), a brita leve (EVA reprocessado), a vermiculita expandida (argila micácea), a perlita expandida e argila expandida (cinasita). O agregado escolhido foi a “Argila Expandida”, que se apresenta em forma de bolinhas de cerâmica arredondadas, com uma estrutura interna formada por uma espuma de cerâmica com micro poros e com uma casca rígida e resistente. Os pesquisadores concluíram que os resultados da pesquisa deram embasamento tecnológico consistente para substituir cruzetas de madeira de lei pelas de concreto leve, de forma sustentável e economicamente viável. A CPFL tem comprado lotes do produto de fornecedores licenciados como forma de promover o desenvolvimento fabril. A empresa solicitou pedido de patente junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) em 2008.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL Paulista

Título: Cruzeta de Concreto Leve (CONCRELEV) para Rede de Distribuição de Energia Elétrica

Ano de início: 2009 (regulamentação vigente: REN 316/2008)

Investimento: R\$ 2.346.352,00

Execução: Matos Ferreira Engenharia e Serviços Ltda. e Matra Indústria e Comércio Ltda.

# Cruzeta de Concreto Leve - CONCRELEV® para Rede de Distribuição de Energia Elétrica

Francisco José Bassotelli 1, André Luis Piroletto 1, Benedito Edmundo Moura Ferreira 3, José Adolfo Cipolli 4 e Levi Pereira Pasqua 4

**Resumo** – Este artigo tem por objetivo apresentar o potencial de aplicação da Cruzeta de Concreto Leve, um produto inovador cuja principal característica é utilizar, em sua composição, agregados leves, proporcionando um peso próximo ao da cruzeta de madeira de lei e muito inferior à cruzeta de concreto armado. O produto também apresenta maior ergonomia para o eletricitista durante sua instalação, tendo um custo de manutenção inferior ao das demais cruzetas disponíveis no mercado e vida útil muito superior quando comparado com a madeira de lei. A avaliação de conformidade do produto foi comprovada por ensaios realizados em laboratórios de terceiros acreditados pelo INMETRO, atendendo aos requisitos especificados nas normas ABNT pertinentes. É um produto economicamente viável, de grande contribuição para o setor elétrico e para o meio ambiente.

**Palavras-chave** – cruzeta, concreto leve, agregados leve, rede de distribuição.

## I. INTRODUÇÃO

A Cruzeta de Concreto Leve foi desenvolvida no âmbito do Programa de P&D da ANEEL, em duas fases da cadeia de inovação: de pesquisa aplicada (2006-2008) e de lote pioneiro e inserção no mercado (2008-2011). O projeto de pesquisa aplicada tinha como principal objetivo a redução do custo de manutenção na rede da CPFL Energia. Tal projeto previa inicialmente o desenvolvimento de novos padrões de materiais de redes que mitigassem riscos de queda (cruzetas, cabos e isoladores) nas redes de distribuição de energia elétrica. Dessa necessidade, surgiu a ideia de desenvolver uma cruzeta que substituísse a madeira de lei, de forma sustentável e economicamente viável. Pesquisaram-se vários tipos de materiais leves e de processos de fabricação até chegar à configuração atual para atender às expectativas de resistência mecânica, peso, durabilidade e viabilidade econômica, compatíveis com a cruzeta fabricada com madeira de lei.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Estudo dos agregados leves

A linha de pesquisa adotada foi focada em uma cruzeta que apresentasse a resistência e durabilidade largamente comprovada do concreto tradicional, mas com peso inferior. Para que se conseguisse a redução do peso, seria necessária a substituição dos agregados tradicionais (areia e brita), por outros de menor massa específica, obtendo-se assim um “concreto leve”.

Com base em estudos realizados por vários centros de pesquisa e informações obtidas com fabricantes e fornecedores, foi analisada a possibilidade de adoção de vários tipos de agregados, como o poliestireno expandido (EPS), a brita leve (EVA reprocessado), a vermiculita expandida (argila micácea), a perlita expandida e argila expandida (cinasita).

O agregado leve escolhido para a fabricação da cruzeta de concreto leve, foi a “Argila Expandida”, em razão de suas características e facilidades comerciais apresentadas. Trata-se de um agregado leve que se apresenta em forma de bolinhas de cerâmica arredondadas, com uma estrutura interna formada por uma espuma de cerâmica com micro poros e com uma casca rígida e resistente. É produzido em grandes fornos rotativos (1.100 °C), resultando num produto leve, de elevada resistência mecânica, e bom desempenho em ambientes ácidos e alcalinos.

A cruzeta de concreto leve foi construída com cimento de alta cura e agregados de argila expandida, possui armação estrutural com barras de aço longitudinais e amarrações transversais.

Características técnicas:

- Dimensões externas: 90x90x2000mm;
- Peso: máximo 27 Kg;
- Resistência Nominal: 250 daN;
- Resistência a Ruptura 500 daN.
- Resistência a compressão: 30Mpa
- Absorção de água: máx 11%



Figura 1 – Cruzeta de concreto leve.

### B. Produção de Lote Pioneiro e Inserção no Mercado

Em 2009 o projeto de lote pioneiro teve início com o objetivo de melhorar as características ergonômicas e a resistência

Informações sobre o Projeto de P&D: 'LP 01/08 - Lote Pioneiro e Inserção de Mercado da Cruzeta de Concreto Leve' 0063-001/2009; CPFL PAULISTA, CPFL JAGUARI, CPFL MOCOCA, CPEE JAGUARIUNA (Leste Paulista), CPFL SANTA CRUZ, CSPE (SUL Paulista), RGE, CPFL PIRATININGA; Matos Ferreira Engenharia e Serviços Ltda, Matra Indústria e Comércio Ltda; Manual de P&D ANEEL, versão 2008; R\$ 2.346.352,00.

1 CPFL Energia (e-mail: bassotelli@cpfl.com.br; pirotel-lo@cpfl.com.br)

3 Matos Ferreira (e-mail: mfengenharia@hotmail.com.br)

4 Cipolli Engenharia (e-mail: jcipolli@lexxa.com.br)



mecânica em regime de produção e nesta fase destacaram-se:

- Ajuste no processo produtivo.
- Padronização de furação para atendimento a outras distribuidoras de energia elétrica do Brasil e EUA, visando à inserção no mercado.
- Ensaios de certificação em laboratório acreditado pelo INMETRO.
- Ensaios elétricos.
- Ensaios de envelhecimento acelerado.
- Instalação de 30.000 cruzetas de concreto leve nas áreas de concessão da CPFL.

Ensaios realizados:

- Ensaios elétricos comparativos (Faculdade de Engenharia Elétrica da Unicamp): tensão de impulso atmosférico, tensão disruptiva a seco e tensão disruptiva sob chuva.
  - Ensaios mecânicos (Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo; Lactec - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento da UFPR);
- Normas:
- ABNT NBR 8454
  - ABNT NBR 8453
  - ABNT NBR 6124
  - Normas CPFL GED 13279 e GED 13280

Em 2009 iniciou-se o processo de transferência de tecnologia. Atualmente a CPFL possui quatro parceiros licenciados para fornecer e comercializar (três no estado de São Paulo e um na Bahia), e um, no Sul, que está em processo de certificação. O produto foi divulgado nos eventos do setor de energia elétrica do Brasil como SUPRE, SENDI E CITENEL.

Em 2010, o grupo CPFL Energia iniciou a compra de pequenos lotes direcionados aos fornecedores licenciados, de forma a promover o desenvolvimento fabril.

### III. CONCLUSÃO

Os resultados alcançados têm embasamento tecnológico consistente para substituição da cruzeta de madeira de lei pela de concreto leve. As expectativas foram superadas, com pleno atendimento aos requisitos técnicos das normas pertinentes. Por fim, a tecnologia do produto gerou um pedido de patente intitulado "Cruzeta de Concreto Leve de alto desempenho para rede de distribuição de energia elétrica", depositado no Instituto Nacional da Propriedade Industrial em 01/10/2008.

A Tabela 1 ilustra as diferenças entre os tipos de cruzeta adotados pelo mercado comparativamente à cruzeta de concreto leve, prática em questão:

Tabela 1 – Características das Cruzetas

Parâmetros	Concreto leve	Madeira	Polimétrica	Aço Galvanizado	Concreto armado	Fibra de vidro
Custo*	1,00	0,87	4,89	2,23	1,19	1,70
Massa	27 kg	19 kg	12 kg	8 kg	45 kg	14 kg
Vida útil	30 anos	15 anos	-	50 anos	15 anos	-
Escassez de insumos	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Reciclagem ou reaproveitamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Risco de ruptura seguida de queda	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
Deteriorização / Apodrecimento	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Ergonomia para 1 homem	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim

(\*) relativo à cruzeta de concreto leve.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Periódicos:

[1] Unisinos, "Comportamento mecânico do concreto leve com poliestireno expandido visando a sua utilização em pré-moldados". Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, 2000.

Relatórios Técnicos:

[2] CEC Engenharia e Concremar. "Relatório de Ensaios em Cruzetas". Relatório técnico: Campinas, junho de 2008.

[3] Cipoli et alli. "Cruzeta de Concreto Leve - Uma Nova Opção no Setor Elétrico." Documento para discussão: Campinas, 2007.

[4] CPFL Piratininga e CEC Engenharia. "Pesquisa e definição de novos padrões e materiais - cruzetas e isoladores". Documento para discussão: Campinas, novembro de 2006.

Dissertações e Teses:

[5] Giacomini, Roberto Carlos. "Estudo das propriedades do concreto com argila expandida." Trabalho de Conclusão de Curso: Porto Alegre, dezembro de 2005.

[6] Rossignolo, João Adriano. "Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos - dosagem, produção, propriedade e microestrutura". Tese de Doutorado: São Carlos, 2003.

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

[7] Mendes, Mara R. et alli. "Uso de resíduos para obtenção de agregados leves para a construção civil." VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Publicação técnica: Florianópolis, abril de 1998.

[8] Priszkulnik, Simão. "V Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias". Publicação técnica: Recife, julho de 2006.

# CPFL

---

## Uso de sinalizador de faltas de energia reduz tempo de atendimento ao consumidor

O projeto da CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) consistiu na implementação de um lote pioneiro do sinalizador de faltas de energia e na inserção mercadológica do equipamento, desenvolvido em etapa anterior do Programa de P&D regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O sinalizador auxilia as equipes de manutenção a localizar os defeitos em ocorrências emergenciais. Na atual etapa do projeto, foram instalados 1.000 sinalizadores de faltas em 330 pontos da rede aérea de distribuição da CPFL. Os locais foram escolhidos pela presença de alimentadores críticos, com a maior incidência de defeitos. O equipamento possui tecnologia para monitorar a tensão do alimentador e identificar sobrecorrentes causadas por defeitos na rede. O monitoramento do desempenho desse primeiro lote será realizado até dezembro de 2011, mas com base nos dados obtidos nas primeiras atuações dos equipamentos instalados, estima-se uma redução de 50% no tempo de deslocamento das equipes de manutenção até os locais das ocorrências e de 15% no tempo de atendimento ao consumidor, uma vez que, em situações típicas de defeito a equipe de campo é diretamente guiada pelos equipamentos ao local do problema, o que evita a inspeção desnecessária de diversos trechos de rede. Essa economia de tempo vai impactar os indicadores de qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras e monitorado pela ANEEL. Para introduzir o produto no mercado, foi feito um arranjo interinstitucional entre universidade, empresa de base tecnológica e indústria, com gestão da concessionária. A universidade aportou conhecimento tecnológico ao projeto. A empresa de base tecnológica atuou em sua coordenação, contemplando procedimentos de instalação e acompanhamento em campo. A otimização da cadeia de suprimentos e o processo de fabricação em escala industrial ficaram sob a responsabilidade do parceiro industrial. Esse arranjo de projeto foi fundamental para a obtenção um produto homologado e aplicável em escala piloto na empresa.

---

### ***Ficha técnica***

Empresas: Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL

Título: Lote Pioneiro e Inserção no Mercado do Sinalizador de Faltas

Ano: 2009

Investimento: R\$ 2.780.520,00

Execução: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e Expertec Engenharia

# Lote Pioneiro e Inserção no Mercado do Sinalizador de Falta

Antonio Areias Ferreira<sup>1</sup>, Daniel Rosa Monaco<sup>2</sup>, Josemir Coelho Santos<sup>3</sup>, Josué de Camargo<sup>4</sup>, Fábio José de Andrade<sup>4</sup>

**Resumo** – O projeto de Lote Pioneiro e Inserção no Mercado do Sinalizador de Falta realizou a instalação de 1.000 equipamentos na rede aérea de distribuição do grupo CPFL. O resultado principal do projeto foi um produto, certificado e homologado pela concessionária, resultado da transformação do protótipo pré-industrial, desenvolvido nos projetos de P&D ANEEL anteriores. O projeto alcançou a aplicação do produto homologado em escala piloto e pôde comprovar sua eficiência e avaliar os benefícios trazidos à concessionária. Os equipamentos instalados auxiliaram as equipes de campo da CPFL na busca por defeitos em ocorrências emergenciais, reduzindo o tempo médio de atendimento ao cliente.

**Palavras-chave** – localização de defeitos, lote pioneiro, sinalizador de falta, redução do tempo de atendimento.

## I. INTRODUÇÃO

O equipamento sinalizador de falta da CPFL tem como objetivo atuar em ocorrências emergenciais, reduzindo o tempo de deslocamento da equipe de manutenção de campo (TMD), parcela significativa do tempo de atendimento às ocorrências emergenciais (TMAE), que é um indicador de qualidade da prestação de serviço das concessionárias do setor elétrico brasileiro.

O sinalizador de falta desenvolvido, mostrado na figura 1, possui tecnologia para monitorar a tensão do alimentador e identificar sobrecorrentes causadas por defeitos na rede.

A metodologia adotada no projeto contempla um arranjo interinstitucional entre universidade, empresa de base tecnológica e indústria, com gestão da concessionária. A universidade aportou conhecimento tecnológico ao projeto. A empresa de base tecnológica atuou em sua coordenação, contemplando procedimentos de instalação e acompanhamento em campo. Por outro lado, a otimização da cadeia de suprimentos e o processo de fabricação em escala industrial ficaram sob a responsabilidade do parceiro industrial. Esse arranjo de projeto foi fundamental para a obtenção de um produto homologado e aplicável em escala piloto na empresa.



Figura 1 – Foto do Sinalizador de Falta em fase de Lote Pioneiro.

Informações sobre o Projeto de P&D: LP02-2008 - Lote Pioneiro e Inserção no Mercado do Sinalizador de Falta Luminoso; PD-0063-0002/2009; CPFL PAULISTA, CPFL JAGUARI, CPFL MOCOCA, CPEE JAGUARIUNA (Leste Paulista), CPFL SANTA CRUZ, CSPE (SUL Paulista), RGE, CPFL PIRATININGA; EXPERTEC ENGENHARIA, USP; Manual de P&D ANEEL, versão 2008; R\$ 2.780.520,00.

1 CPFL PAULISTA (areias@cpfl.com.br).

2 CPFL SANTA CRUZ (danie@cpfl.com.br).

3 ESCOLA POLITÉCNICA/USP (josemir@pea.usp.br)

4 EXPERTEC ENGENHARIA (josue@expertec.com.br / fabio@expertec.com.br)

Na aplicação do lote pioneiro do sinalizador de falta na rede de distribuição da CPFL, estima-se uma redução média de 50% no TMD, uma vez que em situações típicas de defeito, como a ilustrada na figura 2, a equipe de campo é diretamente guiada pelos equipamentos ao local do problema, evitando a inspeção desnecessária de diversos trechos de rede.

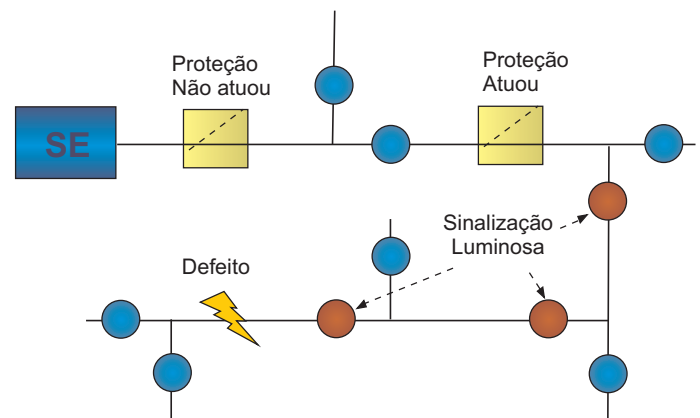


Figura 2 – Situação típica de indicação de defeito na rede de distribuição utilizando o Sinalizador de Falta.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

As etapas do projeto contemplaram a realização de ajustes no protótipo desenvolvido no projeto anterior, produção industrial de 1000 peças, instalação em campo, acompanhamento do desempenho e comprovação de benefícios para a concessionária, além de ações de divulgação e inserção do produto no mercado nacional.

### A. Aplicação do Equipamento

O sinalizador de falta detecta a passagem da corrente de curto circuito no ponto de instalação, seguido da queda da tensão no alimentador monitorado causada pela atuação do equipamento de proteção da rede de distribuição, conforme ilustrado na figura 3.

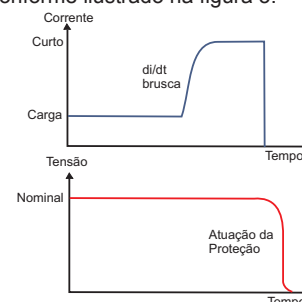


Figura 3 – Sequência de eventos detectada pelo sinalizador de falta. Figura 3

A utilização do equipamento se mostrou efetiva nas ocorrências emergenciais causadas por curto-circuitos na rede primária de distribuição de energia, de caráter permanente e sustentável, causa da maior parte dos desligamentos de consumidores, e que impactam diretamente os indicadores de qualidade do serviço prestado pelas concessionárias.

### B. Implantação do Lote Pioneiro

Os equipamentos sinalizadores de faltas foram instalados em 330 pontos da rede de distribuição de energia elétrica das empresas da CPFL. As equipes de campo foram treinadas nos procedimentos de instalação e manutenção e, após o treinamento, houve o acompanhamento pela equipe do projeto da primeira instalação efetuada pelos eletricitistas, como pode ser visto nas figuras 4, 5 e 6.



Figura 4 – Equipe de campo da CPFL se preparando para instalação.

Os pontos de instalação foram determinados pelo centro de operações da CPFL, que indicou alimentadores críticos com maior incidência de defeitos. Os pontos foram mapeados conforme exemplificado na figura 7.

O desempenho do lote pioneiro continuará a ser monitorado até dezembro de 2011.



Figura 5 – Instalação do lote pioneiro na rede de distribuição da CPFL. Figura 6 – Instalação



Figura 5 – Instalação do lote pioneiro na rede de distribuição da CPFL.



Figura 7 – Pontos definidos para instalação do sinalizador de faltas.

### C. Benefícios Auferidos

Os equipamentos sinalizadores de faltas instalados na rede de distribuição da CPFL auxiliaram as equipes de manutenção de campo no atendimento às ocorrências emergenciais, indicando a localização dos defeitos.

A partir dos dados obtidos nas primeiras atuações dos equipamentos instalados, estima-se uma redução média de 50% no tempo de deslocamento (TMD) e uma consequente redução média de 15% no tempo de atendimento ao consumidor (TMAE) nas áreas em que os sinalizadores foram aplicados.

O estudo de viabilidade econômica do equipamento, comparando, entre outros aspectos, o custo final do equipamento com similares importados, mostrou-se favorável à sua implantação em larga escala.

### III. CONCLUSÕES

O equipamento tem demonstrado funcionamento eficiente em campo, auxiliando as equipes de manutenção na localização de defeitos na rede e, consequentemente, diminuindo o tempo de restabelecimento da energia para o consumidor.

Desta forma, planeja-se a utilização dos sinalizadores em larga escala no Grupo CPFL e sua oferta às demais distribuidoras brasileiras, que poderão adquirir o equipamento de empresas licenciadas.





#### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

- [1] FERREIRA A. A., MONACO D. R., SANTOS J. C., ANDRADE F. J., CAMARGO J.; "Lote Pioneiro e Inserção no Mercado do Sinalizador Luminoso de Falhas". In: XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 2010, São Paulo/SP. ANAIS – Trabalhos Técnicos XIX SENDI, 2010.
- [2] ANDRADE F. J., SANTOS J. C., MONACO D. R., FERREIRA A. A., CAMARGO J.; "Redução no Tempo Médio de Atendimento a Ocorrências Emergenciais Aplicando o Sinalizador de Falhas". In: VIII CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2009, Blumenau/SC. Anais da Conferência – VIII CBQEE., 2009.
- [3] SANTOS J. C., JAKUBOWSKI E. F., ANDRADE F. J., CAMARGO J., SILVEIRA M. M.; "Arranjo Interinstitucional para Desenvolvimento de um Lote Pioneiro de Equipamento Sinalizador de Falhas em Redes Aéreas de Distribuição de Energia". In: XVIII SENDI - Seminário

Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 2008, Olinda/PE. ANAIS - Trabalhos Técnicos XVIII SENDI, 2008.

Normas:

- [4] IEEE IGuide for Testing Faulted Circuit Indicators IEEE Std 495™-2007(Revision of IEEE Std 495-1986) de dezembro de 2007

Patentes:

- [5] COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ – CPFL, "Gabinete para equipamentos aplicáveis em fiações e cabos condutores de eletricidade suspensos no ar", INPI, Invenção PI0903605-9 de setembro de 2009.
- [6] COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ – CPFL, "Dispositivo sinalizador de falhas monofásico aplicável em redes aéreas de distribuição de energia elétrica", INPI, Modelo de Utilidade MU8600792-0 de abril de 2006.

# CPFL

---

## Ultrassom inteligente contribui para avaliação de postes e cruzetas da rede de distribuição

Avaliar a situação de postes e cruzetas (peças de sustentação dos condutores (cabos) de energia instalada no alto dos postes) e, em consequência, decidir pela substituição dessas instalações foi o desafio que motivou a CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) a desenvolver pesquisa que culminou na criação do Ultrassom Inteligente, equipamento utilizado para detecção de riscos em instalações de distribuição de energia. Os pesquisadores da concessionária, da Universidade Estadual de Campinas e da empresa Agricef Soluções Tecnológicas partiram da constatação da troca prematura de grande quantidade de postes em razão da avaliação técnica subjetiva das condições de resistência desses ativos. Com o equipamento criado, os postes de madeira ou concreto têm sido inspecionados por técnica que consiste em determinar, por meio de faixas de velocidade de propagação de ondas no material, as faixas de propriedades mecânicas que permitem classificar a qualidade do material dos ativos avaliados. O Ultrassom Inteligente pode ser utilizado em campo, pois possui bateria com autonomia de até seis horas. Isso permite, além de inspeção *in loco*, a classificação de postes e cruzetas novos. Nos testes realizados, o índice de acertos na retirada dos postes foi de 93%, enquanto a porcentagem de acertos dos postes diagnosticados como bons ou muito bons, e que, portanto deveriam permanecer na rede, foi de 100%. Observa-se, assim, que, considerada margem de erro de no máximo 5%, que é o padrão da engenharia, a utilização do equipamento auxiliaria na identificação de cruzetas com resistência comprometida e de postes ainda em condição de uso. A maior exatidão na avaliação tem impacto direto na redução dos custos de manutenção da distribuidora, pela postergação de investimentos prematuros e pela maior segurança na rede de distribuição. O processo de patenteamento do Ultrassom Inteligente está em andamento. Pretende-se dar prosseguimento à pesquisa na fase de lote pioneiro para, posteriormente, obter licenciamento de fabricantes para fornecimento do produto às distribuidoras do país.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL

Título: Inspeção e Classificação de Postes e Cruzetas por Meio de Ultrassom Inteligente

Ciclos: 2003/2004 e 2005/2006

Investimento: R\$ 772.826,92 e R\$ 1.225.962,76

Execução: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Agricef Soluções Tecnológicas



# Inspeção e Classificação de Postes e Cruzetas por Meio de Ultrassom Inteligente

Raquel Gonçalves<sup>1</sup>, Suzie H. Herrera<sup>2</sup>, Guilherme R. Gray<sup>3</sup>, Domingos G. P. Cerri<sup>3</sup>

**Resumo** - O objetivo do trabalho é apresentar o Ultrassom Inteligente (SIP), fruto de projeto de P&D patrocinado pela CPFL Energia, em parceria com a UNICAMP e a AGRICEF Soluções Tecnológicas. O equipamento analisa o material por meio de faixas de velocidade de propagação de ondas de ultrassom e recomenda a retirada ou a manutenção na rede e também permite classificar, quanto a qualidade do material, postes e cruzetas novos. O principal benefício do SIP é, portanto, maior eficiência na inspeção e na instalação de novas estruturas da rede, com consequente redução dos custos de operação e maior segurança.

**Palavras-chave** – propagação de ondas, segurança da rede, classificação de fornecedores

## I. INTRODUÇÃO

A pesquisa teve como objetivo inicial analisar a viabilidade de utilização do ultrassom como ferramenta de inspeção de postes de madeira e de concreto, e apresentou resultados bastante positivos. Com base nesses resultados, iniciou-se um novo projeto, cujo objetivo foi desenvolver ferramenta automatizada de gestão global (classificação, inspeção e monitoramento) do parque de postes. Um dos produtos da pesquisa foi o equipamento de ultrassom, que está sendo utilizado em fase experimental, no campo, pelas empresas do grupo CPFL Energia.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Fatores motivadores

Verifica-se que grande quantidade dos postes estão sendo trocados prematuramente, devido a técnica subjetiva de avaliação das condições de resistência dos postes utilizada no setor elétrico.

### B. Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida de acordo com as seguintes etapas:

i. Análise da viabilidade de utilização do ultrassom como ferramenta de inspeção de postes. Para o desenvolvimento desta etapa estudaram-se os fundamentos da propagação de ondas nos materiais e sua relação com as propriedades elásticas ([1] e [2]).

ii. Obtenção experimental (normas [3] e [4]), em laboratório, das faixas de velocidade de propagação do ultrassom associadas às faixas de resistência de postes em diferentes estados de degradação.

iii. Obtenção, em laboratório (normas [3], [4] e [5]), das faixas de velocidade de propagação de ondas de ultrassom associadas a resistência inicial mínimas de postes e de cruzetas utilizando os princípios estatísticos e normativos [6], [7] e [8].

iv. Desenvolvimento de equipamento de ultrassom para a avaliação de postes e de cruzetas, que possibilita a obtenção do resultado em

campo sem a necessidade de tratamento posterior dos dados por técnico especializado em ultrassom.

### C. Resultados obtidos

Os principais resultados obtidos no projeto foram: determinação das faixas de velocidade de propagação do ultrassom em função da resistência residual do material; desenvolvimento do sistema ultrassônico para a inspeção de postes e para a classificação de postes e de cruzetas. A técnica empregada consistiu em se determinar, por meio de faixas de velocidade de propagação de ondas no material, faixas de propriedades mecânicas que permitam classificar a qualidade do material.

O Ultrassom Inteligente (Figura 1) pode ser utilizado em campo, pois contém bateria interna que possibilita autonomia de até seis horas. Esta versão permite realizar a inspeção de postes na rede e a classificação de postes ou de cruzetas novos.



Figura 1. Equipamento desenvolvido.

A validação das faixas de inspeção de postes de madeira, obtidas nas etapas anteriores foi fundamental para assegurar a segurança e eficiência da utilização das faixas de inspeção. Para isso verificou-se se, com erro máximo de 5% (padrão da engenharia), o método não deixaria na rede um poste cuja resistência estivesse comprometida. Ao mesmo tempo era necessário assegurar que o método não retiraria da rede uma quantidade muito grande de postes ainda em condições de serviço, garantindo assim a sustentabilidade e a eficiência em termos econômicos.

Uma vez que o equipamento será utilizado em diferentes regiões, considerou-se importante introduzir, na validação das faixas, diferentes regiões conforme mostra a Tabela I.

Informações sobre o Projeto de P&D: "PD121-04 Inspeção de materiais e estruturas da rede por meio de ultrassom", 0063-030/2004; CPFL Energia; UNICAMP e AGRICEF; Ciclo: 03-04; Investimento: R\$ 772.826,92

"PD133 - Gestão Global – Classificação e monitoramento - de postes das linhas aéreas", 0063-007/2006; CPFL Energia; UNICAMP e AGRICEF; Ciclo: 05-06; Investimento: R\$ 1.225.962,76

<sup>1</sup> UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas (e-mail: ra-quel@feagri.unicamp.br).

<sup>2</sup> CPFL Energia (e-mail: herrera@cpfl.com.br)

<sup>3</sup> AGRICEF Soluções Tecnológicas (e-mails: gray@agrifec.com.br; cerri@agrifec.com.br).

Tabela I. Distribuição das inspeções realizadas.

Local	Número de postes inspecionados
Cubatão	9
Santos	8
São Carlos	9
Santa Bárbara D'Oeste	15
Valinhos	1
Charqueada	5
São Pedro	3
Amparo	12
Americana	2
Jaboticabal	23
Sumaré	12
<b>Total</b>	<b>111</b>

Desta forma, foi possível avaliar a porcentagem de acertos dos processos de inspeção (martelo e SIP). Para o teste do martelo, o percentual de acertos na retirada dos postes foi de 34% e a porcentagem de acertos dos postes diagnosticados como bons, e que, portanto permaneceriam na rede, foi de 60%.

Embora a porcentagem de acertos de postes diagnosticados como bons tenha sido bem superior à porcentagem de acertos de retirada dos postes, esse número é bastante crítico, uma vez que significaria que 40% dos postes estariam sendo deixados na rede apesar de apresentarem resistência residual abaixo do valor mínimo, comprometendo a segurança do sistema.

Utilizando o SIP, o percentual de acertos na retirada dos postes foi de 93% e a porcentagem de acertos dos postes diagnosticados como bons ou muito bons, e que, portanto permaneceriam na rede, foi de 100%, ou seja, em nenhum caso o equipamento deixaria na rede um poste com resistência residual abaixo do limite.

O gráfico da Figura 2 apresenta, de forma comparativa, o diagnóstico realizado por cada processo de medição e a situação real dos postes.

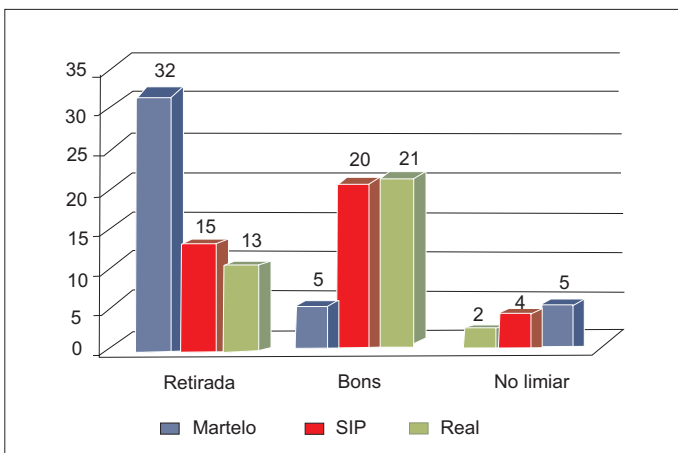


Figura 2. Comparação do número de postes em cada condição, diagnosticado pelos métodos do martelo e ultrassom (SIP) em relação à condição real.

#### D. Ganhos econômicos

A maior exatidão na inspeção de postes de madeira e concreto reflete diretamente na redução dos custos de manutenção, pela postergação de investimentos e maior segurança na rede de distribuição. Considerando um cenário conservador na redução de trocas prematuras de postes, estima-se aproximadamente 30% de ganho com postergação de investimentos para a CPFL.

#### III. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que o uso da tecnologia do ultrassom é suficientemente sensível para detectar problemas de deterioração dos materiais (madeira e concreto) e, como consequência, estabelecer faixas de resistência residual que permitam a tomada de decisão sobre a permanência ou a retirada do poste da rede, além da classificação de novos postes e cruzetas.

O presente projeto já passou pelas fases de pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental e cabeça de série. O produto está com o processo de patente em andamento e pronto para passar à fase de lote pioneiro, último estágio para, na sequência, haver licenciamento de fabricantes para fornecimento do produto ao grupo CPFL e demais distribuidoras e empreiteiras no Brasil e no exterior.

#### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bucur, Voichita. Acoustics of wood. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, Inc., 1995.
- [2] Bodig, J. & Jayne, B.A. – Mechanics of wood and wood composites New York, Van Nostrand Reinhold, 1982. p 419.
- [3] ABNT Postes de Madeira – Resistência à Flexão. NBR 6231/1980.
- [4] ABNT Postes de Concreto Armado para Redes de Distribuição. NBR 8451/1998.
- [5] CPFL Paulista. Cruzetas de Madeira Preservada e não Preservada para Redes Aéreas de Distribuição de Energia. Documento 2893/2007.
- [6] ABNT Forças de Vento. NBR 6123/1998.
- [7] ABNT Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira. NBR 7190/1997.
- [8] ABNT Projeto de Estruturas de Concreto. NBR 6118/2004.

# Escelsa

---

## Software proporciona análise de previsão de mercado de distribuidora

Com o objetivo de obter ferramenta de apoio para o estudo do comportamento da carga (demanda por energia), pesquisadores da Escelsa (Espírito Santo Centrais Elétricas S/A) e da Daimon Engenharia e Sistemas desenvolveram *software* que permite analisar séries históricas e dados externos (como valores mensais medidos) e contribuir para previsão de mercado em diversos níveis: global, por ponto de suprimento ou subestação de distribuição e espacial. A ferramenta usa informações georreferenciadas e permite consultas gerais e específicas automatizadas, por meio de mapas temáticos de consumo e demanda por entidades geográficas (locais) ou elétricas. O *software* também permite a visualização de tabelas com informações elétricas agregadas, representações gráficas de evolução do consumo, quantidade de consumidores e demanda máxima, além de curvas de carga. Os pesquisadores avaliam que a ferramenta irá auxiliar, de forma efetiva, as análises de mercado que direcionam as ações estratégicas de investimentos. O programa também contribuirá para os estudos de planejamento de obras para reforço, ampliação e manutenção da rede de distribuição. Ao contrário dos modelos de previsão univariados, que utilizam apenas a série histórica para prever o comportamento futuro, o *software* desenvolvido utiliza modelo multivariado que incorpora, além da série histórica da demanda, séries temporais de outros dados correlacionados (como Produto Interno Bruto e temperatura). Os pesquisadores avaliaram que, como resultado imediato, houve melhoria na forma de organização e no armazenamento das informações. Apesar de a maioria dos dados utilizados no modelo serem armazenadas em banco de dados corporativo, geralmente eram utilizados de forma desagregada e em *softwares* diferentes, o que dificultava a integração do trabalho.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: Espírito Santo Centrais Elétricas S/A (Escelsa)

Título: Metodologia e Sistema para Determinação Analítica e Geográfica da Evolução de Mercado Consumidor Considerando Incertezas

Ciclo: 2005/2006

Investimento: R\$ 319.660,00

Execução: Daimon Engenharia e Sistemas S/C Ltda. e Escelsa

# Metodologia e Sistema para Determinação Analítica e Geográfica da Evolução de Mercado Consumidor Considerando Incertezas

Alden U. Antunes 1, Fábio S. El Hage 1, Mário M. Filho 1, João B. Zavaris 2, Glícia G. S. Barbieri 2

**Resumo** – Esse artigo apresenta a metodologia existente em um software que foi desenvolvido para ser utilizado como ferramenta de apoio na análise e no estudo do comportamento geográfico da carga no âmbito do planejamento da expansão de redes de distribuição de energia elétrica e dos estudos de previsão de mercado. Por meio da obtenção de séries históricas, o *software* tem as informações organizadas de acordo com uma hierarquia de dados que torna possível a realização de consultas gerais e específicas automatizadas, de mapas temáticos de consumo e demanda por entidades geográficas ou elétricas, tabelas com informações elétricas agregadas, representações gráficas de evolução do consumo, quantidade de consumidores e demanda máxima, além de curvas de carga. Com as informações armazenadas em séries históricas, é possível realizar previsões de consumo de energia e demanda máxima por entidade geográfica ou elétrica.

**Palavras-chave** – Previsão de mercado, planejamento da rede elétrica, mercado espacial.

## I. INTRODUÇÃO

O artigo descreve a metodologia do *software* que foi desenvolvido para ser uma ferramenta direcionada para estudos de mercado que faz uso de informações georeferenciadas (GIS) para a alocação espacial da carga (demanda), do consumo de energia e de outras informações elétricas obtidas por medição ou cálculo de fluxo de potência.

Com a organização de informações elétricas em séries históricas armazenadas em banco de dados georeferenciados, a aplicação da metodologia foi direcionada para a análise do mercado consumidor da distribuidora de energia elétrica ESCELSA (Espírito Santo Centrais Elétricas S/A), contribuindo para os estudos de planejamento do plano de obras (para reforço, ampliação e manutenção) de sua rede de distribuição e para a previsão de demanda e consumo de energia em nível global ou espacial, bem como para os estudos de previsão de mercado.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Estudo dos agregados leves

O modelo é baseado na aquisição de dados externos, como valores mensais medidos (que denominaremos dados do grupo Curva de Carga), tais como curvas de carga diárias (hora a hora) em kW, fator de potência por ponto de suprimento e por subestação de distribuição; e dados elétricos georeferenciados (denominados dados do grupo Consumo), como consumo e quantidade de consumidores por classe para cada transformador de distribuição.

Quanto ao armazenamento de informações, para as subestações de distribuição e pontos de suprimentos (grupo Curva de Carga), identifica-se a demanda máxima ocorrida no mês, tanto individual quanto coincidente, além da curva de carga do dia de máxima potência e da curva de carga de máxima correlação estatística com o perfil mais frequente observado no mês, denominada “forma forte”. Para os dados do grupo

Consumo, suas informações serão armazenadas de forma agregada por quadrículas, municípios e subestações de distribuição.

Quanto aos estudos de previsão, é possível realizar uma previsão global ou espacial de uma entidade elétrica ou geográfica referente ao consumo de energia e à demanda máxima, a partir da construção de uma série histórica. Os métodos para previsão de consumo, demanda máxima e número de consumidores por quadrícula, por município ou por subestação são baseados em modelos ARIMA (Box-Jenkins [1]). Pelo fato de o modelo de previsão ter um módulo desenvolvido especificamente para este fim, não é necessário o uso de *softwares* estatísticos externos.

## II. DESCRIÇÃO GERAL

Em linhas gerais, o *software* busca atender às necessidades de análise geográfica da carga que viabilizem estudos voltados para a previsão de mercado em diversos níveis, sendo eles global, por ponto de suprimento ou subestação de distribuição e espacial. Cada um desses níveis se destina para atender necessidades internas e externas à distribuidora, como das entidades do SEB (EPE, ANEEL e ONS). Neste sentido, de acordo com o nível de previsão, o *software* visa auxiliar nos seguintes objetivos:

- Previsão global: comercialização (compra e venda) de energia, revisão tarifária e previsão de receita.
- Previsão por ponto de suprimento ou por subestação: atendimento do PAR (Plano de Ampliação e Reforço da Rede Básica) e das necessidades da área de planejamento da rede de distribuição.
- Previsão espacial: atendimento ao PRODIST (Procedimentos de Distribuição) e para os estudos internos direcionados para a expansão da rede do sistema elétrico de distribuição.

Para isso, o *software* possuirá um banco de dados com informações elétricas mensais medidas e faturadas, sendo elas:

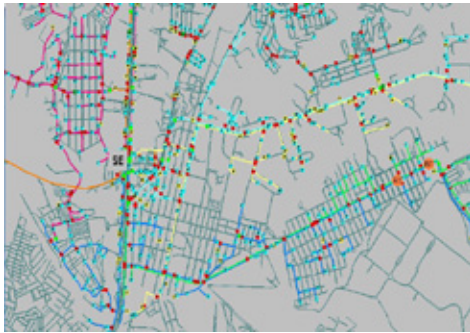
- Dados do grupo Curva de Carga: curvas de carga diária (hora a hora) de demanda e fator de potência dos pontos de suprimentos e das subestações de distribuição.
- Dados do grupo Consumo: dados georeferenciados de consumo de energia e número de consumidores de baixa tensão.

Para a localização espacial da carga, é necessário o uso dos dados referentes às entidades elétricas presentes na topologia da rede, como representados na Figura 1.

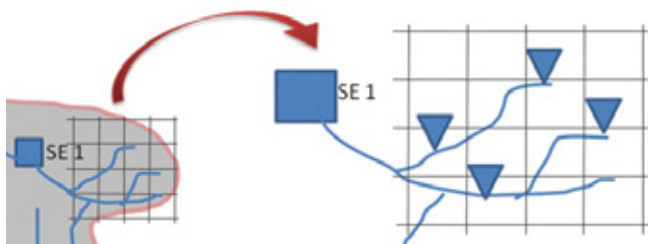
Projeto de P&D: Metodologia e Sistema para Determinação Analítica e Geográfica da Evolução de Mercado Consumidor Considerando Incertezas - 0380-012/2006; EDP ESCELSA; DAIMON Engenharia e Sistemas S/C Ltda; Ciclo 2005/2006; Investimento: R\$ 319.660,00.

1 DAIMON (e-mails: alden@daimon.com.br; mario@daimon.com.br; fabioseh@daimon.com.br).

2 ESCELSA (e-mails: joao.zavaris@edpbr.com.br; gli-ci-a.barbieri@edpbr.com.br).



Além da localização, há também informações associadas às entidades elétricas da rede, que são justamente, como mencionado anteriormente, parte do conjunto de dados do grupo Consumo, que devem ser armazenados no banco de dados. Estes dados estão separados por estação transformadora MT/BT (ET) e estação primária (EP) e podem ser reagrupados a partir de uma nova unidade elementar. Para o armazenamento de dado em nível espacial, utilizou-se a quadricula como unidade elementar.



Desta forma, torna-se possível analisar geograficamente a carga por quadricula, por município ou região e, também, por subestação de distribuição. Por exemplo, com o mapa político da área de concessão georeferenciado pode-se agregar as informações das quadriculas por município ou região geográfica.

### III. METODOLOGIA

A maioria dos modelos relacionados à previsão de demanda apresenta, como ponto de partida, uma série histórica da carga do mercado consumidor (ou de uma entidade elétrica ou geográfica) sendo que alguns destes modelos agregam a análise de séries temporais de outras informações para a realização da previsão. Segundo [2] esses modelos de previsão, que incorporam especificamente o tratamento de séries temporais – denominadas, pelo autor, como modelos estatísticos – podem ser classificados em duas categorias: univariados e multivariados. Além deles, a previsão pode-se valer de outras categorias de modelos, como por exemplo: de julgamento, consulta e outros, que não são o foco metodológico deste P&D.

Os modelos univariados são aqueles que se utilizam apenas da série temporal do dado que se pretende prever. Basicamente, eles partem da premissa de que a previsão do futuro é o resultado dos acontecimentos do passado [3]. Sendo assim, busca-se encontrar uma função que se ajuste mais adequadamente aos dados, construindo, dessa forma, uma tendência para o futuro a partir de uma extrapolação do passado. Já os modelos multivariados incorporam, além da série temporal da demanda,

séries temporais de outros dados correlacionados (como PIB, temperatura etc.). Dentre eles podemos citar os modelos causais, que englobam os modelos econométricos e os modelos multivariados de Box & Jenkins, e os modelos que envolvem uso de inteligência artificial, tais como uso de redes neurais, lógica *fuzzy*, algoritmos evolutivos e redes bayesianas.

O tratamento de séries temporais pode envolver tanto a análise da série quanto seu uso para a realização de previsão. Na atividade de análise busca-se interpretar a série temporal com a intenção de compreender quais são as variáveis independentes, ou seja, as informações que impactam na evolução dos dados da série. Em muitos casos, esta interpretação pode ser útil para a realização da previsão de demanda. Normalmente, esta análise da série pode ser feita por meio do uso do método denominado Decomposição Clássica, o qual interpreta os dados (variável dependente) de uma série histórica como o resultado de três componentes [4]: tendência, sazonalidade ou periodicidade e aleatoriedade. Sendo assim, esta decomposição contribui para encontrar quais são as variáveis independentes vinculadas a cada uma das três componentes. Por exemplo, em uma série histórica de consumo de energia, a componente tendência pode estar vinculada a uma variável econômica, como o PIB, ou demográfica, como o crescimento populacional. A componente sazonalidade pode estar relacionada a variáveis climáticas, como temperatura média mensal, e a aleatoriedade a outros fatores que nem sempre são detectáveis.

A metodologia adotada neste trabalho para cumprimento de um dos seus objetivos, que é a previsão de mercado de demanda temporal e espacial, foi concebida face à metodologia e aos critérios adotados pela ANEEL para realização do segundo ciclo de revisão tarifária, conforme as diretrizes estabelecidas na Resolução Normativa n°. 234, de 31 de outubro de 2006.

O módulo de previsão de mercado foi implementado segundo o método de Box & Jenkins, por meio da estimação de modelos ARIMA.

O Método Box & Jenkins tem por objetivo identificar um modelo que reproduz um fenômeno (sistema dinâmico) com relativa precisão, por meio da obtenção de uma equação que tenta reproduzir e/ou preservar as características (valores e tendências) do fenômeno observado como, por exemplo, consumo de energia ou demanda, que apresenta uma dinâmica desconhecida. Para isso, esse método agrega o modelo auto-regressivo (AR) e o de média móvel (MA), que são abreviados pelas siglas ARMA ou ARIMA quando se agrega também o processo de integração. Um modelo auto-regressivo de ordem (p) tem como objetivo calcular (prever) o valor para um instante t ( $Z_t$ ), baseando-se nos valores passados combinados com uma variável aleatória, sendo a ordem (p) a quantidade de valores passados considerados para obtenção do ( $Z_t$ ). O modelo de média móvel de ordem (q) tem como objetivo calcular o valor para um instante t atual ( $Z_t$ ), baseando-se nos valores das variáveis aleatórias passadas e atual, sendo a ordem (q) a quantidade de valores aleatórios passados considerados para obtenção do  $Z_t$ .

O método Box & Jenkins tem como característica o uso de uma rotina interativa baseada em séries históricas. Esse método apresenta algu-

mas etapas [5], sendo elas: especificação dos modelos a serem considerados (AR, MA, ARMA, ARIMA, sazonais ou não-sazonais); identificação do modelo a ser utilizado para previsão, com a determinação das ordens (p) e (q), baseado na análise das Funções de Autocorrelação (FAC) e das Funções de Autocorrelação Parcial (FACP) e outros critérios; estimação dos parâmetros do modelo identificado anteriormente; verificação do modelo ajustado em relação à série histórica, por meio de uma análise de resíduos; e, por fim, uso do modelo para previsão, estimando os dados e o respectivo intervalo de confiança baseado nos erros estimados.

#### IV. CONCLUSÕES

O *software* desenvolvido se apresenta como ferramenta de apoio na análise e no estudo do comportamento geográfico da carga no âmbito do planejamento da expansão de redes de distribuição de energia elétrica e dos estudos de previsão de mercado. Por meio da obtenção de séries históricas, o *software* tem as informações organizadas de acordo com uma hierarquia de dados que torna possível a realização de consultas gerais e específicas automatizadas, por meio de mapas temáticos de consumo e demanda por entidades geográficas ou elétricas, de tabelas com informações elétricas agregadas, de representações gráficas de evolução do consumo, de quantidade de consumidores e demanda máxima, além de curvas de carga. Com as informações armazenadas em séries históricas, é possível realizar previsões de consumo de energia e demanda máxima por entidade geográfica ou elétrica.

Com sua adoção, a empresa disporá de metodologia capaz de auxiliar, de forma efetiva, as análises de mercado que direcionam as ações estratégicas de investimentos, principalmente aquelas que envolvem decisões de investimento por prioridade, carência e retorno econômico.

Como resultado imediato, pode-se destacar a melhoria na forma de

organização e no armazenamento das informações. Apesar de a maioria das informações utilizadas no modelo já serem armazenadas em banco de dados corporativo, geralmente eles eram utilizados de forma desagregada e em *softwares* diferentes, dificultando a integração do trabalho.

Deve-se, também, ressaltar a possibilidade de visualização de informações de forma georeferenciada, o que beneficia o usuário engajado no planejamento da rede de distribuição. Além disso, a existência do módulo de previsão na ferramenta viabiliza a maioria dos estudos de crescimento de mercado, que são essenciais para o planejamento estratégico e tático da distribuidora.

Com os resultados históricos e previstos estruturados espacialmente, é possível observar o comportamento da carga ao longo do tempo e fazer previsões em regiões por classe de consumo e outros.

---

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Box, George E.; Jenkins, Gwilyn M.; Reinsel, Gregory C. Time series analysis: forecasting and control. 2. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994.
- [2] J.S Armstrong, Principles of Forecasting: A Handbook for Re-searchers and Practitioners. 2nd ed., Ed. Springer, 2001.
- [3] P.A. Morettin, C.M. Toloi, Análise de séries temporais. 2ª edição revisada e ampliada. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2006.
- [4] V. Miranda, Previsão de cargas por séries temporais. Notas de aula - Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2002.
- [5] P.M.Ribeiro, D.A. Garrido, R.M.G. Velásquez, Sistema Computacional para Previsão de Demanda por Energia em Pontos de Suprimento e Subestações da COELBA. XVII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – SENDI. Belo Horizonte, Agosto de 2006.



# Escelsa

---

## Equipamento de baixo custo permite monitorar qualidade da energia em tempo real

Pesquisadores da Escelsa (Espírito Santo Centrais Elétricas S/A), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo e da Fundação Espírito-santense de Tecnologia desenvolveram medidor de baixo custo para aferir a qualidade no fornecimento de energia. Ao final da pesquisa, chegou-se a um equipamento de R\$ 1.000,00, com possibilidade de redução do custo em mais 20% se houver utilização em larga escala. No mercado, segundo os pesquisadores, esse equipamento tem preços entre R\$ 5.500,00 e R\$ 100.000,00. O medidor desenvolvido possui vantagens como operação remota, autonomia mínima de seis horas, possibilidade de instalação ao ar livre e capacidade de armazenamento ilimitada (as medições são transmitidas e armazenadas em um servidor). A motivação da pesquisa foi a regulamentação dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodist Módulo 8) pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2008, que estabeleceu padrões de qualidade no fornecimento de energia. Essa norma tornou relevante a elaboração de um medidor de baixo custo, que pudesse ter uso disseminado. O equipamento desenvolvido faz a medição de 1.008 intervalos de 10 minutos, o equivalente a uma semana de medição. Os intervalos são divididos em “janelas” de tempo. Como a ocorrência de interrupções ou variações de tensão invalida intervalos, os inválidos são substituídos por número igual de intervalos válidos subsequentes. Finalizada a medição, os resultados são enviados (via serviço de comunicação de dados sem fio e Internet) para armazenamento em um servidor, que também gerencia o sistema de monitoramento. De acordo com os pesquisadores, os testes indicaram que houve bom desempenho e excelente relação entre o custo e o benefício do equipamento. O medidor atende às necessidades da concessionária, o que permite implantação de monitoramento amplo a custo reduzido e propicia uma contribuição significativa no levantamento dos índices de qualidade e, conseqüentemente, na melhoria da qualidade do fornecimento de energia.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Espírito Santo Centrais Elétricas S/A (Escelsa)

Título: Desenvolvimento e Implementação de Sistema de Monitoramento de Qualidade da Energia Elétrica em Tempo Real

Ciclo: 2005/2006

Investimento: R\$ 397.020,00

Execução: Universidade Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Fundação Espírito-santense de Tecnologia, Universidade Federal de Uberlândia

# Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Monitoramento de Qualidade da Energia Elétrica em Tempo Real

Guilherme P. Colnago 1, José L. F. Vieira 2, Gilberto C. D. Sousa 2, Emerson Trarbach 3, José R. Macedo Jr. 4 e Leonardo B. B. Macieira 5

**Resumo** – Este artigo é sobre o desenvolvimento de um medidor de qualidade da energia elétrica de baixo custo e que atende à norma de qualidade. Com a nova regulamentação e a proposta de uma campanha nacional de medição para determinar os indicadores de qualidade, um medidor de baixo custo para uso em larga escala tornou-se relevante.

**Palavras-chave** – Medidor, Qualidade da Energia Elétrica.

## I. INTRODUÇÃO

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou em 2008 os Procedimentos de Distribuição (PRODIST), cujo Módulo 8 regulamenta a área de Qualidade da Energia Elétrica (QEE) e cria uma norma [1] inexistente no país.

Parte deste trabalho foi dedicada ao estudo dos medidores de QEE existentes no mercado nacional. Três tipos foram encontrados [2]: os de “baixo” custo, que não atenderiam a norma (questões técnicas) e os de “médio” e de “alto” custo, que atenderiam a norma, mas seriam onerosos (larga escala).

Observada a situação do mercado e a necessidade de um amplo monitoramento da rede, foi proposto um projeto de P&D para contribuir para a questão, desenvolvendo-se um medidor de QEE de baixo custo e que atendesse a norma [2].

Os medidores do mercado apresentam custo bem maior quando comparados ao medidor desenvolvido (valores aproximados):

- MEDCAL NT®, da *CESINEL*: R\$ 6.000 (IP65);
- SEL 734®, da *SEL*: R\$ 5.500;
- Medidores da *Fluke* (Classe A): até R\$ 100.000;
- Medidores da *Arbiter System*: até R\$ 20.000.

Os medidores *SEL*, *Fluke* e *Arbiter* não podem ser instalados ao tempo.

O custo final do equipamento desenvolvido é R\$ 1.000 (podendo ser reduzido em 20% se usado em larga escala) e possui outras vantagens, como:

- Operação remota: dispensa mão-de-obra e reduz custos, além de simplificar o gerenciamento;
- Autonomia mínima de 6h em interrupções trifásicas;
- Instalação ao tempo (IP65);
- Capacidade de armazenamento ilimitada: as medições são transmitidas e armazenadas em um servidor.

## II. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

O diagrama de blocos do medidor é apresentado na figura 1. O processamento de sinais é baseado em técnicas digitais [3], implementadas em microcontrolador de baixo custo dsPIC33f, da Microchip.

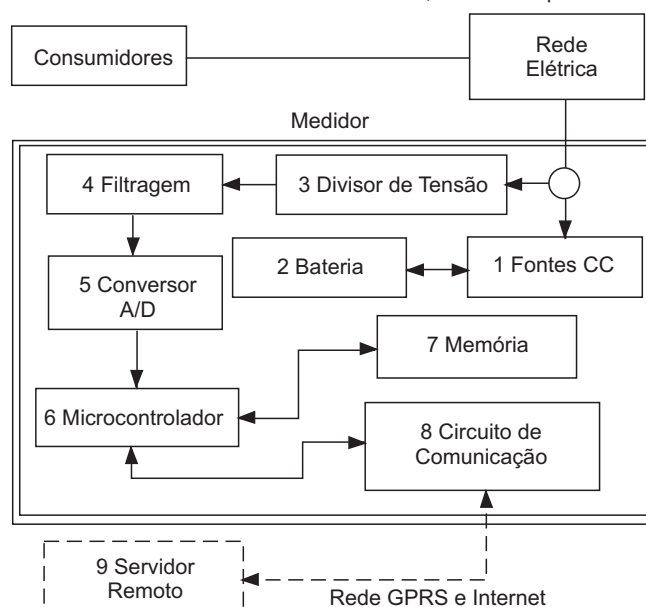


Figura 1. Diagrama de Blocos do medidor.

A medição é composta de 1.008 intervalos de 10 minutos (1 semana). Os intervalos são divididos em “janelas” de tempo. Estas janelas são processadas conforme equações especificadas pela norma. A ocorrência de transitórios (Interrupção ou Variação de Tensão) invalida intervalos. Intervalos inválidos são substituídos por número igual de intervalos válidos subsequentes.

Finalizada a medição, os resultados são enviados (via rede GPRS e Internet) para armazenamento em um servidor, que também gerencia o sistema de monitoramento.

Especificações: resolução de 12bits, precisão de 1% (tensão eficaz), amostragem de 128am/ciclo e monitoramento do 25º harmônico (requisito mínimo). Operação em redes do tipo estrela aterrada com tensão nominal de fase de 127V (ajuste possível para outras tensões).

### A. Tensão em Regime Permanente

Neste indicador a tensão eficaz de cada intervalo é calculada a partir das janelas de tempo. Os valores são classificados como adequados, precários e críticos, como na figura 2

Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica em Tempo Real - 0380-008/2006; EDP ESCELSA; Univ. Fed. do Espírito Santo e Fund. Espírito-santense de Tecnologia; Ciclo 2005-2006; R\$ 397.020,00.

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (e-mail: gpcolnago@ifes.edu.br).

2 Universidade Federal do Espírito Santo (e-mail: joseluiz@ele.ufes.br; g.sousa@ele.ufes.br).

3 Fundação Espírito-santense de Tecnologia (e-mail: emer-son.trarbach@gmail.com).

4 Universidade Federal de Uberlândia (e-mail: jrubens.macedo@gmail.com).

5 EDP ESCELSA (e-mail: leonardo.macieira@enbr.com.br).

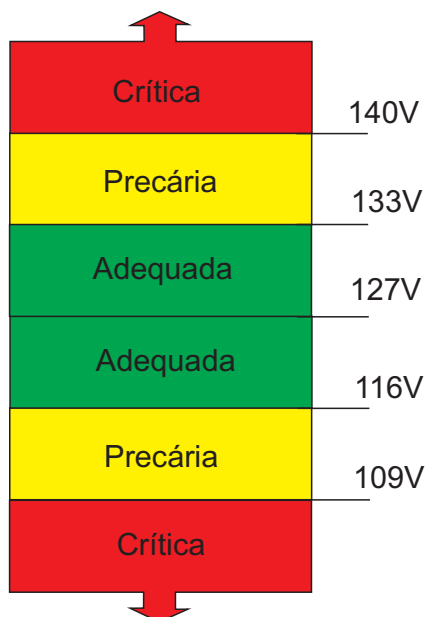


Figura 2. Faixas de conformidade de tensão.

### B. Harmônicos

Em cada janela processa-se a Distorção Harmônica Individual de Tensão DIT<sub>h</sub> (1) e a Distorção Harmônica Total de Tensão DTT (2) [1].

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (1)$$

$$DTT = \sqrt{\sum_{h=2}^{25} V_h^2} \times 100 \quad (2)$$

sendo "h" indicador do componente harmônico processado.

A norma não define como calcular os indicadores finais. Definiu-se como resultado os maiores valores das janelas no intervalo (piores casos). Esta opção é interessante para avaliação da rede durante a campanha de medição. Futuras especificações serão atualizadas no firmware.

### C. Desequilíbrio de Tensão

Utiliza-se o método de CIGRÉ (3) e (4) para cálculo do Fator de Desequilíbrio (FD). Adotou-se como indicadores os valores máximos e médios do FD.

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (4)$$

sendo V<sub>ij</sub> a tensão de linha entre fases.

### D. Flutuação de Tensão

A metodologia desse indicador é definida na IEC 61000-4-15 [4]. Diversos estudos foram realizados para adaptação e digitalização do modelo [5], implementado em microcontrolador.

### E. Variação de Tensão de Curta Duração

Uma Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD), ilustrada na figura 3, é uma alteração significativa no valor eficaz da tensão, duração máxima de três minutos. Os períodos T1 e T2 representam, respectivamente, uma elevação e um afundamento.

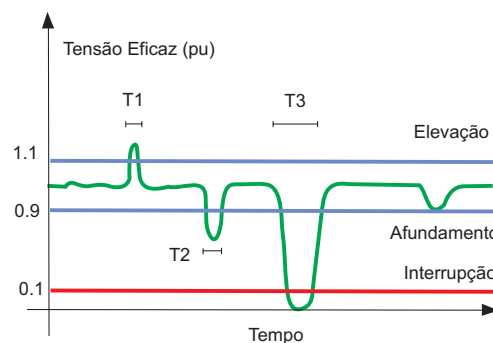


Figura 3. Exemplo de VTCD e Interrupção.

### F. Interrupção

Esse indicador está relacionado com Continuidade (FIC, DEC, DIC etc). Na figura 3 há um exemplo de ocorrência de interrupção no período T3. A duração deve ser superior a 3 minutos.

## III. RESULTADOS OBTIDOS

O desempenho do medidor foi avaliado com aferidores precisos, como o 1133A®, da Arbiter Systems.

A tabela I apresenta resultados das medições de Pst, parâmetro associado à flutuação, notoriamente conhecido por sua complexidade de implementação [5]. Outros resultados em [2]

Tabela I. Comparação de resultados (modulação de 8,8Hz).

PST 1133A	PST medido	Erro %
1,31084	1,291946	1,44%
1,310757	1,289112	1,65%
1,310879	1,291268	1,50%
1,310845	1,291946	1,44%
1,310686	1,292705	1,37%
1,310471	1,289001	1,64%

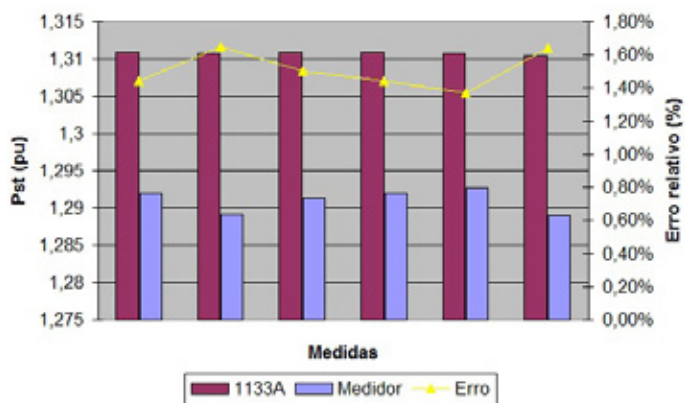


Figura 4. Exemplo de ocorrência de VTCD e Interrupção.

Uma fotografia do medidor desenvolvido (e preparado para instalação) é apresentada na figura 5



Figura 5. Medidor.

#### IV. CONCLUSÕES

Com bom desempenho nos resultados e uma excelente relação custo/benefício, o medidor atende às necessidades da concessionária e permite implantação de monitoramento amplo a custo reduzido, além de propiciar uma contribuição significativa no levantamento dos índices de qualidade e, conseqüentemente, na melhoria dos mesmos.

Um lote de 30 medidores fabricados está em avaliação.

Propostas futuras: otimização do firmware e simplificação do hardware (redução de custos).

#### V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ANEEL e a EDP ESCELSA, que financiou o projeto.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PRODIST-Módulo 8-Qualidade da Energia Elétrica, ANEEL, Rev.1, Res. Normativa no395/2009, Jan. 2009.
- [2] G. P. Colnago, "Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Monitoramento em Tempo Real da Tensão da Rede com Acesso Remoto," Dissertação de Mestrado, Dept. Eng. Elétrica, UFES, 2009.
- [3] A. V. Oppenheim, A. S. Willsky and S. H. Nawab, Signals and Systems. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1997.
- [4] Testing and measurement techniques - Section 15: Flickermeter - Functional and design specifications, IEC 61000-4-15, 2003.
- [5] M. Piekars, M. Szlosek, Z. Hanzelka, A. Bień, A. Stankiewicz, and M. Hartman, "Comparative Tests of Flickermeters," in Proc 2002 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Vol. 1, pp. 220-227.

# AES Eletropaulo

---

## Técnicas de separação de resíduos de distribuidoras expandem receita e ganhos ambientais

Pesquisadores da AES Eletropaulo fizeram estudo para identificar e quantificar resíduos produzidos pela concessionária e apresentar oportunidades para aumentar receita com a sucata e diminuir a quantidade do material descartado. De acordo com o estudo, em 2009 a AES Eletropaulo gerou quase quatro mil toneladas de resíduos não perigosos, subdivididos em 30 tipos. A venda desse material como sucata rendeu à distribuidora R\$ 6,9 milhões. As pesquisas indicaram que, apenas a divisão dos materiais, após desmontagem e separação, subiria o valor da venda em R\$ 600 mil. Esse procedimento geraria cerca de 214 toneladas de porcelana que, moídas, poderiam substituir as 210 toneladas de brita compradas anualmente pela concessionária para utilização no piso das subestações. Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida indicou que essa proposta é 8,5% menos impactante, em termos ambientais, que a utilização de brita natural. Outra proposta foi a utilização da porcelana britada na formulação de concreto. Cerca de 160 toneladas de porcelanas intactas poderiam ser utilizadas na confecção de gabiões (cilindro oco de fitas de ferro, cheio de pedras, para servir em barragens e diques) para contenção de encostas. Peças de ferro galvanizado poderiam ser decapadas (processo que tira verniz ou tinta) e novamente galvanizadas para seu reaproveitamento. Dada a variedade e a complexidade dos resíduos de empresas desse tipo e a falta de pesquisas sobre o assunto, os autores avaliam que outros estudos devem ser realizados, com vistas a propor novas alternativas e quantificar seu benefício.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: AES Eletropaulo  
Título: Oportunidades de Melhoria na Gestão de Resíduos em Empresas Distribuidoras de Eletricidade: o caso da AES Eletropaulo  
Ciclos: 2006/2007 e 2009/2010  
Investimento: R\$ 639.592,00  
Execução: Universidade Estadual Paulista (UNESP) e Universidade de Sorocaba

# Oportunidades de Melhoria na Gestão de Resíduos em Empresas Distribuidoras de Eletricidade: o caso da AES Eletropaulo

Sandro D. Mancini 1, Bruno F. Gianelli 1, Vladimir X. Batista 2, Luciane L. Rodrigues 1, Alexandre M. da Silva 1 e Haroldo L. Hasegawa 3.

**Resumo** – A gestão de resíduos em distribuidoras de eletricidade é bastante complexa, pois enquadram-se em vários tipos (valorizados ou não) e gerados em grande quantidade. Em 2009, a AES Eletropaulo gerou quase quatro mil toneladas de resíduos não perigosos, subdivididos em 30 tipos. Uma divisão por materiais, após desmontagem e separação dos diferentes materiais contidos nos fios, cabos, chaves, isoladores com ferragem e para-raios, subiria o valor da venda em R\$ 600 mil. Isso geraria cerca de 214 toneladas de porcelana que, moídas, poderiam substituir as 210 toneladas de brita compradas anualmente pela concessionária para uso em subestações. Cerca de 160 toneladas de porcelanas intactas poderiam ser utilizadas na confecção de gabiões para contenção de encostas. Além disso, peças de ferro galvanizado poderiam ser decapadas e novamente galvanizadas para reaproveitamento.

**Palavras-chave** – Caracterização, Gestão de Resíduos, Reciclagem, Resíduos, Reutilização.

## I. INTRODUÇÃO

Foram encontrados muitos estudos sobre Resíduos Elétricos e Eletrônicos publicados na literatura científica internacional [1-4], porém nenhum que abordasse os resíduos gerados por empresas de distribuição de eletricidade.

Este artigo apresenta um estudo nesse sentido, a partir dos resíduos não perigosos gerados pela AES Eletropaulo, onde serão apresentadas e quantificadas as oportunidades existentes para aumentar a receita com a sucata e/ou diminuí-la.

## II. METODOLOGIA

As Figuras 1 e 2 apresentam fotografias de caixas com dois dos tipos de resíduos separados pela empresa. Ao todo, são 30 tipos, numa separação na fonte geradora que geralmente enfatiza o produto e não o material. Todos os 30 tipos de resíduos são vendidos a uma única empresa e essa venda rendeu, em 2009, R\$ 6.893.573 à concessionária.



Figura 1 – Caixa com "Isoladores de Porcelana ou Vidro com Ferragem"



Figura 2 – Caixa com "Chaves-Faca, Chaves Fusível e Para-Raios"

Amostras representativas de "chaves-faca, chaves-fusível e para-raios" e "isoladores de porcelana ou vidro com ferragem", bem como fios e cabos de alumínio e cobre com isolamento, chumbo ou alma de aço foram obtidas segundo a ASTM 5231 [5]. As amostras foram desmontadas e os materiais separados foram pesados. Esse procedimento propiciou os cálculos da caracterização de resíduos por material.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela I apresenta a caracterização dos resíduos por material.

Resíduo	Kg	(%)
Aço silício	161.692	4,1
Alumínio (de fios e cabos)	592.324	15,2
Alumínio com liga (peças)	28.935	0,7
Bronze e Latão (peças)	4.620	0,1
Chumbo	11809	0,3
Cobre (cabo seco)	96152	2,5
Cobre (de fios e cabos)	305.326	7,8
Cobre (peças)	1098	0,0
Diversos	333.748	8,6
EPIs/EPCs	29.294	0,8
Ferro galvanizado (peças)	662.519	17,0
Ferro misto	851.712	21,8
Madeira (em bom estado)	17.711	0,5
Madeira (em mau estado)	154.180	4,0
Porcelana Proveniente da Desmontagem	213.938	5,5
Porcelana "Intacta"	160.024	4,1
Polímeros (peças e isolamento de fios e cabos)	235.981	6,0
Vidro	42.210	1,1
Total	3.903.264	100,0
Receita Potencial	R\$ 7.485.996,00	

<sup>1</sup>Caracterização dos Materiais Descartados das Redes e Avaliação do Potencial de Reciclagem – 0390-005/2007; 'AES Eletropaulo'; 'UNESP - Universidade Estadual Paulista – Campus Experimental de Sorocaba'; 'ciclo 2006/2007 – execução 2009/2010'; 'R\$ 639.592,00'.

1 'UNESP – Univ. Estadual Paulista' (mancini@sorocaba.unesp.br; brunogianelli@gmail.com; lulopesrodrigues@gmail.com; amsilva@sorocaba.unesp.br).

2 'AES-Eletropaulo' (vladimir.xavier@AES.com).

3 'Universidade de Sorocaba' (harol-do\_hasegawa@yahoo.com.br).



Analisando a Tabela I, foram apresentadas as seguintes propostas:

- 1) separar os resíduos conforme os materiais presentes (Tabela I), o que poderia gerar cerca de R\$ 600 mil anuais a mais de receita em relação a separação atual. A separação pode ser feita a partir da desmontagem das chaves, isoladores com ferragem, para-raios, fios e cabos;
- 2) britar a porcelana advinda da desmontagem em pedaços semelhantes aos das britas adquiridas pela concessionária. A AES Eletropaulo compra anualmente 210 toneladas de brita para os pisos de suas subestações, quantidade semelhante a obtida com material cerâmico da desmontagem (213 t). Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida indicou que essa proposta é 8,5% menos impactante em termos ambientais que a utilização de brita natural [6]. Outra proposta, baseada em estudo de Portela e colaboradores [7], é a utilização da porcelana britada na formulação de concreto;
- 3) confeccionar gabiões com a porcelana intacta, para a contenção de encostas e taludes para proteção do ativo da concessionária (linhas, prédios etc.). A viabilidade técnica dessa utilização começou a ser testada em pequenas parcelas de solo [8];
- 4) submeter peças descartadas de ferro galvanizado a um processo de decapagem e realizar nova galvanização para reutilização. Estudo realizado com abraçadeiras descartadas comprovou essa possibilidade [4,9].

#### IV. CONCLUSÕES

A separação por material dos resíduos gerados pela empresa poderia render R\$ 600 mil a mais em relação ao valor obtido com o procedimento atual. Seria além disso, possível internalizar os resíduos de porcelana em pisos de subestações e ou na confecção de gabiões para contenção de encostas. Ainda, peças descartadas de ferro galvanizado poderiam ser reaproveitadas, a partir de decapagem e nova galvanização. Dessa forma, para esses casos as opções atuais de aterramento (porcelana) ou até mesmo a reciclagem (ferro galvanizado) podem ser consideradas medidas extremas, dada a possibilidade de aproveitamento desses resíduos pela própria concessionária.

Dada a variedade e complexidade dos resíduos de empresas desse tipo, outros estudos devem ser realizados, a fim de propor novas alternativas e quantificar seu benefício.

#### V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às bolsistas e colaboradoras do projeto, bem como à empresa Amara e à João Milanezi Neto. Da AES gostariam de agradecer, entre outros, à Leandro Forti, André Alves, Denise F. Mendes, Silma Carmelo e Sonia Hermsdorff.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Veenstra, C. Wang, W. Fan, and Y. Ru, "An analysis of E-Waste flows in China," *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, vol. 47, pp. 449-457, May 2010.
- [2] P. Manomaiwibool. "Extended producer responsibility in a non-OECD context: The management of waste electrical and electronic equipment in India," *Resour. Conserv. Recy.*, vol. 53, pp. 136-144, Jan. 2009.
- [3] B.R. Babu, A.K. Parande, and C.A. Basha, "Electrical and electronic waste: a global environmental problem," *Waste Manage. Res.*, vol. 25, pp. 307-318, Aug. 2007.
- [4] L. L. Rodrigues, "Caracterização de materiais descartados de redes de distribuição de eletricidade para fins de reciclagem", *Dissertação de Mestrado, Progr. Ciênc. & Tec. Mat., Univ. Estadual Paulista*, 2010.
- [5] ASTM Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste, *ASTM Standard D5132*, Jun. 2003.
- [6] B.F. Gianelli, S.D. Mancini, V. X. Batista, L.L. Rodrigues, M. Favero and J. Ziviani, "A Avaliação do ciclo de vida de isoladores cerâmicos", in *Anais 2010 II Congr. Bras. Gestão do Ciclo de Vida*, pp. 1-6.
- [7] K.F. Portella, A. Joukoski, R. Franck, and R. Derksen. *Reciclagem secundária de rejeitos de porcelanas elétricas em estruturas de concreto*. *Cerâmica*, vol. 52, pp. 155-167, Sep. 2006.
- [8] H. Hasegawa, A.M. Silva, B.F. Gianelli, J. Morales and M. Favero, "Reaproveitamento de isoladores cerâmicos retirados de redes de distribuição elétrica", in *Anais 2011 26o Congr. Bras. Engenharia Sanitária e Ambiental*, no prelo.
- [9] L.L. Rodrigues, J. Ziviani, V.X. Batista, B.F. Gianelli and R.M. Montagnoli, "Análise do potencial de reutilização de abraçadeiras", in *Anais 2010 19o Congr. Bras. Engenharia e Ciência dos Materiais*, pp. 9291-9298.

# AES Eletropaulo

---

## Estudo aponta vantagens de uso de corrente alternada para alimentação de trólebus

Projeto realizado pela AES Eletropaulo abordou a viabilidade técnica-econômica de um sistema inovador para fornecimento de energia elétrica tanto em corrente alternada (CA) quanto em corrente contínua (CC) para sistemas de transporte de massa com tecnologia trólebus. O trólebus é um ônibus movido por uma fonte de eletricidade externa, na qual a captação da energia elétrica é feita por meio dos coletores de corrente localizados na parte superior do veículo. Esses coletores permanecem em contato com a rede de alimentação, em corrente contínua. Dessa forma, a tarifação da energia atualmente é feita como a de um consumidor de média tensão e esses custos são cobrados das Gestoras de Transporte Público. Com o uso do sistema de corrente alternada, a medição do consumo será feita em baixa tensão (sem necessidade de tarifa específica). Além disso, os ativos relacionados ao serviço podem ser incluídos na base de remuneração da concessionária. Espera-se, ainda, redução dos custos de operação e manutenção e mais estímulo ao uso de energia elétrica para tração e, conseqüentemente, aumento da frota de trólebus. Conta-se, ainda, com externalidades positivas, como redução dos índices de poluição e melhor utilização da área viária com utilização desse tipo de veículo de transporte de massa. Foi realizada também uma comparação tarifária para análise econômica dos custos detalhados de operação e manutenção e valor da tarifa da energia consumida para alimentação dos trólebus em corrente alternada. De acordo com os pesquisadores, o estudo permite consolidação de tecnologias que permitirão que todo o acionamento dos veículos trólebus seja em corrente alternada, alterando completamente o modelo atual e permitindo novos negócios.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: AES Eletropaulo

Título: Concepção, Análise, Implementação e Experimentação de um Sistema de Alimentação CA e/ou CC para Sistema Trólebus de 120 kW e Avaliação Tarifária

Ciclo: 2005/2006

Investimento: R\$ 1.231.64,00

Executora: FEPISA – Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira; M.FAP – Consultoria Elétrica e Comércio LTDA; AMBranco Consultoria Ltda; e SINDICATO DOS ENGENHEIROS NO ESTADO DE SÃO PAULO – SEESP.



# Concepção, Análise, Implementação e Experimentação de um Sistema de Alimentação CA e/ou CC para Sistema Tróibus de 120 kW e Avaliação Tarifária

Jerry Marco Muno 1 e Marcelo dos Santos

**Resumo** – Este artigo aborda a viabilidade técnica-econômica para o fornecimento de energia elétrica para sistemas de transporte de massa com tecnologia tróibus, possibilitando sua alimentação em Corrente Alternada (CA) ou Corrente Contínua (CC). Em CA promove a correção ativa do fator de potência, drenando-se corrente praticamente senoidal (reduzidas distorções harmônicas - DHTI) da rede de corrente alternada, atendendo às restrições impostas pela norma IEC 61000-3-4. O projeto também abordou um estudo tarifário, com análise econômica, bem como detalhamento custos de operação e manutenção e valor da tarifa.

**Palavras-chave** – Conversor CA-CC; Distribuição de Energia Elétrica; Revisão Tarifária; Transporte Coletivo com tecnologia Tróibus.

## I. INTRODUÇÃO

A tecnologia é inovadora, pois permitirá a alimentação dos veículos tanto em corrente alternada como em corrente contínua utilizando a mesma rede de alimentação.

O retificador (híbrido/chaveado) fará parte do tróibus, associado ao estágio de conversão CC-CC (chopper).

A alimentação da rede em baixa tensão em corrente alternada a medição do consumo de energia elétrica poderá ser efetuada no lado de BT (baixa tensão).

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O tróibus é um ônibus movido por uma fonte de eletricidade externa. A captação da energia elétrica feita por meio dos coletores de corrente localizados na parte superior do veículo, os quais permanecem em permanente contato com a rede de alimentação, em corrente contínua.

### A. Sistema Atual

É constituído de estações retificadoras e a linha de contato.



Figura 1. Acima: Rede de alimentação; Abaixo: Estação retificadora do tipo compacta.

### B. Novo Sistema de Alimentação Desenvolvido

A rede de alimentação CA/CC desenvolvida para alimentação da rota experimental do tróibus possui dois tipos de estações alimentadoras, como apresentado na figura 2.

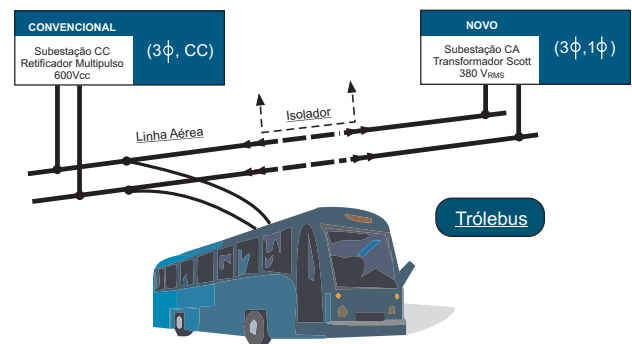


Figura 2. Sistema de distribuição para tróibus CA/CC.

A separação elétrica dos circuitos se dá por meio de isoladores de seção, dando continuidade mecânica à rede e permitindo a passagem dos coletores de corrente.

### C. Avaliação Tarifária

A medição da energia consumida atualmente é feita em média tensão, sendo praticada a cobrança destes custos das Gestoras de Transporte Público.

Diante disso, torna-se necessária uma nova tarifa que cubra esses custos com um novo cálculo da chamada "Parcela B" que compõe as tarifas, onde estão incluídas as despesas de Operação e Manutenção (O&M), remuneração dos ativos, entre outras.

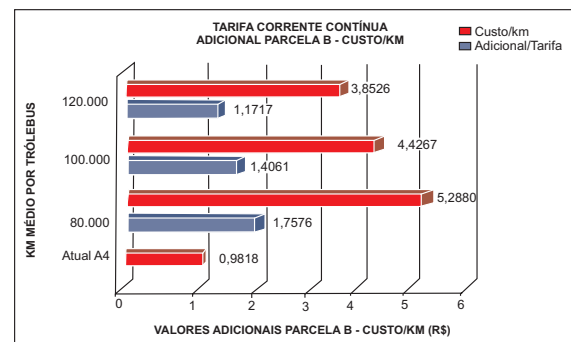


Figura 3. Comparativo adicional na parcela B x custos/km.

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Concepção, Análise, Implementação e Experimentação de um Sistema de Alimentação CA e/ou CC para Sistema Tróibus de 120 kW e Revisão Tarifária – 0390-008 - 2006'; 'ciclo 2005/2006'; 'Investimento R\$1.231.614,00'.

1 'AES Eletropaulo' (e-mails: jerry.muno@aes.com).

Figura 2. Sistema de distribuição para tróibus CA/CC.

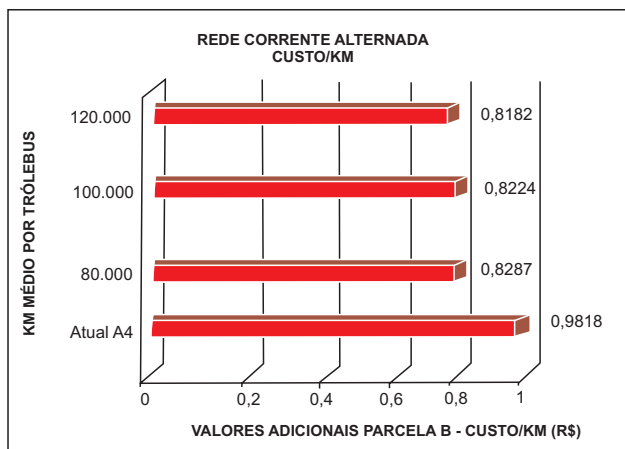


Figura 4. Custos por km alimentação em CA.

Os custos para efeitos de comparação da tecnologia trólebus com outras tecnologias foram baseados em condições idênticas de operação, qualidade na prestação do serviço e um número idêntico de passageiros.

Tabela I. Custos totais por quilômetro percorrido (R\$).

Quilometragem anual	Padron. Gás	Padron. Diesel	Trólebus CA	Hidrogênio	Padron. Híbrido	Trólebus CC
80 mil km	5,34	6,01	6,01	6,79	6,55	10,44
100 mil km	5,18	5,72	5,72	6,48	6,27	9,30
120 mil km	5,07	5,53	5,53	6,27	6,08	8,54
Parcela de custo total correspondente ao consumo de energia						
80 mil km	15,1%	15,8%	13,8%	14,3%	19,2%	50,7%
100 mil km	15,6%	16,3%	14,4 %	14,9%	20,0%	47,6%
120 mil km	16,6%	16,6%	14,8 %	15,4%	20,6%	45,1%

É difícil quantificar economicamente as externalidades ambientais e sociais decorrentes do uso intensivo do óleo diesel como combustível. Como critério fundamental, essa avaliação focalizou os custos de atendimento médico e de pronto socorro devidos aos efeitos da poluição, os custos de horas de trabalho perdidas como decorrência das enfermidades e os custos atribuíveis ao aumento da mortalidade e outros prejuízos sociais.

Tabela I. Custos totais por quilômetro percorrido com externalidades (R\$).

Quilometragem anual	Padron. Gás	Padron. Diesel	Trólebus CA	Hidrogênio	Padron. Híbrido	Trólebus CC
80 mil km	5,41	5,45	6,01	6,79	6,75	10,44
100 mil km	5,25	5,29	5,72	6,48	6,47	9,3
120 mil km	5,14	5,18	5,53	6,27	6,28	8,54

#### D. Benefícios do Projeto

Para a concessionária de energia:

- Medição em baixa tensão sem necessidade de tarifa específica;
- Inclusão dos ativos na Base de Remuneração Regulatória (BRR);
- Eliminação dos retificadores;
- Redução dos custos de manutenção, e
- Estímulo do uso de energia elétrica para tração.

Para a gerenciadora do transporte público:

- Aumento da frota trólebus;

Para o ambiente:

- Redução dos índices de poluição dos grandes centros urbanos,
- Contribuição às questões ambientais mundiais, responsabilidade social e imagem corporativa.

Para a municipalidade os benefícios seriam:

- Melhoria da utilização da área viária. O fato é compreendido nas fotografias de uma avenida da figura 5, com os veículos necessários para transportar 190 pessoas.



Figura 5. Três maneiras de transportar 190 pessoas em uma avenida.

### III. CONCLUSÕES

Consolidação de tecnologias que permitirão que todo o acionamento dos veículos trólebus seja em corrente alternada, alterando completamente o modelo atual e permitindo novos negócios, perfeitamente enquadrados nas diretrizes dos órgãos reguladores.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livros:

- [1] L. J. Brunton, "Why not the trolleybus?", in Proc. of the IEE Seminar Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles, pp. 5/1-5/7, 2000.
  - [2] V. I. Sopov, V. V. Biryukov, G. N. Vorfolomeyev, "Increase of Efficiency of the Power Supply System of a Trolleybus"; In Proc. of the IEEE IFOST, pp.336-337, October 2006.
  - [3] J. Michalik, J. Molnar, Z. Peroutka, "Control of traction single-phase current-source active rectifier under distorted power supply voltage", In Proc. of the IEEE Power Electronics and Motion Control Conference, pp. 550- 555, 2008.
  - [4] A. Fratta, P. Guglielmi, F. Villata, A. Vagati, "Efficiency and cost-effectiveness of AC drives for electric vehicles improved by a novel boost DC-DC conversion structure", in Proc. of Power Electronics in Transportation, pp. 11-19, 1998.
  - [5] M. H. Erfanian, X. Wilsun, "An investigation on the effective-ness of Scott transformer on harmonic reduction", In Proc. of the IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy, pp. 1-4, 2008.
  - [6] AMBRANCO, "Avaliação tarifária – Estudo de viabilidade econômica", Projeto AES Eletropaulo de P&D ANNEEL 0390-008/2006, 2008.
  - [7] A. Martins, M. Branco, "Desenvolvimento Sustentável na Gestão de Serviços Públicos: Responsabilidade Socioambiental e Informe Social", São Paulo: Paz e Terra, 2007.
- Artigos em Anais de Conferencias (Publicados):
- [8] F. A. S. Gonçalves, C. A. Canesin, "A 2kW Interleaved ZCS-FM Boost Rectifier Digitally Controlled by FPGA Device", in Proc. of the IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 513-518, 2005.



[9] G. A. Melo, F. A. S. Gonçalves, L. C. G. Freitas, C. A. Canesin, "HPF Boost Interleaved Operating in Discontinuous Conduction Mode for Trolleybus Application", in Proc. of Power Electronics Conference, COBEP, pp. 648 – 654, 2009.

[10] G. A. Melo, F. A. S. Gonçalves, L. C. G. Freitas, C. A. Canesin, "DCM Boost Interleaved Converter for Operation in AC And DC to Trolleybus Application", in Proc. of European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1-10, 2009.

[11] G. A. Melo, F. A. S. Gonçalves, L. C. G. Freitas, G. B. Lima, C. A. Canesin, L. C. Freitas, "A novel single-phase HPF hybrid rectifier suitable for front-end trolleybus systems", in Proc. of Power Electronics Conference, COBEP, pp. 619-626, 2009.

[12] G. A. Melo, L. C. G. Freitas, G. B. Lima, F. A. S. Gonçalves, C. A. Canesin, L. C. Freitas, "Proposal of a hybrid rectifier structure with HPF and low THD suitable for front-end trolleybuses systems supplied by AC distribution networks", in Proc of IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, pp. 451 - 458 , 2009.

Normas:

[13] IEC 61000-3-4.: Part 3-4: Limits for harmonic current emissions (equipment input current greater than 16A per phase), International Electrotechnical Commission, first edition, 1998-10.

# AES Eletropaulo

---

## Regulador de tensão portátil mantém fornecimento dentro dos padrões exigidos

Um regulador de tensão portátil para redes de baixa tensão (RTPBT) foi desenvolvido por pesquisadores da AES Eletropaulo, da Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia e da Sinapsis Inovação em Energia. O objetivo do equipamento é manter a tensão da energia fornecida aos consumidores dentro dos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). De acordo com a regulamentação, consumidores podem solicitar às distribuidoras a medição e a avaliação do nível de tensão quando perceberem que a energia tem sido fornecida fora da faixa adequada. Nesses casos, as empresas são obrigadas a identificar e resolver o problema em prazo determinado pela Agência, o que nem sempre é factível em função da intervenção que vier a ter que ser realizada. Os pesquisadores avaliam que, nesses casos, o regulador portátil pode ser utilizado com sucesso. O equipamento permite ajustar a tensão de entrada da energia pela soma ou subtração da quantidade adequada de tensão, de forma que, na saída, a tensão mantenha-se dentro de um nível considerado adequado pela regulamentação vigente. O produto foi desenvolvido em quatro etapas: metodologia para o desenvolvimento do projeto, projeção do *hardware*, testes de laboratório e, finalmente, aplicação em caso real. Em todos os ensaios realizados, os resultados mostraram que a faixa de tensão considerada adequada na saída do regulador foi mantida dentro dos limites. Ao final, a concessionária utilizou o RTPBT para atendimento de um caso real de reclamação de tensão. Os pesquisadores concluíram que o equipamento apresentou comportamento plenamente satisfatório, atingindo os objetivos, motivo pelo qual encontra-se em uso na AES Eletropaulo. A partir da conclusão do projeto, foi solicitada a patente e iniciado um novo projeto, correspondente à fabricação de cabeça de série para industrialização do dispositivo.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: AES Eletropaulo

Título: Regulador de Tensão Portátil para Redes de Baixa Tensão

Ciclo: 2007/2008

Investimento: R\$ 831.952,00

Execução: Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia e Sinapsis Inovação em Energia

# Regulador de Tensão Portátil para Redes de Baixa Tensão

Francisco C. Saraiva Filho<sup>1</sup>, Silvio X. Duarte<sup>1</sup>, Marcelo Ap. Pelegrini<sup>2</sup>, Ricardo Tufaniuk<sup>3</sup> e Juan C. Cebrian<sup>2</sup>

**Resumo** – O trabalho descreve o desenvolvimento de um Regulador de Tensão Portátil para Redes de Baixa Tensão (RTPBT) com a finalidade de manter a tensão de alimentação dos consumidores dentro dos limites estabelecidos pelos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). O RTPBT permite ajustar a tensão de entrada pela soma ou subtração da quantidade adequada de tensão de forma que a tensão de saída fique dentro de um nível adequado. O regulador desenvolvido foi instalado em uma rede real da AES Eletropaulo. Os ensaios e resultados obtidos são apresentados e discutidos.

**Palavras-chave** – Baixa tensão, PRODIST, qualidade de energia, regulação de tensão.

## I. INTRODUÇÃO

De acordo como o Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição) [1], os consumidores podem solicitar às distribuidoras a medição e avaliação do nível de tensão quando este esteja fora dos limites normalizados. Pode ocorrer que alguns consumidores fiquem sujeitos a níveis de tensão fora da faixa considerada adequada. Nestes casos, as empresas são obrigadas a identificar e resolver o problema num prazo determinado pela ANEEL. Dependendo da intervenção que deve ser feita para resolver o problema, o prazo estabelecido não é suficiente para solucioná-lo. Se isto acontece, pode-se usar o Regulador de Tensão Portátil para Redes de Baixa Tensão (RTPBT) proposto.

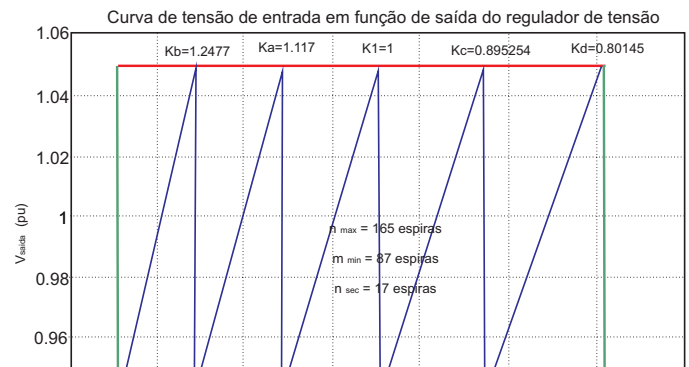
O RTPBT possui as seguintes características: potência de 30KVA, tensão de 115V+115V (fase-neutro) e 60Hz.

A metodologia para desenvolvimento do projeto foi: a) desenvolvimento de modelos e *software* de simulação; b) projeto e desenvolvimento de *hardware*; c) testes em laboratório e d) aplicação em caso real.

## II. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO RTPBT

O RTPBT faz a função de ajustar a tensão de rede não regulada aplicada em sua entrada pela soma ou subtração de uma quantidade adequada de tensão que é inserida através do secundário de um transformador Buck-Boost, fazendo com que em sua saída, na carga, a tensão permaneça dentro da faixa adequada.

O transformador Buck-Boost do RTPBT permite controlar cinco níveis diferentes de regulação de tensão por meio de dois taps no primário sendo seu secundário dividido em dois enrolamentos, conforme esquema elétrico mostrado na Figura 1.



O regulador foi projetado para ser conectado ao secundário do transformador de distribuição de um sistema de fornecimento cuja rede secundária é monofásica de (115V + 115V / 230V). Cada enrolamento secundário de 18V do transformador Buck-Boost regula individualmente cada fase de 115V (Fase-Neutro) do transformador de distribuição. A carga recebe a tensão regulada entre Fase 1 e neutro e Fase 2 e neutro, conforme a figura 1. O neutro da rede de distribuição é conectado diretamente à saída, sem entrar no equipamento.

As chaves S0, S1 e S2 são compostas por 2 SCRs em anti-paralelo (AC Switch) e seu comando é feito por uma placa de *driver* com transformadores de pulso nos respectivos *gates*. O contator reversor (REV) de polaridade serve para inverter a polaridade do primário do transformador Buck-Boost com objetivo de somar tensão num caso ou subtrair tensão em outro, e assim, ajustar a tensão de saída na faixa exigida pelo PRODIST. O contato do relé de zero (NF) serve para garantir zero de tensão no secundário do regulador quando da sua partida (Chaves S0, S1 e S2 abertas) e também no caso de falha, ou quando ele está desligado. O relé de zero vai para uma posição segura, não introduzindo (somando ou subtraindo) qualquer valor na tensão de rede.

A regulação de tensão é feita pelo acionamento das chaves estáticas, que modificam o *tap* do transformador de forma a manter a tensão de saída na faixa entre 110V e 120V (fase-neutro). O tempo de atuação para mudança de taps das chaves estáticas é de cinco segundos e foi considerado suficiente de modo a evitar chaveamentos sucessivos devido a mudanças repetitivas das tensões de carga.

A Figura 2 apresenta a função de transferência entre a Tensão de Entrada e Saída do RTPBT, que foi usada para calcular as tensões dos *taps* do transformador Buck-Boost estabelecendo no eixo vertical (tensão de saída em pu) a faixa exigida pelo PRODIST, isto é, -6% e +5%. Pode ser visto também nesta mesma Figura 2 a faixa da tensão de entrada de -25% à +30% na qual o RTPBT consegue regular a tensão de saída.

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Protótipo de Regulador de Tensão para Utilização entre Reclamação do Cliente e Atuação na Rede – 0390-026/2007'; 'AES Eletropaulo'; 'FDTE – Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia e Sinapsis Inovação em Energia'; 'ciclo 2007/2008'; 'R\$ 831.952,00'.

<sup>1</sup> 'FDTE – Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia' (e-mails: sarai-va@fei.edu.br; xavier@pea.usp.br).

<sup>2</sup> 'SINAPSIS Inovação em Energia' (e-mail: marce-lo.pelegrini@sinapsisenergia.com; juan.cebrian@sinapsisenergia.com).

<sup>3</sup> 'AES Eletropaulo' (e-mail: ricardo.tufaniuk@aes.com).

No anexo 1 há duas fotografias do equipamento RTPBT desenvolvido.

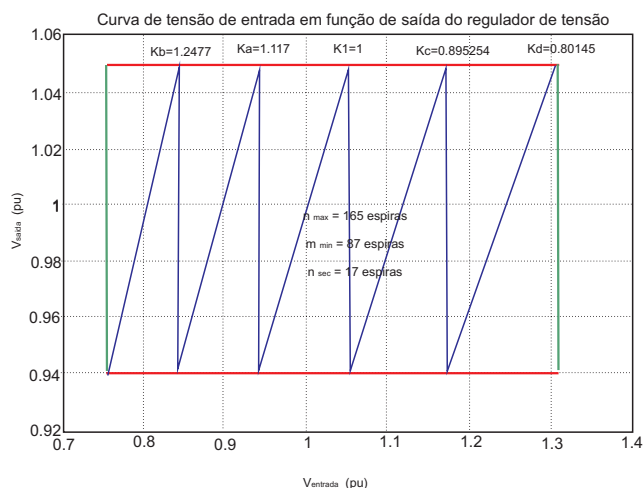


Figura 2 – Função de transferência do RTPBT

### III. ENSAIOS

Os ensaios foram realizados para verificar a atuação do regulador em condições de regime permanente de carga, quando a tensão em sua entrada se encontrasse em valores na faixa de 180 Volts (V) a 270 V, e constatar se a tensão de saída permanecia dentro da faixa exigida. Outro objetivo dos ensaios foi obter a característica de saída, função de transferência, entre a tensão de saída e a tensão de entrada do regulador em operação normal. Para os testes de regulação de tensão foram consideradas 3 condições de carga (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores das tensões de entrada e de saída obtidos nos testes para a avaliação da regulação de tensão

Tensão (V) - Ensaio com Carga					
18%		58%		90%	
Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
189	223	186	218	188	219
203	222	200	234	209	227
220	220	200	220	214	214
246	224	229	226	231	226
264	240	216	235	252	228
270	220	257	234	273	219

Para todos os ensaios realizados, independentemente da carga presente, os resultados mostram que a faixa de tensão adequada na saída do regulador foi mantida dentro dos limites, entre 220 V e 240 V, para tensões na entrada, variando numa faixa entre 188 V a 275 V, o que garantiu para o protótipo do RTPBT desenvolvido um desempenho satisfatório.

### IV. RESULTADOS

Ao final do desenvolvimento do RTPBT, a AES Eletropaulo utilizou-o para atendimento de um caso real de reclamação de tensão. No local escolhido, a tensão da rede estava em alguns períodos do dia com níveis de tensão fora da faixa adequada, resultando em uma multa diária de R\$ 4.000,00. O RTPBT foi instalado e assumiu a carga de 14 consumidores que ficavam no final de um alimentador de distribuição, com problemas de tensão. As curvas de tensão na entrada e saída do consumidor estão mostradas na Figura 3.

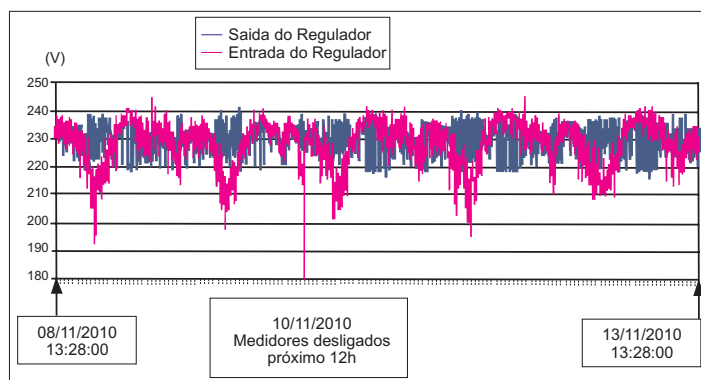


Figura 3 – Resultados das medições de tensões de entrada e saída do RTPBT em caso real

O RTPBT possui proteção no circuito primário, que desliga o seu controle em caso de corrente de curto-circuito e o coloca na condição de falha segura. Com esta proteção, o consumidor nunca é desligado pelo RTPBT.

### V. CONCLUSÕES

Como ficou demonstrado nos resultados dos testes de operação do RTPBT em ambiente controlado de carga e variação de tensão e no atendimento a consumidores num caso real, o protótipo apresentou comportamento plenamente satisfatório tendo atingido os objetivos almejados. Atualmente está em uso pela AES Eletropaulo, em casos de reclamação de tensão.

A partir da conclusão desse projeto, foi realizado um pedido de patente e iniciado um novo projeto, correspondente à fase de cabeça de série, para industrialização do dispositivo.

### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Procedimentos de Distribuição – PRODIST – Módulo 8 - Quali-dade, ANEEL, Dez. 2010.
- [2] F. C. Saraiva Filho, "Proposta de recuperador dinâmico para afundamentos de tensão," Dissertação de Mestrado, Dept. de Energia e Automação da Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2002.



## ANEXO I



Figura a1 – Foto do RTPBT



Figura a2 – Foto do RTPBT em Instalado no CT da AES Eletropaulo

# CEMAR

---

## Medição integrada em transformador ajuda reduzir perdas comerciais de energia

Para tornar mais eficiente o combate às perdas comerciais de energia, pesquisadores da Companhia Energética do Maranhão (CEMAR) e do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec) construíram um transformador de distribuição com medição de energia integrada. O equipamento tem o objetivo de reduzir as fraudes, por meio da medição remota do consumo mensal, diretamente no transformador. Isso possibilita o registro de ocorrências em tempo real e a avaliação das curvas diárias de carregamento, tensão de operação e de consumo no transformador. No protótipo desenvolvido, o medidor digital e os circuitos eletrônicos ficam instalados em uma caixa metálica acoplada ao transformador, no alto do poste. Isso dificulta a realização de fraudes na rede. A leitura mensal do consumo total do posto de transformação é realizada remotamente, pela comunicação de curta distância, empregando-se um *smartphone*, largamente utilizado pela concessionária para o registro da leitura mensal de unidades consumidoras. Desse modo, toda a carga alimentada pelo transformador de distribuição, incluindo eventuais fraudes, pode ser monitorada em tempo real pelo novo equipamento. A transmissão remota dos dados acumulados no posto de transformação é feita por meio da tecnologia *bluetooth* e, alternativamente, pela comunicação serial por rádio, com alcance superior a 15 metros. Os pesquisadores instalaram o protótipo do transformador com medição integrada no município de São José do Ribamar, região metropolitana de São Luiz, capital do Maranhão. Desde a instalação, a leitura tem sido feita remotamente e os dados são armazenados em um *netbook*, que tem um aplicativo para avaliar o registro de interrupções, falhas de comunicação, temperatura interna da caixa metálica, desequilíbrio de fases, tensão secundária, consumo total e médio diário do posto de transformação entre outros. Futuramente, os dados podem ser usados em redes integradas tipo *smart-grid*. O desempenho do equipamento motivou a solicitação de pedido de patente para o novo equipamento.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: Companhia Energética do Maranhão (CEMAR)

Título: Transformador de Distribuição com Medição Integrada de Energia Elétrica

Ciclo: 2006/2007 e 2007/2008

Investimento: R\$ 503.914,47

Execução: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec)



# Transformador de Distribuição com Medição Integrada de Energia Elétrica

Marcelo A. Ravaglio<sup>1</sup>, André R. Almeida<sup>1</sup>, Giordano B. Wolaniuk<sup>1</sup>, Heitor H. D. Manguiera<sup>2</sup>, Júlio C. Mendes<sup>2</sup>

**Resumo** – Este artigo apresenta os principais resultados do Projeto de P&D “Desenvolvimento de Transformador de Distribuição com Medição Integrada de Energia Elétrica”, realizado para a CEMAR, no ciclo 2006/2007 da ANEEL. Apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento de um transformador de distribuição convencional, com medição de energia elétrica integrada. Possibilita o monitoramento em tempo real, registro de ocorrências e a avaliação das curvas diárias de carregamento, tensão de operação e de consumo do posto de transformação, habilitando-o para integração futura em redes inteligentes (smart-grid).

**Palavras-chave** – Perdas Comerciais, Transformador de Distribuição, Medição de Energia Elétrica, Medição Fiscal, Redes Inteligentes (smart-grid).

## I. INTRODUÇÃO

As perdas comerciais provocam uma grande diminuição de receita para as companhias de distribuição de energia brasileiras. Ligações irregulares na rede de distribuição representam um grande risco para a segurança pública, uma vez que alteram as características da rede e podem causar sérios acidentes e incêndios, por vezes fatais [1,2,3,5].

No Programa de Medição Fiscal, instala-se um medidor de energia para registrar o consumo total do posto de transformação, entre os terminais secundários do transformador de distribuição e os condutores da rede de baixa tensão [4]. O projeto “Desenvolvimento de Transformador de Distribuição com Medição Integrada de Energia Elétrica” apresenta objetivos similares aos do Programa de Medição Fiscal, porém, visa à redução de fraudes em redes de distribuição urbanas e rurais, com a medição remota do consumo mensal do posto de transformação.

Ao integrar um medidor digital de energia elétrica ao transformador de distribuição, o protótipo desenvolvido evita o emprego de cabos isolados para permitir a instalação do medidor de energia elétrica no poste de distribuição, em altura adequada para sua leitura mensal. Além disso, a técnica proposta dificulta a realização de fraudes na rede secundária, na conexão entre os terminais secundários do transformador e o medidor de energia totalizador do posto de transformação, no caso de redes urbanas com medição fiscal.

A leitura mensal do consumo total do posto de transformação é realizada remotamente, pela comunicação de curta distância, empregando-se um *smartphone*, já largamente utilizado pela CEMAR para o registro da leitura mensal de unidades consumidoras.

## II. DESENVOLVIMENTO DO TRANSFORMADOR COM MEDIÇÃO INTEGRADA

O projeto desenvolveu um transformador de distribuição trifásico, de classe 15 kV, 30 kVA, que atendesse à especificação técnica da CEMAR, porém equipado com uma caixa metálica externa, solidária ao tanque do transformador. A Figura 1 mostra o projeto do protótipo construído do Transformador com Medição Integrada, projetado e desenvolvido em conjunto com a Romagnole.

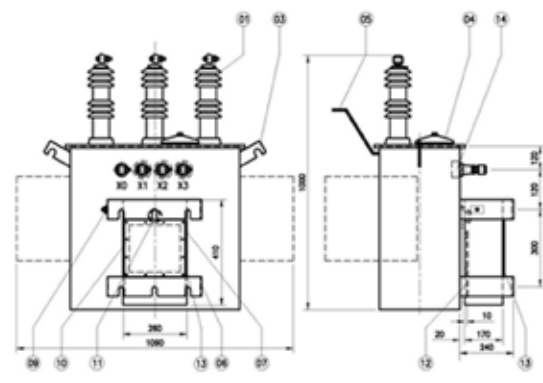


FIGURA 1 – PROJETO DO TRANSFORMADOR COM MEDIÇÃO INTEGRADA

No Transformador com Medição Integrada propôs-se a instalação de transformadores de corrente internamente ao tanque do transformador de distribuição, junto às buchas dos terminais de fase do enrolamento de baixa tensão. Desse modo, toda a carga alimentada pelo transformador de distribuição, incluindo eventuais fraudes, pode ser monitorada em tempo real pelo novo equipamento.

O medidor digital de energia elétrica e os circuitos eletrônicos desenvolvidos foram instalados na caixa metálica fixada na parte lateral do tanque, entre os dois suportes metálicos de fixação do transformador no poste. O projeto eletrônico previu a utilização de um medidor digital de energia elétrica, trifásico, modelo SAGA 1000[6], com interface de comunicação serial óptica e medição indireta dos sinais de corrente. As Figuras 2 e 3 mostram detalhes do protótipo do Transformador com Medição Integrada.

Informações sobre o Projeto de P&D: Transformador de Distribuição com Medição Integrada de Energia Elétrica 0037-003/2007; CEMAR; LACTEC; 2006/2007 e 2007/2008; R\$ 503.914,47.

<sup>1</sup> Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (e-mails: marce-lo@lactec.org.br; andre.almeida@lactec.org.br e giordano@lactec.org.br).

<sup>2</sup> Companhia Energética do Maranhão (e-mail: heitor.manguiera@cemar-ma.com.br; julio.mendes@cemar-ma.com.br).



FIGURA 2 – DETALHE DO TRANSFORMADOR COM MEDIÇÃO INTEGRADA



FIGURA 3 – DETALHE DO CIRCUITO ELETRÔNICO INSTALADO NO TRANSFORMADOR COM MEDIÇÃO INTEGRADA

Para a transmissão remota dos dados acumulados no posto de transformação, foi prevista a utilização de meio de comunicação de curta distância, com tecnologia Bluetooth e alternativamente pela comunicação serial por rádio, com alcance superior a 15 metros.

Um *smartphone* ou um *netbook* poderão ser utilizados para a leitura remota periódica da energia elétrica consumida no posto de transformação, com indicações de eventual ocorrência de violação do gabinete, interrupções do fornecimento e superaquecimento interno, além das datas das leituras atuais e anteriores. A Figura 4 exemplifica o procedimento de leitura da energia elétrica, realizadas com o *netbook*.

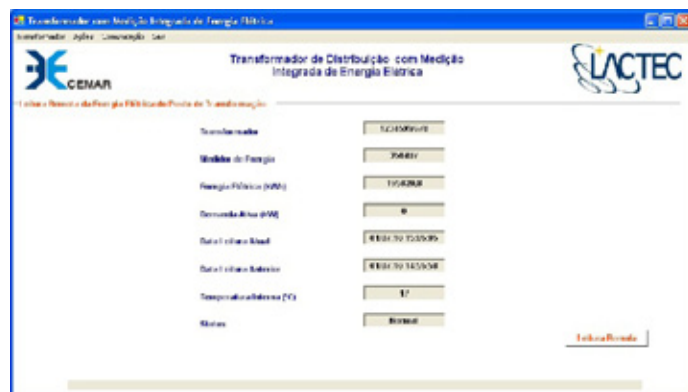


FIGURA 4 – LEITURA REMOTA DA ENERGIA ELÉTRICA

### III. ENSAIOS DE CAMPO E RESULTADOS

O protótipo do Transformador com Medição Integrada foi colocado em operação na rede de distribuição de 13,8 kV, da CEMAR, no município de São José do Ribamar, situado na região metropolitana de São Luís.

Desde sua instalação na rede de distribuição, tem-se realizado mensalmente a leitura da energia consumida no posto de transformação e a transferência dos dados registrados em sua memória de massa para armazenamento definitivo em banco de dados do *netbook*. O aplicativo implementado permite a avaliação do registro de interrupções, falhas de comunicação, temperatura interna da caixa metálica, desequilíbrio de fases, tensão secundária, consumo total e médio diário do posto de transformação, etc. As Figuras 5 e 6 exemplificam algumas funcionalidades implementadas.



FIGURA 5 – GRANDEZAS MONITORADAS EM TEMPO REAL

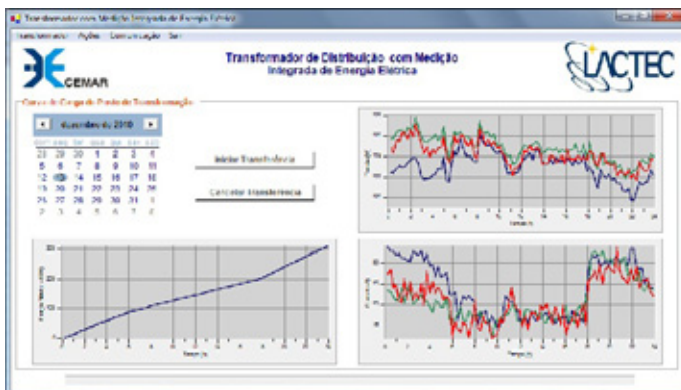


FIGURA 6 – VARIAÇÃO DIÁRIA DAS TENSÕES, CORRENTES E ENERGIA

#### IV. CONCLUSÕES

O Transformador com Medição Integrada é uma importante ferramenta desenvolvida para o combate de perdas comerciais em redes de distribuição, pois permite sua estimativa, a qualquer momento, no posto de transformação, com comunicação remota de curta distância, o que o habilita a integrar redes de distribuição inteligentes.

O protótipo desenvolvido apresentou desempenho satisfatório em laboratório e em campo, pois apresenta menor custo de implantação que o Sistema de Medição Fiscal adotado pela CEMAR e maior grau de proteção para o combate de perdas comerciais. Além disso, possibilita adi-

cionalmente, o monitoramento em tempo real, o registro de ocorrências e a avaliação das curvas diárias de carregamento, tensão de operação e de consumo do posto de transformação.

Pedido de solicitação de patente do novo equipamento foi protocolado junto ao INPI, sob o número de registro 221001581797, sendo titular a CEMAR e o LACTEC, em partes iguais.

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica – PRODIST – Módulo 7 – Cálculo das Perdas Técnicas Regulares
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica nº342/2008 Metodologia de tratamento regulatório para perdas não técnicas de energia elétrica. – SRE/ANEEL. Brasília, 2008.
- [3] Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica - Relatório CODI 08.05 – Perdas Comerciais
- [4] Lactec – Avaliação de Metodologias de Combate de Fraudes na Rede de Distribuição – Relatório LACTEC, nº 3280, Setembro de 2008.
- [5] Penin, C. A. S – Controle, Prevenção e Otimização das Perdas Comerciais de Energia Elétrica – Tese de Doutorado, USP 2008.
- [6] Website da Landis+Gyr, Medidor de Energia Elétrica Saga 1000, <http://www.landisgyr.com>.

# LIGHT

---

## Dispositivo em medidores permite processo efetivo de corte e religação em baixa tensão

Para tornar mais rápido e eficiente o procedimento de corte e religação de energia de consumidores de baixa tensão inadimplentes, pesquisadores da Light e do Instituto de Desenvolvimento para Tecnologia (Lactec) criaram um dispositivo eletromecânico denominado conector de corte. O equipamento permite executar a suspensão do fornecimento com total controle e possibilidade de rastreamento, pela parte da concessionária, da efetividade do corte. O uso do dispositivo auxilia no combate às perdas comerciais e proporciona atuação mais ágil dos consumidores que tentarem a religação à revelia da distribuidora. Atualmente, os serviços de corte e religação de energia são feitos por empresas terceirizadas. Por falta de metodologia, são necessárias várias revisitas para efetivar cortes ainda não realizados e para desfazer aqueles que o consumidor fez por conta própria. Mesmo assim, não há nenhuma garantia de que a interrupção tenha sido realmente executada. O equipamento desenvolvido pelos pesquisadores permite que o corte seja feito diretamente na entrada do medidor de energia, de forma rápida, segura, com comprovação do corte por parte da concessionária e de forma que dificulte ao consumidor religar a energia sem autorização da concessionária. A metodologia elaborada se baseia na leitura de dados gravados em uma pastilha eletrônica (lingueta) que contém um componente eletrônico de identificação única por radiofrequência (RFID) e que fica instalada dentro do conector, com acesso restrito. Durante o procedimento de corte de energia, o operador retira essa pastilha eletrônica do interior do conector e entrega o dispositivo à central de operação do serviço, que comprovará a efetiva realização do corte pela leitura dos dados gravados na pastilha, que é única por consumidor. A criação desta nova tecnologia de combate às perdas se mostrou inédita no setor elétrico, resultando em um pedido de patente. Novo projeto será encaminhado para fabricação do conector em regime de cabeça de série e, posteriormente, um lote pioneiro.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Light Serviços de Eletricidade S/A  
Título: Conector Especializado para Corte de Energia de Consumidores Inadimplentes em Baixa Tensão  
Ciclo: 2006/2007  
Investimento: R\$ 558.035,00  
Execução: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec)

# Conector Especializado para Corte de Energia de Consumidores Inadimplentes em Baixa Tensão

Reginato D. Scremim 1, Carlos A. Purim 1, João A. Pereira 1, Giordano B. Wolaniuk 1, Ivo N. Gonçalves 2 Ivo N. Gonçalves 2

**Resumo** – No contexto de combate às perdas de energia por fraude no sistema elétrico, é apresentado neste trabalho o resultado do projeto de P&D de um dispositivo eletromecânico que opera como um conector elétrico que deve ser instalado em série com o medidor de energia de um consumidor em baixa tensão, cuja função principal é a de permitir o corte comercial do cliente, quando necessário, diretamente na entrada do medidor de energia, de forma rápida, segura, com comprovação do corte por parte da concessionária e de forma que dificulte o consumidor religar por conta própria a energia sem prévia autorização da concessionária.

**Palavras-chave** – Conector, Corte de Energia, Dispositivo Eletromecânico, Medidor de Energia, Perdas Técnicas.

## I. INTRODUÇÃO

Os serviços de corte/religa [7], [8] de consumidores inadimplentes são terceirizados e ocorre que, por falta de eficácia da metodologia adotada para a realização desse serviço, são necessárias muitas revisitas para efetivar cortes não realizados ou desfazer aqueles que o cliente refez por conta própria após o corte e mesmo assim não há nenhuma garantia de que o corte foi realmente executado.

O presente projeto contemplou o desenvolvimento de um dispositivo eletromecânico (denominado conector de corte) que permite executar o corte de energia do consumidor com total controle e possibilidade de rastreamento por parte da concessionária no que se refere à efetividade do corte, auxiliando no combate às perdas comerciais e permitindo uma ágil autuação de consumidores fraudadores do sistema de distribuição de energia.

A metodologia elaborada se baseia na leitura de dados gravados em uma pastilha eletrônica (lingueta) que contém um componente eletrônico de identificação única RFID (Identificação por radio frequência [1], [2], [5]) e que fica instalada dentro do conector com acesso restrito.

Durante o procedimento de corte de energia, o operador deverá retirar essa pastilha eletrônica do interior do conector e entregar à central de controle de corte/religa que comprovará a efetiva realização do corte pela leitura dos dados gravados na pastilha (que é única por consumidor).

No procedimento de religa, o operador recebe a pastilha eletrônica da central de corte/religa e instala no conector relativo ao consumidor que teve seus débitos regularizados, restabelecendo o fornecimento de energia.

A criação desta nova tecnologia de combate às perdas se mostrou inédita no setor elétrico, resultando em um pedido de patente [9] PI 020100010713.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Conector especializado para cortes.

O conector fechado visto na figura 1 contém internamente a principal parte do sistema, que é a lingueta de contatos elétricos. Na vista explodida da figura 2 é possível ver a lingueta (1) que contém em seu interior um *tag* RFID que, por sua vez, é mostrado na figura 3 com processador, memória e antena para recepção e transmissão de dados.

A base do conector (2) abriga os contatos elétricos (3), os bornes de conexão (4) e a lingueta de contatos (1).

Todo o conjunto é abrigado pela tampa (5) e fechado por um parafuso de segurança especial (6), que só é possível operar com ferramenta especialmente desenvolvida para esse tipo de parafuso.

Devido ao cumprimento das exigências normativas, para a injeção das partes plásticas do conector, optou-se pela utilização do polímero Noryl® [4]. Esse polímero possui grande resistência mecânica, boa estabilidade em hidrolítica, elevada resistência térmica e grande facilidade de adesão a peças metálicas, além de ser utilizado para a fabricação de medidores de energia.



Figura 1 – Conector fechado

Informações sobre o Projeto de P&D: 'Desenvolvimento de conector especializado para corte de fornecimento a cliente de baixa tensão - P&D ANEEL 06/2007'; 'Light Serviços de Eletricidade S.A.'; 'Lactec - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento'; '2006/2007'; 'R\$558.035,00'.

1 Lactec – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (e-mails: reginato@lactec.org.br; purim@lactec.org.br; japerei-ra@creapr.gov.br; giordano@lactec.org.br).

2 Light – Serviços de Eletricidade (e-mail: i-vo.goncalves@light.com.br).

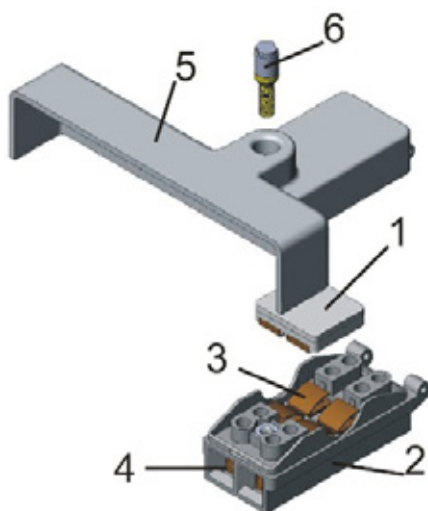


Figura 2 – Vista explodida do conector com suas respectivas partes.



Figura 3 – Tag RFID [5].

### B. Instalação e testes em campo.

O local escolhido para a instalação dos protótipos foi uma comunidade com edifícios onde os medidores ficavam instalados em painéis, como na figura 5, e em detalhe na figura 6. Após essa primeira instalação, e com a estabilização do sistema, outros locais foram escolhidos para a instalação dos conectores.



Figura 5– Painel de medidores com os conectores



Figura 6 – Detalhe de medidor com conector instalado.

### C. Coletor de dados e leitor/gravador de tags RFID.

Para a leitura/gravação de dados nos tags RFID [3], foi desenvolvido um dispositivo eletrônico específico que foi acoplado ao coletor de dados adotado pela concessionária figura 7.



Figura 7 – Coletor de dados e montagem do conjunto leitor/gravador.

### D. Programa de gerenciamento

O programa de gerenciamento de dados dos conectores permite o cadastro e manutenção de dados dos consumidores onde os conectores serão instalados. O programa permite a leitura de tags RFID inseridos nas linguetas de contato de um dado consumidor via dispositivo leitor de tags RFID [3], [6], conectado à porta USB do computador figura 8.



Figura 8 – Leitor/gravador de tags RFID USB

Essa base de dados é passada para o coletor de dados da concessionária e informa ao profissional que faz a leitura dos medidores qual lingueta pertence a um determinado consumidor pela identificação de seu tag RFID.

### III. CONCLUSÕES

Como resultado do projeto de P&D obteve-se um novo equipamento de baixo custo, com tecnologia nacional, que pode ser empregado como ferramenta auxiliar para o combate às perdas comerciais das concessionárias por furto de energia. Os resultados dos testes de campo mostraram o perfeito funcionamento do conector e comprovaram a eficiência do método, garantindo a realização do corte e, ao mesmo tempo, inibindo o consumidor a religar a energia por conta própria.

Nessa fase foram empregados apenas os dispositivos monofásicos fabricados exclusivamente para protótipo. Mesmo assim, os resultados foram animadores, mostrando a eficiência do emprego do dispositivo eletromecânico e do método em conjunto.

Em face dos resultados verificados, foi dado prosseguimento ao projeto, aplicando-se melhorias e facilidades de uso, o que resulta na abertura de novo projeto junto à ANEEL para a fabricação do produto em regime cabeça de série e, posteriormente, a fabricação de lote pioneiro.



#### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livros:

- [1] Gudnason, Gunnar, CMOS Circuit Design for RF Sensors, Kluwer Academic Publishers, August 2002;
- [2] Radio Engineering for Wireless Communication and Sensor Applications, Artech House Inc., June 2003;
- [3] Feig Electronic - Application Note - Constructions and tuning of 13.56MHz Antennas for Reader Power Level Up to 1W, 15 Jan-uary 2003;
- [4] Ward, I. M. E Hadley, D. W. Mechanical Properties of Solid Polymers. England, John Wiley & Sons Ltd, 1993;

Outros:

- [5] Radio Frequency Identification Systems: Tag-it HF-I Transponder Inlay (24.2mm Circular)

– Texas Instruments (arq. digital) – [www.ti-rfid.com](http://www.ti-rfid.com);

- [6] HF Antenna Cookbook, Technical Application Report – Radio Frequency Identification Systems – Texas Instruments (arq. digital) – [www.ti-rfid.com](http://www.ti-rfid.com);

Normas:

- [7] Normas LIGHT - Fornecimento de Energia em Baixa Tensão - Adquiridas junto à concessionária;

- [8] NBR 5434 - Redes de Distribuição Aérea Urbana de Energia Elétrica;

Patentes:

- [9] PI 020100010713 – Dispositivo Eletromecânico Conector para Corte.

# Coelce

---

## Equipamento produz interferência em corrente para evitar furto de energia em baixa tensão

Para combater o furto de energia, a Companhia Energética do Ceará (COELCE) desenvolveu em projeto de P&D um equipamento que gera ruídos (interferências) na corrente e, dessa forma, impede que a energia furtada seja usada sem antes passar pelo sistema de medição do consumidor. O equipamento é um gerador de ruído que, quando instalado no transformador de distribuição, torna a energia imprópria para uso até passar por um processo de filtragem que utiliza removedor de ruídos instalado no equipamento de medição do consumidor. Após a filtragem, a energia torna-se novamente adequada ao uso. O instrumento é um aprimoramento de projeto anteriormente realizado pelas concessionárias AMPLA Energia e Serviços S/A e Companhia Energética do Maranhão (CEMAR). Na versão anterior, o inibidor de furtos acabava por queimar equipamentos elétricos conectados à rede sem filtragem. Além disso, uma vez acionado, o inibidor tinha que ser substituído. Com o aperfeiçoamento, esses problemas foram sanados e, além disso, o equipamento ficou menor, o que facilita sua instalação nos postes. Após testes de laboratório, foram selecionados dois locais para a instalação do inibidor de furtos. Um deles foi um circuito de baixa tensão na cidade de Fortaleza, com 74 consumidores, onde a concessionária constatou muitas ligações clandestinas e furtos de energia na rede. Após a implantação do projeto, as perdas de energia foram reduzidas de 49% para 2,7%. Outra área escolhida foi uma região rural, com cultura agrícola que usa sistema de irrigação. Nessa região, a rede de baixa tensão atravessa as propriedades dos consumidores, o que a torna vulnerável ao uso de “garras” ou “ganchos” diretamente instalados na rede distribuição para alimentar os sistemas de bombeamento. Nessa área, houve redução de 39% nas perdas. De acordo com os pesquisadores, os testes realizados em campo demonstraram a alta eficiência do equipamento em diferentes cenários. A redução das perdas, obtida com o piloto instalado em área urbana e na área rural irrigante, demonstraram que o inibidor de furto se constitui em uma alternativa eficaz para o combate as perdas comerciais em circuitos de baixa tensão.

---

### ***Ficha técnica***

Empresa: Companhia Energética do Ceará (COELCE)

Título: Estudo e Validação do Inibidor de Furto em Redes de Baixa Tensão

Ciclos: 2006/2007 e 2007/2008

Investimento: R\$ 1.133.592,50

Execução: Sosama Mercantil e Industrial Ltda. e Instituto Federal do Ceará (IFCE)



# Estudo e Validação do Inibidor de Furto em Redes de Baixa Tensão

Lael E. Silva, Vinícius M. Silva 1 e Élcio Deccache 2

**Resumo** – Perda comercial de energia é um dos assuntos de maior relevância para as distribuidoras de energia, pois afeta principalmente a sustentabilidade do negócio. Apesar das iniciativas empreendidas pelas distribuidoras, percebe-se uma sofisticação cada vez maior nas fraudes e furtos realizados, tornando indispensável a busca por novas tecnologias que combatam o problema. O projeto Inibidor de Furtos é resultado desse incessante esforço. Consiste no uso de geradores de ruídos instalados nos terminais do secundário do transformador de distribuição, tornando, assim, a energia imprópria para uso até a entrada da medição dos consumidores, na qual, por um processo de filtragem que utiliza removedores de ruídos, a energia torna-se novamente adequada ao uso do consumidor. Como resultado, áreas que apresentavam perdas da ordem de 40%, antes da utilização desse projeto, obtiveram uma redução para aproximadamente 3,0%.

**Palavras-chave** – Gerador de Ruídos, Inibidor de Furtos, Novas Tecnologias, Perdas Comerciais de Energia Elétrica.

## I. INTRODUÇÃO

O inibidor de furto foi concebido, inicialmente, mediante parceria entre a distribuidora de energia elétrica Ampla e a empresa Sosama, em um projeto de P&D da ANEEL.

Visando ao aperfeiçoamento e à validação do inibidor de furtos, a Coelce liderou o P&D “Estudo e Validação do Inibidor de Furtos em Redes de BT”, que conta com a participação das distribuidoras de energia Ampla e Cemar, além do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFET-CE).

Foram instalados dois conjuntos de geradores e removedores de ruídos na Coelce: um conjunto em um circuito da zona urbana da cidade de Fortaleza, com 74 consumidores e com perda de energia de aproximadamente 50%, e outro em um circuito da zona rural da cidade de Quixadá, com presença de plantio irrigado e redes de baixa tensão situadas dentro das propriedades rurais, com incidência de furto de energia para utilização de bombas de irrigação. Em ambos os projetos, obteve-se uma expressiva redução das perdas com a utilização dos equipamentos.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Na primeira experiência do projeto, na Ampla, os geradores eram somente monofásicos e o ruído criado possuía tensão de 180 Vcc (Volt em Corrente Contínua), o que, adicionado a tensão da rede de BT, conferiu ao equipamento uma alta eficiência, mas também poderia produzir como resultado a queima dos eletrodomésticos dos consumidores que se ligassem de forma clandestina à rede, sem utilizar os removedores de ruído. Os removedores eram todos de 40 A e a proteção de retaguarda em caso de atuação se danificava, devendo ser substituída.

Foram desenvolvidas pesquisas de laboratório e de campo, que promoveram aperfeiçoamentos nos equipamentos e nas condições de instalação em campo.

Um desses aperfeiçoamentos foi a construção de um gerador de ruídos trifásico, que pode ser verificado na Figura 1. Tal melhoria reduziu substancialmente a necessidade de espaço para instalação do equipamento nos postes, em relação aos três geradores monofásicos utilizados anteriormente, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 1: Gerador de ruído trifásico

Outra modificação ocorrida foi quanto a utilização de uma maior inteligência embarcada, com um comando micro-processado contemplando a função de sequenciador, permitindo a aplicação do ruído de forma individual e alternada em cada fase. O tempo de aplicação do ruído, bem como o intervalo sequenciamento em cada fase pode, assim, ser ajustado em função das necessidades de cada área em que se utilizem os equipamentos.

Nesse projeto, durante a pesquisa de laboratório, foram realizados ensaios e estabelecidos valores mínimos para a tensão do ruído, com o intuito de manter a eficiência do sistema. Tais valores foram estabelecidos em 84 Vcc para os sistemas 380/220 V e em 48 Vcc para os sistemas 220/127 V.



Figura 2: Gerador de ruídos instalado

Estudo e Validação do Inibidor de Furto em Redes de BT– 0039-001/2007; Coelce, Ampla e Cemar; entidade executora: Sosama Mer-cantil e Industrial Ltda e Instituto Federal do Ceará (IFCE); Ciclo 2006/2007 (aprovado) e Ciclo 2007/2008 (realizado); investimento de R\$ 1.133.592,50 aprovado para execução do projeto.

1 Coelce (e-mails: lael@coelce.com.br; vmaciel@coelce.com.br).

2 SOSAMA (e-mail: deccache@sosama.com.br).

## 2.1 – Removedores de Ruídos e Proteções de Retaguarda

Os removedores de ruídos funcionam basicamente como filtros para o ruído, com a finalidade de tornar a energia novamente adequada ao uso dos consumidores. Os removedores incorporaram tecnologia microprocessada e relé bi-estável, deixando de ser descartável, como ocorria com o primeiro protótipo da proteção, em caso de necessidade de atuação.

A maior inteligência embarcada permite que novas funções sejam desenvolvidas futuramente para a proteção de retaguarda, como a supervisão da caixa do medidor.



Figura 3: Removedor de Ruído e proteção de retaguarda



Figura 4: Padrão de entrada dos clientes com caixa travada

## 2.2 As aplicações em campo

Uma das necessidades imediatas demandadas pela Coelce foi a instalação do projeto do Inibidor de furto em áreas com ocorrências de fraudes na rede da baixa tensão.

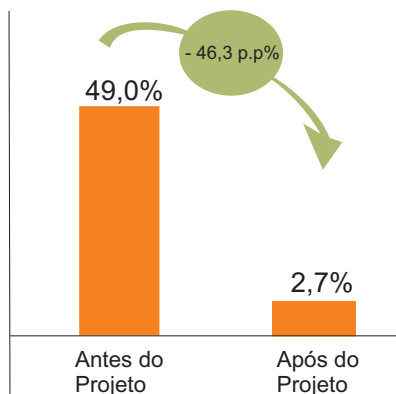


Gráfico 1: Redução de perdas em circuito de área urbana

Foi selecionado um circuito de baixa tensão na cidade de Fortaleza, com 74 consumidores, muitos dos quais eram clandestinos e furtavam energia diretamente da rede de baixa tensão. O resultado, conforme exibido no gráfico 1, foi a redução de perdas de energia de 49% para 2,7% após a implantação do projeto.

As áreas rurais com presença de cultura agrícola foi outra necessidade identificada pela Coelce para implantação do projeto. Nestas áreas existem várias culturas agrícolas com sistemas de irrigação, e as redes de distribuição de BT atravessam as propriedades dos consumidores, o que as torna vulneráveis a ações fraudulentas, principalmente com uso de “garras” ou “ganchos” diretamente instalados na rede distribuição para alimentar os sistemas de bombeamento. Como tais consumidores utilizam bombas de irrigação trifásicas, com potências da ordem de 10 cv (Cavalo Vapor), o projeto do Inibidor de Furto teve de ser adequado a estas condições.

Como resultado, houve redução de aproximadamente 39% de perdas neste circuito após a implantação do projeto, conforme pode ser verificado no gráfico 2.

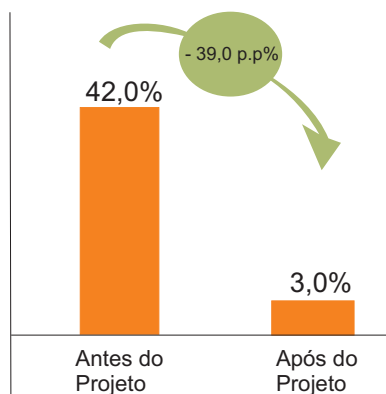


Gráfico 2: Redução de perdas em circuito de zona rural irrigante

## III. CONCLUSÕES

Os estudos e as pesquisas de laboratório realizadas levaram a aperfeiçoamentos no inibidor de furto, em relação à concepção original do projeto, em especial com o uso de inteligência embarcada adicionada ao gerador de ruído e ao dispositivo de proteção de retaguarda. A intensidade do ruído gerado foi reduzida, de forma que fosse suficiente apenas para coibir o uso clandestino de energia sem causar, porém, danos aos eletrodomésticos dos clientes que tentassem praticar o furto.

Os testes realizados em campo demonstraram a alta eficiência do inibidor de furto em diferentes cenários, em que outras soluções não se mostraram viáveis ou adequadas. A redução das perdas obtida no piloto instalado em área urbana e na área rural irrigante demonstram que o inibidor de furto se constitui em uma excelente alternativa para o combate as perdas comerciais em circuitos de Baixa Tensão (BT).



#### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] C. Schüffner, "Ampla muda jeito de atuar para reduzir perdas no RJ", in *Jornal Valor Econômico, Empresas & Tecnologia*, p B1, 08.09.2006

[2] E. Deccache e A. Barreto, "Estudo e validação do Inibidor de Furto em redes de BT", in *anais do SENDI 2008*.

[3] G. Maimoni, *Revista de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel-Vol. 1*, p 14-15, 2006.

[4] N. Pacheco, "Medida contra fraudes", in [www.brasilenergia.com.br](http://www.brasilenergia.com.br), *Eletricidade, Comercialização*, 16.10.2008.

# Coelce

---

## Videoconferência em tótems amplia interação entre cliente e atendente da distribuidora

Com o objetivo de expandir a interatividade com seus clientes, a Companhia Energética do Ceará (COELCE) testou a implantação de terminais de atendimento via teleconferência por meio de “totens”. O projeto baseia-se na introdução gradual de novas tecnologias e novas funções no atendimento a clientes, consistente com a inclusão digital da população e com a convergência de serviços. As novas plataformas de atendimento oferecem um ambiente integrado com videoconferência, no qual o consumidor tem interação direta com o atendente. Sua estruturação passou por uma análise dos modelos de atendimento atuais, das novas diretrizes organizacionais e dos processos existentes. De acordo com os pesquisadores, o projeto seguiu um modelo de mudanças operativas e foi aplicado diretamente em postos de atendimento de Fortaleza, antes da sua generalização para outros ambientes. Isto permitiu a integração e caracterização dos anseios dos clientes e dos atendentes com as orientações de atendimento da concessionária. Também foram testadas condições técnicas e tecnologias para uma solução operacionalmente mais adequada. Uma equipe multidisciplinar de desenvolvimento foi composta para o reconhecimento operacional existente e levantamento do procedimento presencial, telefônico ou por meio de *chat* prestados pelos atendentes. O modelo de atendimento criado agrega o comprometimento visual do atendente com o cliente, por meio de *web cam* e sistema de áudio para permitir interação completa com o consumidor de forma semipresencial, com utilização, ainda, de *scanner* e impressora. Os pesquisadores concluíram que o novo serviço permite a criação de postos de serviço virtuais, constituídos por terminais de relacionamento (totens), o que contribui para a universalização do acesso e da informação divulgada aos consumidores.

---

### **Ficha técnica**

Empresa: Companhia Energética do Ceará (COELCE)

Título: Posto Avançado de Atendimento ao Consumidor por Videoconferência

Ciclos: 2006/2007 e 2007/2008

Investimento: R\$ 688.980,00

Execução: KNBS Telecomunicações e Informática Ltda. e Núcleo de Estudos e Pesquisa do Nordeste (NEPEN)



# Posto Avançado de Atendimento ao Consumidor por Videoconferência

Carlos Alberto Fróes Lima<sup>1</sup>, Leonardo Duarte Oliveira<sup>2</sup>, José Ricardo Portillo Navas<sup>1</sup>

**Resumo** – Baseia-se na introdução gradual de novas tecnologias e novas funções no atendimento a clientes, consistente com a inclusão digital da população e a convergência de serviços. Permite, em conjunto com a central de atendimento da concessionária, homogeneidade, qualidade, agilidade, presteza no tratamento, além de atendimento diferenciado e completo aos clientes. Integra-se em um elemento de atendimento “totem” ou plataforma de relacionamento, suporte físico para um ambiente integrado com videoconferência, no qual o consumidor tem interação direta com o atendente. Sua estruturação passou por uma análise dos modelos de atendimento atuais, das novas diretrizes organizacionais e re-estudo dos processos de atendimento existentes, agregando-se os questionamentos e desafios de um novo paradigma para uma mudança de comportamento do atendente frente ao cliente, que busca apoio em suas dúvidas ou solicita serviços, e da concessionária, em seu compromisso de bem atender.

**Palavras-chave** – Centro de atendimento avançado, Multimídia, Interatividade e relacionamento, Totem, Videoconferência

## I. INTRODUÇÃO

A concessionária tem buscado incorporar novas tecnologias e agregar soluções tecnológicas para a realização de sua operação e prestação de serviços. Objetivos como o atendimento ao cliente, com estrutura de suporte e apoio ao dinamismo operacional, e novas formas de comunicação mais satisfatórias do ponto de vista do cliente-consumidor, têm suscitado novas soluções e oportunidades diferenciadas.

Buscou-se propiciar o atendimento virtual direto e objetivo ao consumidor, simulando atendimento presencial, utilizando a infraestrutura existente da Central de Teleatendimento (Call Center), pela implantação de terminais de acesso com facilidades de videoconferência.

Amplia-se o atendimento direto promovendo a universalidade de acesso ao atendimento da concessionária.

Os postos de serviços evoluem para centros multifuncionais e poderão ser utilizados para disponibilizar e compartilhar ferramentas e serviços de utilidade pública aos cidadãos, representando uma atuação do setor energético consistente com os direcionamentos governamentais focados na transparência e no exercício da cidadania e reforçando, assim, ainda mais o papel atuante da concessionária.

O projeto seguiu um modelo de mudanças operativas, sendo aplicado diretamente nos postos de atendimento de Fortaleza, antes de sua generalização para outros ambientes. Isto permitiu a integração e caracterização dos anseios dos clientes e dos atendentes, somando-se as orientações de atendimento da concessionária. Também foram testadas condições técnicas e tecnologias para uma solução mais adequada operacionalmente. Os resultados são vistos nas reações de surpresa positiva dos consumidores e na eficiência e interatividade promovidas.

## II. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Testes foram efetuados em tecnologias e equipamentos multimídias disponíveis de mercado, buscando aderência a padrões operacionais existentes. Este cuidado visou permitir a sustentabilidade futura da solução e a troca/reposição facilitada de elementos físicos componentes, como câmeras de vídeo, microfones, caixas de som e equipamentos auxiliares de suporte à operação como, *scanners* e impressoras. O controle remoto de recursos e o compartilhamento de informações entre sistemas diferentes em ambientes de execução distintos também foram grandes desafios técnicos enfrentados.

A concepção da solução pontuou como fatores preponderantes na sua implantação e sucesso:

- Consistência de procedimentos e transparência em relação aos procedimentos de atendimento realizados pela concessionária nas lojas, e via ligação telefônica e/ou *chat*;

- Adaptação da mídia aos *scripts* de prestação do serviço, e

- Valor adicionado em relação aos serviços prestados.

Foi formada uma equipe multidisciplinar de desenvolvimento para o reconhecimento operacional existente e levantamento do procedimento presencial e telefônico/*chat* prestados pelos atendentes.

O perfeito entendimento do operacional existente e os procedimentos de serviços e atendimento prestados pelos atendentes presenciais e telefônico/*chat* demandaram da equipe multidisciplinar de desenvolvimento reuniões e entrevistas para determinar os requisitos funcionais, incluindo o histórico de reclamações/ações efetuadas, em diversas empresas que realizam teleatendimento, e os processos da concessionária [1 e 2].

Considerando as questões operacionais, a solução buscou atender a duas linhas de facilidade:

- Criar um atendimento diferenciado, onde exista um comprometimento visual do atendente com o cliente (fornecendo web cam + áudio), e

- Permitir a interação completa com o cliente de forma semipresencial (fornecendo *scanner* + impressora = terminal de troca de documentos), como apresentado na Figura 1.

Posto Avançado de Atendimento ao Consumidor por Videoconferência- 0039-004/2007; Coelce; entidade executora: KNBS Telecomunicações e Informática Ltda. – www.knbs.com.br, e Núcleo de Estudos e Pesquisa do Nordeste (NEPEN); Ciclo 2006/2007 (aprovado) e Ciclo 2007/2008 (realizado); investimento de R\$ 688.980,00 aprovado para execução do projeto.

<sup>1</sup> KNBS (e-mail: froes@knbs.com.br, navas@knbs.com.br).

<sup>2</sup> Coelce (e-mail: leoduarte@coelce.com.br )



Figura 1 – Terminal de videoconferência.

### III. CONCLUSÃO E VANTAGENS OPERACIONAIS

A concepção do atendimento via teleconferência foi desenvolvida de forma a complementar as soluções de relacionamento existentes na concessionária. Não existe esta modalidade de atendimento de forma comercial no mercado, tornando esta abordagem totalmente inovadora.

Foram preservadas e ampliadas as opções de soluções de problemas dos consumidores e provida uma forma de interatividade e relacionamento mais coerente com as necessidades individuais.

Essa inovação permitiu a ampliação do compromisso da concessionária no respeito aos direitos do cidadão no uso dos serviços disponibilizados, de uma forma mais calorosa e próxima às suas necessidades. Permitiu-se ampliar a oferta de atendimentos realizados nos postos de atendimento, otimizando e criando a sensação de atendimento presencial ou autoatendimento assistido.

Uma possibilidade adicional de resultado deste novo relacionamento é a criação de postos de serviço virtuais, constituídos por terminais de relacionamento (totens), universalizando o acesso e a informação divulgada aos consumidores. Alguns desses pontos, como a Associação de Moradores da comunidade de Maracanaú, teve seu posto instalado e com operação de atendimento à comunidade, diminuindo as distâncias e resolvendo problemas de comunicação, otimizando as solicitações de energia nova e fortalecendo o relacionamento.

Os grandes desafios encontrados foram a ampliação do conhecimento dos processos de atendimento, o seu questionamento na sua essência e efetividade, a agilidade de respostas e a interatividade operacional pelos atendentes. Estes desafios encontraram eco na preocupação constante da concessionária de reconhecer e atender seus consumidores.

---

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Procedimento Comercial: Conduta do executivo de atendimento – PCO 01/2001 – Rev 4
- [2] Procedimento Comercial: Atendimento a pedido de ligação nova em baixa tensão com ou sem rede de distribuição – PCO 04/2001 – Rev 11

# Bandeirante

---

## Sistema PLATOE é embrião de rede inteligente

O sistema Plataforma de Operação e Engenharia (PLATOE), para a integração e convergência de diversas fontes de informação para maximizar a gestão de dados, foi criado por pesquisadores da Bandeirante Energia e da Wireless Telecomunicações. O objetivo é permitir a disponibilização de dados operativos das subestações de alta tensão e dos equipamentos da rede de média tensão para a própria rede corporativa (*Intranet*) da concessionária. Por conta das dificuldades operacionais para apresentar esses dados, em alguns casos as concessionárias acabam por dispor de uma conexão não segura aos servidores da rede corporativa, tornando a rede em tempo real vulnerável e sujeita a invasões e ataques. O sistema desenvolvido conta com autenticador próprio da concessionária e não depende das autenticações da operadora de telecomunicações, por essa razão, o PLATOE oferece segurança cibernética, além de integração de diversas ferramentas, disponibilização dos dados e grandezas elétricas via web e utilização, nos equipamentos, de sensores ou dispositivos da rede elétrica de um centro de controle miniaturizado. Isso permite a um autômato (robô) realizar a supervisão local e a realização de manobras à distância, com redução no tempo de restabelecimento da rede elétrica e conseqüente melhoria nos índices de qualidade do fornecimento de energia. Pela aquisição dos dados de quaisquer sistemas, ou da própria produção interna dos seus módulos, o PLATOE possui ferramentas para receber ou fornecer informações para sistemas e aplicativos de análise de dados de fabricantes diversos. Além disso, é capaz de gerar e disponibilizar informações para todos os órgãos bem como para outros sistemas por rede privada ou corporativa (PLATOE GRID). O sistema também pode, em tempo real, reconstruir informações perdidas pelas unidades de armazenamento, que podem ser inseridas ou excluídas sem interrupção do sistema e de suas funcionalidades, atendendo ao conceito de “*disaster recovery*” (recuperação em caso de desastre).

---

### **Ficha técnica**

Empresa: Bandeirante Energia S/A  
Título: Sistema Convergente para Automação, Operação e Análise de Engenharia como Embrião ao Smart Grid da EDP Bandeirante – PLATOE  
Ciclo: 2003/2004/2005  
Investimento: R\$ 741.802,00  
Execução: Wirelex Telecomunicações Ltda.

## Sistema Convergente para Automação, Operação e Análise de Engenharia como Embrião ao

# Smart Grid da EDP Bandeirante – PLATOE

Francisco Manuel Pires Neto 1, Rogério Marques 1, Lucca Zamboni 1, Emerson Chinaglia 2, Gilberto R. Pereira 2, Pedro Junji Hirasawa 2, Cezar A. C. Menezes 2

**Resumo** – Este trabalho descreve o desenvolvimento do Sistema Plataforma de Operação e Engenharia (PLATOE), que permite a convergência para a integração do sistema de supervisão e controle SCADA às ferramentas corporativas, com segurança, visando à maximização da gestão dos dados originados do sistema elétrico, para disponibilizá-los diretamente aos aplicativos como “Smallword” e “PowerOn”.

**Palavras-chave** – Perdas Comerciais, Transformador de Distribuição, Medição de Energia Elétrica, Medição Fiscal, Redes Inteligentes (smart-grid).

### I. INTRODUÇÃO

As empresas de energia elétrica em sua maioria têm sistemas de supervisão e controle em operação nos seus Centros de Controle, contudo, têm dificuldades de disponibilização dos dados operativos das subestações de AT e dos equipamentos da rede de MT para os clientes da rede corporativa (intranet) ou até, em alguns casos, disponibilizaram uma conexão não segura do sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) aos servidores da rede corporativa, deixando a rede em tempo real vulnerável e sujeita a invasões e ataques.

O sistema Plataforma de Operação e Engenharia (PLATOE) é inovador e totalmente alinhado para atender as futuras integrações necessárias ao desenvolvimento e operacionalização das Redes Inteligentes (*Smart Grids*) na EDP Bandeirante.

### II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O Sistema PLATOE tem um caráter inovador, pois foi totalmente desenvolvido em território nacional e advém, de suas principais características, a segurança cibernética, a integração de diversas ferramentas, a disponibilização dos dados e grandezas elétricas via “web” e a utilização nos equipamentos, sensores ou dispositivos da rede elétrica de um centro de controle miniaturizado (a microrremota celular), que é um autômato que realiza a supervisão local, e permite a realização de manobras à distância, proporcionando a diminuição no tempo de restabelecimento da rede elétrica com consequente melhoria nos índices de qualidade.

Neste momento, vem se consolidando numa ferramenta muito robusta, como uma plataforma multimódulos e multitarefas que o torna uma expressiva ferramenta de gestão da operação, qualidade, manutenção, planejamento e engenharia, por três grandes braços:

#### A. Comunicação:

Segura e inteligente, a comunicação possui um módulo dedicado a esta função (MIC), um autenticador próprio da concessionária, integrado ao sistema PLATOE, que torna a segurança independente das autenticações da operadora de telecomunicações. Possui, por fim, a opção de configurar os dispositivos no campo, utilizando uma senha individual criptografada e temporizada, para comunicação via IP, pelo protocolo proprietário para o transporte de dados. Expansível para inserção de dispositivos de diferentes fabricantes.

No campo, os equipamentos que o compõem, dispõem de tecnologia para integrar numa mesma remota, informações de vários dispositivos de controle, bem como é capaz de prover comunicação através de meios físicos diversos como o celular (1XRTT, EVDO e GPRS), Rádio VHF ou UHF, entre outros.

#### B. Interface:

Com a aplicação da tecnologia de multissistemas, o PLATOE está preparado para fazer interface dos recursos e informações com quaisquer sistemas, independentes de sua aplicação, ou origem, a exemplo do SCADA [2], do Centro de Análise de Engenharia - CAE, *PowerOn*, *Smallword* (SIT), SAP, entre outros.

Uma das suas principais características é garantir a flexibilidade na integração entre diversos sistemas pelo desenvolvimento dos módulos clientes.

#### C. Gerador e analisador de dados:

Com a aquisição dos dados de quaisquer sistemas, ou da própria produção interna dos seus módulos, o PLATOE possui ferramentas para receber ou para fornecer informações para sistemas e aplicativos de análise de dados de fabricantes diversos, capazes de gerar e disponibilizar informações para todos os órgãos, bem como para outros sistemas por meio de rede privada ou corporativa, denominado PLATOE GRID.

PLATOE-STMRA - Plataforma de Operação e Engenharia do Sistema de Telecomando e Monitoração de Ra's - 0391-026/2004 ; Bandeirante Energia S.A.; CICLOS 2003/2004/2005; Investimento (R\$ 741.802,00).

1 Bandeirante Energia S.A. (e-mails: piresnt@edpbr.com.br; rogerio.marques@edpbr.com.br; lucca.zamboni@edpbr.com.br).

2 Wirelex Telecomunicações Ltda. (e-mail: emerson.chinaglia@hexagon-telecom.com.br; gilberto@hexagon-telecom.com.br; pedro@hexagon-telecom.com.br; ce-zar@hxgt.com.br).



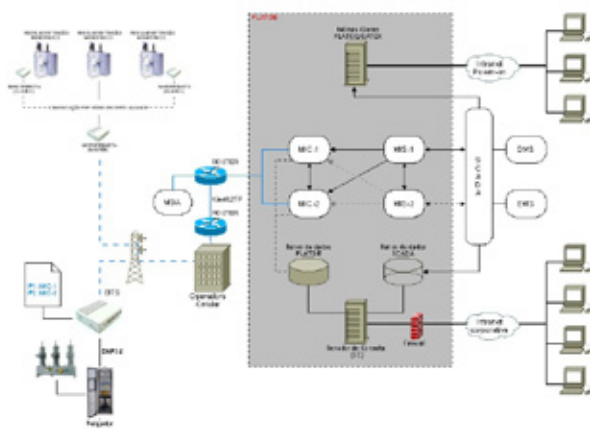


Figura 1. Arquitetura do PLATOE

Conforme apresentada na figura 1, o PLATOE tem um banco de dados e processamento ativo, sendo assim um sistema de alto desempenho e alta disponibilidade e foi montado numa plataforma “blade”, que gera e transforma os dados em informações úteis para todos os clientes. Sua arquitetura é robusta e totalmente industrial, com armazenamento e duplicação dos servidores com capacidade atual de 1,2 Tbytes, expansível, sendo capaz de, em tempo real, reconstruir informações perdidas pelas unidades de armazenamento, que podem ser inseridas, ou retiradas, sem interrupção do sistema e de suas funcionalidades, atendendo ao conceito de “disaster recovery”.

Os elementos que compõem a plataforma são:

- M3A (Módulo de Autenticação);
- MIC (Módulo de Interface de Comunicação);
- Módulos Clientes (ex: PLATOE/GATEX);
- MCP (Módulo de Consulta PLATOE);
- MIS (Módulo de Interface com o SCADA);
- Microrremotas;

O braço de interface do PLATOE pelo módulo PLATOE/GATEX é responsável pela interligação e envio dos dados das subestações e equipamentos da Rede de MT para o Sistema GIS (PowerOn) permitindo a associação dos dados das descargas atmosféricas e do sistema elétrico da empresa, considerando-se que ambos estão na mesma base de tempo-espaço referenciadas pelo sistema GPS (Global Positioning System).

A figura 2 apresenta o esquema de integração entre o sistema SCADA / PLATOE / GATEX, que gera as ocorrências em tempo real no PowerOn (Smallworld) e a associação das informações dos Raios fornecidos pelo INPE [5]. Tal integração possibilita a gestão das ocorrências na rede de distribuição, baseada em informações precisas de incidência de raios num intervalo de tempo extremamente reduzido, atingindo um nível de assertividade bastante satisfatório, considerando os horários das ocorrências na rede de distribuição e de raios sincronizados pelo GPS [1].

Com relação à segurança cibernética, a separação física das redes é o principal meio de isolamento da rede em tempo real.

### III. CONCLUSÕES

O PLATOE promove a integração e convergência de diversas fontes de informação, com possibilidade de inserção e extração de dados para compor relatórios, gerando resultados consistentes, validados em ambiente seguro, para o negócio da empresa.

O sistema é a solução convergente que foi desenvolvida via P&D da ANEEL, com a estanqueidade necessária para a preservação da integridade do Sistema SCADA [3,4], sendo inovador e totalmente alinhado para atender às futuras integrações necessárias ao desenvolvimento e operacionalização das redes inteligentes na EDP Bandeirante.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Vitor Luiz G. Gardiman, Ronaldo Martins Greca, Osmar Pinto Jr. e Marcelo Martino. “Convergência em tempo real dos dados de descargas atmosféricas e do sistema SCADA na Plataforma de Geoprocessamento GIS”; Instituição (ões): EDP Bandeirante, INPE e LOGICA.
- [2] Tanenbaum, Andrew S. “Redes de Computadores” – Ed. Campus;
- [3] Francisco M. Pires Neto, “Sistema SCADA – Bandeirante Energia S.A.” EDP Bandeirante
- [4] Francisco M. Pires Neto, Elias Freire, Sergio Fraulob “Sistema SCADA Brasil – EDP Energias do Brasil”. EDP Bandeirante, EDP Escelsa e Enersul
- [5] P&D ANEEL - 0391-007/2006 – CICLOS 2005/2006 – Desenvolvimento de sistema para automatização em tempo real da a-avaliação da influência das descargas atmosféricas em desligamentos da rede de distribuição.

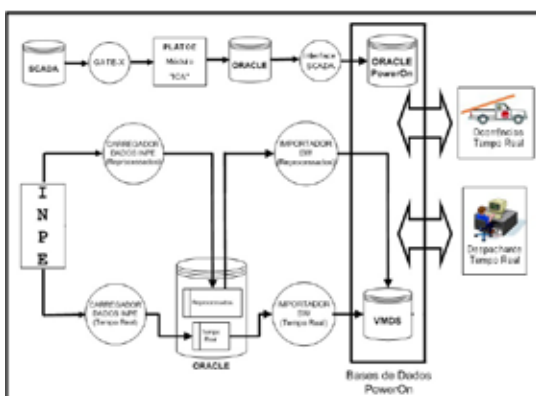


Figura 2. Esquemas de integração entre os sistemas





AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

SGAN - Quadra 603 - Módulos "I" e "J"  
Brasília - DF - 70830-030  
TEL. 55 (61) 2192 8600 Ouvidoria: 167  
[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)