



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GCE 14  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

**GRUPO XIV  
GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCE**

**QUALIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO**

**Carlos Azevedo Sanguedo\*      Ana Angélica da Silva Oliveira      Carmem Polycarpo Medeiros**

**CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL**

**RESUMO**

A ELETROBRÁS/CEPEL e a CNI/IEL assinaram um convênio para a promoção da qualidade e eficiência energética de transformadores de distribuição, com o objetivo de estabelecer um nível mínimo aceitável de desempenho para transformadores, implantar um programa de premiação por selo e certificação. Esse Programa é voluntário e visa estimular os fabricantes e as concessionárias a aplicação de transformadores de maior eficiência.

Este artigo descreve a proposta de um sistema de avaliação e melhoria de desempenho através do Programa acima citado e apresenta as informações fornecidas pelas Concessionárias de Energia, relativas aos transformadores instalados nos seus sistemas de distribuição e as informações obtidas dos fabricantes.

**PALAVRAS-CHAVE**

Transformadores de distribuição, qualidade, eficiência energética.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O CEPEL vem desenvolvendo projetos com a finalidade de elevar o desempenho dos equipamentos de distribuição e reduzir as perdas técnicas do Sistema Elétrico, aumentando a sua estabilidade e confiabilidade. Junto com a ELETROBRÁS e no âmbito do Programa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial - PDTI, a qualificação e a certificação de equipamentos de distribuição irão apoiar a indústria nacional no desenvolvimento e otimização desses produtos, agregando valor e diferenciando-os em relação ao mercado.

As principais razões para iniciarmos os trabalhos na área de distribuição com os transformadores são as seguintes:

- As pequenas melhorias de eficiência podem resultar em economias substanciais de energia, em razão do grande número de transformadores de distribuição em uso e também do fato de que toda a potência elétrica gerada passa continuamente pelos transformadores.
- Os transformadores têm um impacto ambiental significativo, apesar das eficiências médias elevadas (95 a 98%), porque consomem continuamente a energia.
- As perdas de energia em transformadores de distribuição têm dois componentes: perdas no ferro, fenômeno que ocorre 24 horas por dia, 7 dias por semana, na vida do transformador que são 30 anos na média e as perdas em carga, quando o transformador está no uso, e para as correntes parasitas devido ao fluxo disperso.
- É estimado que até 2% da energia total gerada seja perdida nos transformadores de distribuição, representando quase um terço das perdas totais do sistema.
- Estimamos que uma melhoria média de 1% no rendimento dos transformadores de distribuição traria uma economia estimada de R\$ 57 milhões por ano, equivalente a uma economia de consumo de 277 GWh/ano.

## 2.0 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE QUALIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TRANSFORMADORES

### 2.1 Objetivo

Os objetivos do programa de qualidade e eficiência energética de transformadores de distribuição são além de estabelecer um nível aceitável de desempenho para transformadores, implantar um programa de premiação por selo de qualidade de forma a incentivar o incremento do nível de desempenho e um programa de certificação com parâmetros garantidos.

### 2.2 Pontos relevantes

Os programas de universalização da oferta de energia elétrica empreendidos pelo Governo Federal, proporcionam a oportunidade inédita para atualização tecnológica dos equipamentos objetivando a qualidade e a eficiência energética, que é uma questão vital no desenvolvimento auto-sustentado. A necessidade de aumentar a eficiência das redes de distribuição, aponta a importância de incentivar empresas brasileiras a investirem em desenvolvimento tecnológico. E também em relação aos fabricantes, a oferta de um produto de desempenho conhecido e de reconhecimento nacional confirmado por um organismo independente.

### 2.3 Etapas do Programa de Qualidade e Etiquetagem de Transformadores

As etapas básicas do programa são:

- Efetuar um estudo mercadológico realizando um levantamento junto às concessionárias de energia sobre os transformadores instalados em suas redes de distribuição e aos fabricantes de transformadores.
- Promover a qualidade dos equipamentos através da elaboração de um Programa de Etiquetagem de Transformadores.
- Elaborar estudos sobre os financiamentos existentes para o Setor Industrial, com o objetivo de viabilizar a implantação de novas tecnologias.
- Elaborar também a proposta para um selo com premiação anual, por categoria de potência, destinada aos transformadores que apresentam o melhor desempenho em termos de qualidade e eficiência energética.

### 2.4 Grupo de Trabalho (GT)

Para a implementação das ações do Convênio, foi realizado na ABINEE em São Paulo, no dia 22 de março de 2007, um evento para a formação do Grupo de Trabalho - GT, cuja função é definir os critérios e procedimentos técnicos necessários ao programa de etiquetagem, ao selo de premiação dos transformadores de distribuição e ao estabelecimento das bases do regulamento de certificação. As Fotos 1 e 2 mostram a apresentação do projeto, com a presença da indústria do setor de transformadores de distribuição, das associações, dos agentes reguladores e das entidades da indústria com o objetivo de iniciar a formação do Grupo de Trabalho.



Foto 1: Apresentação na ABINEE - ELETROBRÁS



Foto 2: Apresentação na ABINEE - CEPEL

### 2.5 Metas e indicadores do Programa de Etiquetagem

O programa de etiquetagem dos transformadores de distribuição se inicia pela determinação dos parâmetros de referência e dos parâmetros normalizados em relação aos praticados pelos fabricantes. Faz-se necessária a realização dos ensaios dos transformadores nos laboratórios de referência com o objetivo de verificar o estado da arte dos equipamentos atualmente fabricados. Serão também analisadas as vantagens econômicas e as dificuldades técnicas para redução das perdas nos transformadores de distribuição. E finalmente a definição de um programa com prazos e metas de redução de perdas.

### 2.6 Avaliação Técnica

A avaliação técnica será realizada com a definição dos procedimentos para obtenção dos resultados dos ensaios, das tolerâncias, dos cálculos de incerteza e da aferição interlaboratorial. Será efetuada a avaliação dos laboratórios independentes e dos fabricantes quanto à sua capacitação técnica, à demanda, aos preços e aos

prazos. Serão apresentados os critérios de medição e controle dos parâmetros de referência de acompanhamento da produção e a realização dos ensaios dos transformadores nos laboratórios independentes credenciados.

#### 2.7 Etapas da Etiquetagem Nacional de Qualidade Energética

O processo de etiquetagem de transformadores de distribuição engloba quatro fases. A fase de aferição interlaboratorial, de medição e controle, de acompanhamento da produção e interpretação e a de controle dos resultados.

#### 2.8 Ensaios previstos para a Etiqueta Nacional de Qualidade Energética - ENQUE

No caso dos transformadores de distribuição, a ENQUE tem por objetivo informar o rendimento, a curva de rendimento, a distorção harmônica, a relação de transformação e o nível de ruído dos transformadores de distribuição, segundo normas brasileiras específicas. E, garantir que a medição dessas grandezas está sendo realizada pelo fabricante de forma contínua e segundo parâmetros e valores de ensaios de aferição e controle conforme as disposições de um regulamento específico.

Os ensaios a serem realizados nos transformadores são: resistência elétrica dos enrolamentos, perdas em vazio, corrente de excitação e distorções harmônicas, perdas em carga e impedância de curto circuito, relação de transformação, nível de ruído, elevação de temperatura, deslocamento angular, resistência de isolamento, polaridade e seqüência de fases.

#### 2.9 Selo Premiação da Qualidade de Transformadores

Como citado anteriormente será efetuada a análise dos dados dos ensaios para a premiação dos equipamentos com melhor desempenho. Serão determinados nesta etapa as políticas, os critérios, a abordagem mercadológica e o marketing a serem adotados.

#### 2.10 Certificação de Conformidade

Como última etapa do programa, a Certificação da Conformidade abrange o acompanhamento técnico do processo produtivo dos fabricantes, a avaliação do sistema de gestão da qualidade dos mesmos e a certificação propriamente dita, culminando com o estudo sobre as vantagens e desvantagens da compulsoriedade na certificação do produto.

### **3.0 - RESULTADO DAS ANÁLISES RELATIVAS AOS TRANSFORMADORES INSTALADOS NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO NACIONAIS E AS UNIDADES NOVAS ADQUIRIDAS POR ANO**

Em abril e maio de 2006, a ELETROBRÁS realizou uma pesquisa nas diversas concessionárias de energia elétrica, sobre a situação dos transformadores instalados em seus sistemas de distribuição referente ao ano de 2005. Foram recebidas informações de quarenta e uma empresas de um total de quarenta e quatro questionários enviados para as empresas das Regiões Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Pelas respostas obtidas podemos afirmar que:

- O número total de transformadores de distribuição instalados no país é de mais de 2.300.000 unidades, sendo 57% monofásicos e 43% trifásicos.
- O total de transformadores adquiridos por ano é de quase 130.000 unidades, sendo 74% monofásicos e 26% trifásicos.
- 31% do volume total dos novos transformadores monofásicos adquiridos por ano, concentram-se na região Sudeste. Seguindo a região nordeste com 23% e a região Sul com 22%.
- 65% do volume total dos novos transformadores trifásicos adquiridos por ano, concentram-se nas regiões Sudeste com 33% e Sul com 32%.
- As potências de 10 kVA no sistema monofásico e 45 KVA no sistema trifásico vêm sendo predominantemente utilizadas na aquisição de novos transformadores.
- Todas as quarenta e uma concessionárias de energia elétrica manifestaram interesse nos trabalhos de melhoria de qualidade e certificação dos transformadores de distribuição.
- Das quarenta e quatro empresas consultadas apenas quatro empresas adquirem transformadores reconicionados.
- Quarenta empresas dentre as quarenta e uma que responderam ao questionário, julgam importante a participação das recuperadoras no desenvolvimento deste trabalho.
- A quantidade média de novas unidades transformadoras adquiridas por ano é de 5,5% das unidades instaladas no sistema de distribuição de energia elétrica.

### **4.0 - GRÁFICO COM AS INFORMAÇÕES OBTIDAS JUNTO AS CONCESSIONÁRIAS**

Os nove Gráficos apresentados na Figura 1 até a Figura 9 ilustram as considerações mencionadas no item 3.0 e revelam algumas tendências adotadas pelas concessionárias de energia, no que se refere às unidades transformadoras em pauta.

No item 5.0 mostraremos o levantamento das informações obtidas junto aos vinte e um fabricantes nacionais de transformadores de distribuição.

A posse desses dois resultados e a execução dos passos seguintes previstos nas etapas básicas do programa, permitirá ao grupo de trabalho a ser formado, planejar uma gestão com o objetivo de estimular as empresas a melhorar o seu parque de transformadores.

#### 4.1 Gráfico 1

A Figura 1 apresenta percentualmente o número de transformadores por número de fases, existentes e integrantes dos parques das concessionárias de energia até abril de 2006.

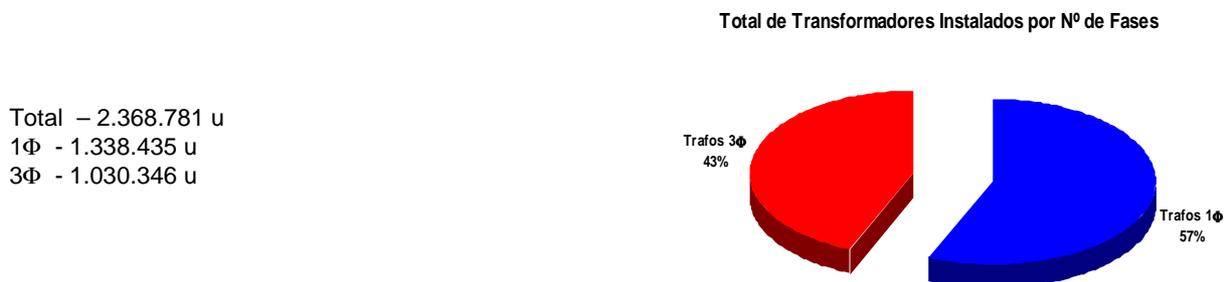


FIGURA 1: Total de Transformadores instalados por número de fases

#### 4.2 Gráfico 2

A Figura 2 reflete de forma regionalizada o percentual de transformadores monofásicos instalados nos parques das concessionárias de energia até abril de 2006.

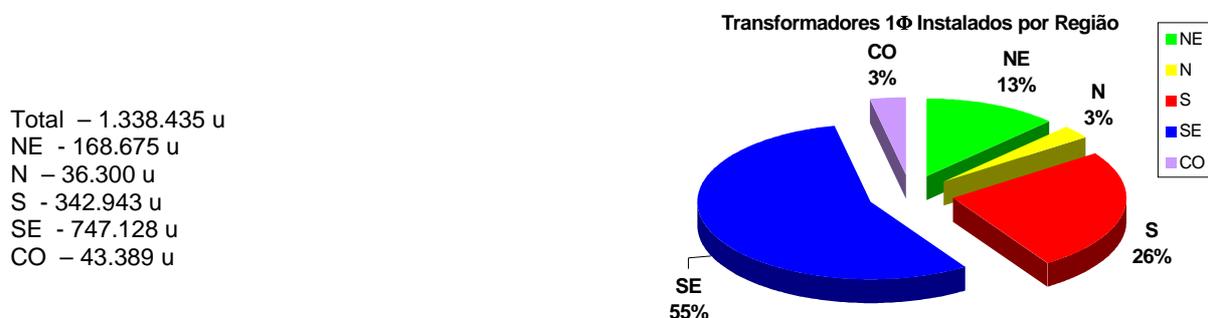


FIGURA 2: Total de Transformadores 1Φ instalados por região

#### 4.3 Gráfico 3

A Figura 3 reflete de uma forma regionalizada o percentual de transformadores trifásicos instalados nos parques das concessionárias de energia até abril de 2006.

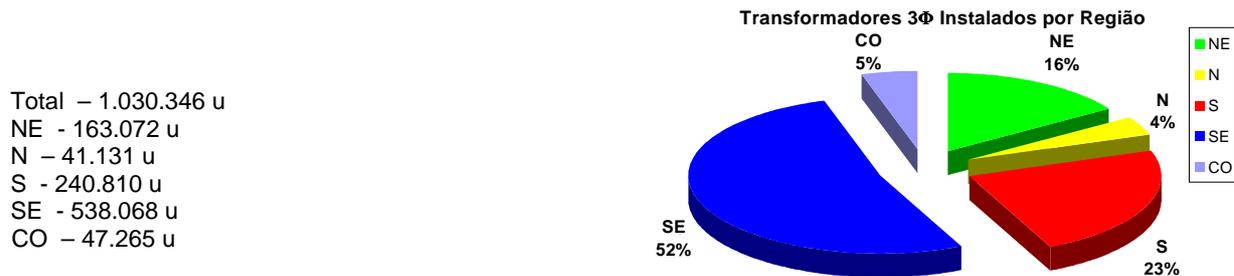


FIGURA 3: Total de Transformadores 3Φ instalados por região

#### 4.4 Gráfico 4

A Figura 4 apresenta o percentual de novos transformadores, por número de fases, adquiridos pelas concessionárias de energia no ano de 2005.

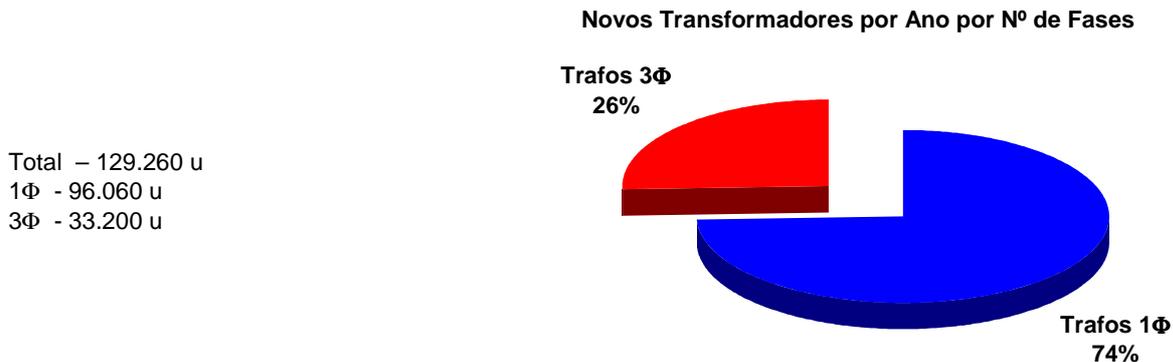


FIGURA 4: Novos Transformadores por ano por número de fases

4.5 Gráfico 5

A Figura 5 apresenta o percentual de novos transformadores monofásicos, adquiridos pelas concessionárias de energia no ano de 2005.

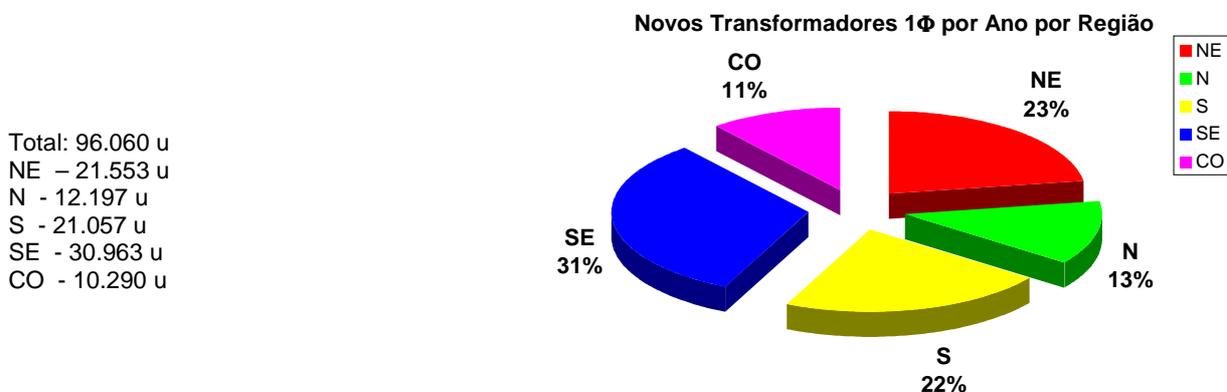


FIGURA 5: Novos transformadores 1Φ por ano por região

4.6 Gráfico 6

A Figura 6 apresenta o percentual de novos transformadores trifásicos, adquiridos pelas concessionárias de energia no ano de 2005.

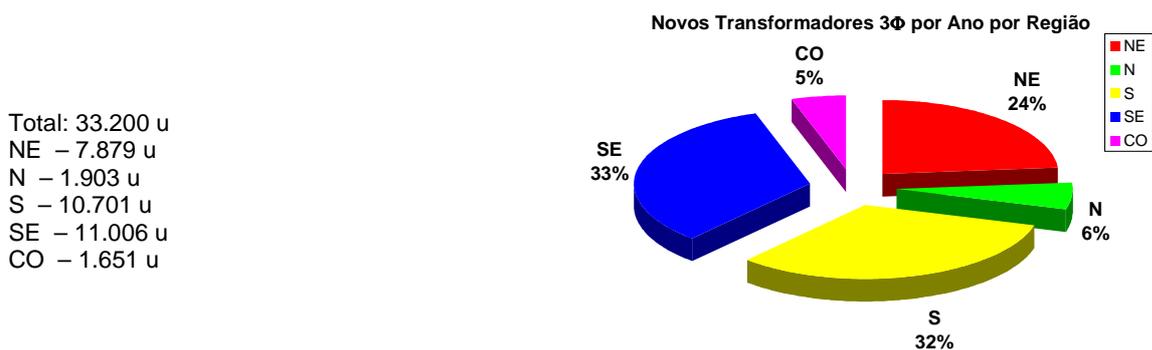


FIGURA 6: Novos transformadores 3Φ por ano por região

4.7 Gráfico 7

A Figura 7 reflete de forma regionalizada o percentual de aquisição de transformadores distribuição eficientes pelas concessionárias de energia até abril de 2006.

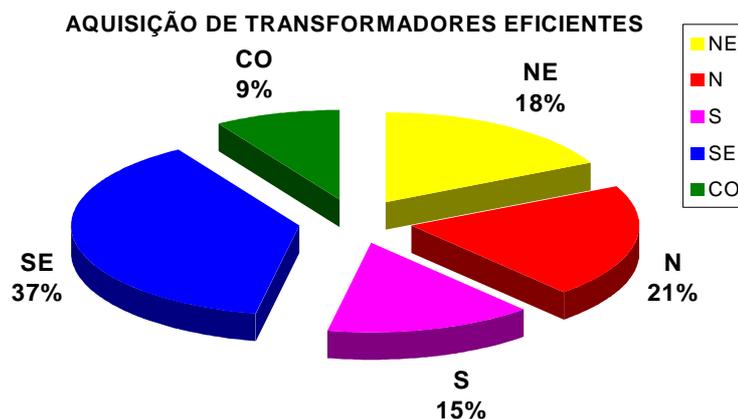


FIGURA 7: Aquisição de transformadores eficientes por região

#### 4.8 Gráfico 8

A Figura 8 apresenta a quantidade de transformadores de distribuição novos, monofásicos, por classe de potência, adquiridos pelas concessionárias de energia no ano de 2005.

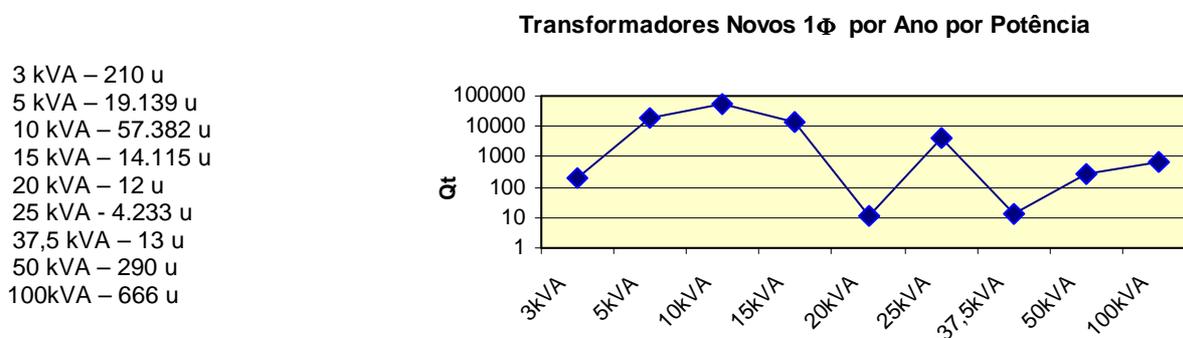


FIGURA 8: Novos transformadores 1Φ por ano por potência

#### 4.9 Gráfico 9

A Figura 9 apresenta a quantidade de transformadores de distribuição novos, trifásicos, por classe de potência, adquiridos pelas concessionárias de energia no ano de 2005.

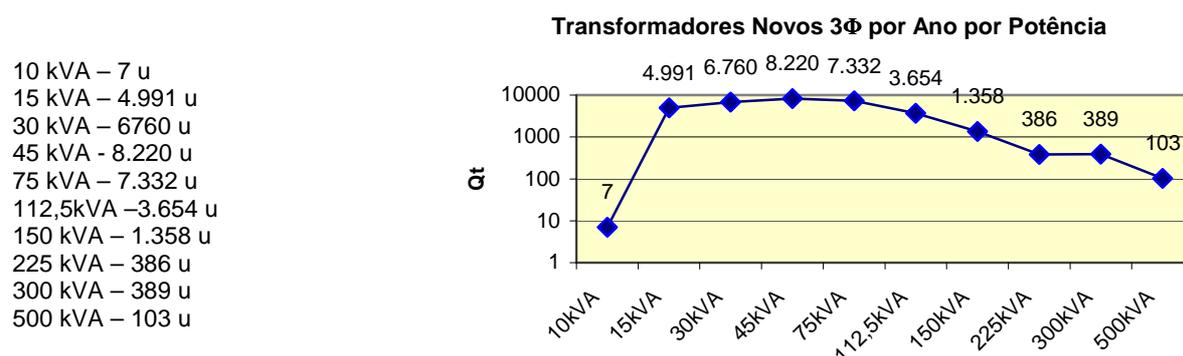


FIGURA 9: Novos transformadores 3Φ por ano por potência

### 5.0 - RESUMO DA PESQUISA REALIZADA JUNTO AOS FABRICANTES

Em novembro de 2006, o CNI/IEL realizou uma pesquisa referente ao ano de 2005, do mesmo porte da pesquisa realizada pela ELETROBRÁS/CEPEL, porém direcionada aos fabricantes de transformadores de distribuição, cujo resumo dos dados, que consideramos relevantes, apresentaremos neste artigo.

### 5.1 Identificação dos fabricantes:

Os resultados apresentados baseiam-se nas respostas recebidas de vinte e um fabricantes de transformadores de distribuição. Observa-se a predominância na fabricação de transformadores de distribuição monofásicos com 74% em relação aos transformadores trifásicos com 26%.

### 5.2 Características dos transformadores:

As potências monofásicas de maior frequência são de 5, 15, 25 e 37,5 kVA produzidas por 89,5% dos fabricantes. E as trifásicas de maior frequência são de 45, 75, 112,5, 150 e 225 kVA produzidas por 100% dos fabricantes.

### 5.3 Mercado nacional de transformadores de distribuição:

O percentual de fabricantes que fornece transformadores de distribuição para o mercado nacional é de 57,1%, sendo que 33% desses fabricantes exportam seus transformadores para outros países.

Para 62% dos fabricantes a medida mais eficaz para que seus equipamentos sejam exportados é a maior divulgação de sua marca. Já a redução dos prazos de entrega, veio em 2º lugar, citada por 38% das empresas.

Na percepção de 81% dos fabricantes, o fator de maior importância para o cliente é o menor preço do produto, vindo em seguida com 43%, o menor prazo de fornecimento.

Para 57% dos fabricantes, o principal motivador para que os clientes adquiram transformadores de sua marca é a qualidade do produto oferecido. Para 52% o preço é o fator determinante.

Um total de 48% dos fabricantes faz recuperação na sua unidade fabril. O total de unidades recuperadas em foi 58% superior ao total de transformadores vendidos.

### 5.4 Insumos e fornecedores

Com referência aos insumos, a pesquisa mostra que para 84% dos fabricantes o aço silício é considerado uma matéria prima com o maior peso no custo final dos transformadores. O cobre eletrolítico para 52,6% dos fabricantes representa a 2ª maior participação no custo final do produto.

Como necessidade de maior diversidade de fornecedor de matéria prima, 90% dos fabricantes apontou o aço silício, 43% o cobre, 29% o alumínio e 24% o óleo isolante.

Com relação à importância de se ter uma melhor qualidade das matérias primas utilizadas, o aço silício foi indicado por 81%, o cobre por 48% e o óleo isolante por 19%.

As maiores dificuldades enfrentadas pelos fabricantes na aquisição de matérias primas são: para 57% o volume mínimo exigido e 48% o curto prazo para o pagamento.

### 5.5 Projeto e laboratórios de ensaio

Para 76% dos fabricantes, a medida preferencial a ser adotada para atender a necessidade mercadológica de diminuição de perdas totais, é a utilização de chapas de aço silício de menor perda específica. Cerca de 86% afirmaram possuir laboratório para ensaio de matéria prima na sua unidade fabril. E 81% dos fabricantes possuem laboratórios para atender a NBR 5356 e a NBR 5380. Sendo que 100% podem realizar ensaios de rotina e 71% podem realizar ensaios de tipo.

### 5.6 Pesquisa & desenvolvimento

Para 100% dos fabricantes existe o indicativo de investir em P&D. As linhas de pesquisa de maior investimento são a otimização dos processos produtivos (76%), os novos materiais isolantes (62%), o aço silício, as novas ferramentas e a automação da produção com 57%. O principal retorno esperado pelos fabricantes com o investimento em P&D é, para 81% dos fabricantes, a redução do custo de produção.

Para 86% dos fabricantes existem obstáculos para investir em P&D. Como exemplo, a falta de instituições de apoio e recursos humanos para 55% e a falta de recursos próprios e linhas de financiamento para 50%.

### 5.7 Institucional e normativo

Para os nove maiores fabricantes a medida mais importante para incentivar a fabricação de transformadores de distribuição de menores perdas seria a revisão das normas NBR 5440 e em 2º lugar a adoção da capitalização das perdas pelas concessionárias. Já para os menores fabricantes, a priorização se inverte, com a capitalização das perdas à frente da revisão da norma NBR 5440.

### 5.8 Serviço de recuperação de transformadores

Na visão de 71% dos fabricantes, existe grande demanda do serviço de recuperação por parte das concessionárias e a recuperação é um serviço imprescindível para 43% dos fabricantes.

Na visão de 62% dos fabricantes, as empresas que trabalham exclusivamente com a recuperação são de baixa qualificação técnica.

Para 48% dos fabricantes um transformador recuperado sempre terá perdas maiores que as originais e para 43% é difícil atender aos níveis de eficiência da NBR 5440 em transformadores recuperados.

Para 29% dos fabricantes é também difícil ter uma sobre vida útil dos transformadores recuperados superior a 5 anos.

Para 29% dos fabricantes o custo benefício não justifica a recuperação de transformadores.

Para 45% dos fabricantes a norma NBR 5440 deveria ser revisada para definir requisitos mínimos para a recuperação de transformadores.

Para 45% dos fabricantes as empresas recuperadoras deveriam participar do programa de etiquetagem.

## 6.0 - CONCLUSÕES

Baseado nas repostas dos questionários respondidos pelas concessionárias distribuidoras de energia e nas repostas dos fabricantes de transformadores de distribuição para o ano de 2005, concluímos que:

### 6.1 Em relação às concessionárias

- A quantidade média de novas unidades transformadoras adquiridas por ano é de 5,5% das unidades instaladas no sistema de distribuição de energia elétrica. Isto significa que em 18 anos o parque nacional de transformadores de distribuição seria totalmente substituído.

### 6.2 Em relação aos Fabricantes:

- Podemos observar que há espaço para melhorias do nível tecnológico dos transformadores de distribuição produzidos, conferindo-se maior atenção às questões de matéria-prima utilizada e projetos que levem a um melhor desempenho energético do equipamento, à luz da relação custo benefício.
- Outra conclusão interessante do estudo é referente ao percentual de fabricantes que faz recuperação na sua unidade fabril, um total de 47,6%. É um resultado surpreendente que nos leva a considerar a inclusão da recuperação de transformadores no programa a ser implantado, embora o levantamento junto às concessionárias não tenha mostrado esse interesse.
- Apesar dos benefícios de transformadores de alta eficiência na distribuição, é um desafio convencer os consumidores que, embora o preço inicial associado com estes transformadores seja mais elevado, o custo total de quem os utiliza pode ser mais baixo.

### 6.3 Em relação ao Programa

- Foi elaborada a minuta do Regulamento Específico para uso da Etiqueta Nacional de Qualidade Energética, apresentada no Workshop de 22 de março de 2007 para as entidades potencialmente interessadas no Programa. Nesta data foram definidas as intenções de participação no Grupo de Trabalho para gerenciamento do programa de etiquetagem e certificação dos transformadores. Os nomes serão analisados pela equipe de coordenação do projeto visando orientar a participação das entidades no grupo.
- A próxima etapa do programa é a avaliação dos laboratórios dos fabricantes e dos laboratórios independentes interessados em participar do programa.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Mapa e Relação das Associadas da ABRADDEE – Disponível na Internet <<http://abradee.org.br> > Acesso em: Julho/2006.
- (2) Relação das Associadas da ABCE – Disponível na Internet <<http://abce.org.br> > Acesso em: Julho/2006.
- (3) Carvalho Mauro Cavalieri d'Oro de – Folha de Informação da Certificação de Transformadores de Distribuição – Documento ELETROBRÁS DEDU-036/2001 – 08.11.2002.
- (4) Paulo Figueredo de Lima da ECOLUZ - Documento CNI/IEL- Relatório de Pesquisa de Fabricantes de Transformadores de Distribuição – RL -0125-06 / Rev. 3 – Fevereiro 2007.
- (5) Global energy savings potential from high efficiency distribution transformers – February 2005. Disponível na internet [www.leonardo-energy.org](http://www.leonardo-energy.org) -<http://www.leonardo-energy.org/drupal/node/427>-Acesso em Set/2006.
- (6) Proposal for an International Energy Association Initiative to Promote Energy-Efficient Distribution Transformers – de set/2001 - Disponível na Internet: [www.copperinfo.com](http://www.copperinfo.com) - Acesso em Jan/2007: <http://www.copperinfo.com/energy/transformers.proposal.html>.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR

Carlos Azevedo Sanguedo

Nascido em 10 de Março de 1961, em Niterói, RJ

Graduação (1984) em Engenharia Elétrica: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Empresas: CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (desde 1985)

Engenheiro Gerente da Atividade de Certificação do CEPEL

Ana Angélica da Silva Oliveira

Nascida em 07 Outubro de 1955, no Rio de Janeiro, RJ

Graduação (1981) em Engenharia Elétrica: Universidade Veiga de Almeida

Empresas: CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (desde 1985)

Engenheira Pesquisadora IV

Carmem Polycarpo Medeiros

Nascida em 31 de Julho de 1954, em São Fidélis, RJ

Graduação (1984) em Engenharia Elétrica: Universidade Federal Fluminense

Empresas: CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (desde 1985)

Eng<sup>a</sup>. Eletricista - Pesquisadora Contratada.