



XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

Transformador de Distribuição de Maior Vida Útil e Menor Agressividade Ambiental

Vagner Vasconcellos	Luiz R. Franchini	José Mak
CPFL Piratininga/DEEP	Itaipu Transformadores	Bueno&Mak
vagnervasco@cpfl.com.br	luiz@itaiputransformadores.com.br	josemak@buenomak.com.br

Palavras-chave

Materiais isolantes

Óleo vegetal isolante

Transformador de distribuição

Resumo

Após pesquisar, avaliar e testar novos materiais isolantes para redução dos custos de produção dos transformadores de distribuição e para redução de custos de manutenção, foram identificadas as alternativas de maior viabilidade técnico-econômica. A alternativa escolhida foi avaliada por meio do desenvolvimento de protótipos de transformadores de distribuição, estudados em laboratório de alta tensão para determinação do dimensionamento e para avaliação do desempenho e da biodegradabilidade dos óleos isolantes empregados. Foi selecionada uma região piloto para avaliação de desempenho em condições reais de campo, concluindo-se que é viável fabricar novos transformadores de distribuição de modo a reduzir sensivelmente os custos de fabricação e de manutenção, de maneira técnica e economicamente viável.

1. Introdução

A necessidade de extensão da vida útil de transformadores de distribuição, assim como da redução efetiva de custos de manutenção e do número de falhas, com conseqüente ganho da disponibilidade e qualidade do fornecimento, faz com que se desenvolvam novos materiais, novos critérios de exploração de sistemas elétricos e novos conceitos de gerenciamento de ativos. O desenvolvimento desse projeto aliou o emprego de óleos alternativos com características de maior resistência à oxidação, maior poder de transferência de calor, maior vida útil para o transformador, menores temperaturas de funcionamento, maior estabilidade térmica e menor custo de manutenção à maior biodegradabilidade, acarretando em menor agressividade ambiental. A fim de atender a esses requisitos, buscou-se o desenvolvimento de novo projeto de transformador de distribuição, empregando materiais isolantes fluidos ou sólidos já disponíveis no mercado de maneira incipiente. Para tanto, também se estudou o desempenho de isolantes alternativos já disponíveis no mercado como, por exemplo, papéis isolantes feitos de poliaramidas, óleos compostos de misturas de poli-alfa-olefinas e hidrocarbonetos aromáticos, ou ainda os óleos isolantes derivados de óleos vegetais.

Foram pesquisados, propostos, definidos, avaliados e testados novos materiais isolantes para redução do custo de produção dos transformadores de distribuição em fábrica e para redução de custos de manutenção. Foram identificadas as alternativas de maior viabilidade técnico-econômica dentre

aquelas estudadas. A alternativa escolhida foi avaliada por meio do desenvolvimento de protótipos de transformadores de distribuição, que foram estudados em laboratório de alta tensão para determinação do dimensionamento e para avaliação do desempenho e da biodegradabilidade dos óleos isolantes empregados. Foi escolhida uma região típica para avaliação de desempenho em condições reais de campo.

O resultado foi um novo transformador de distribuição, empregando materiais isolantes mais eficazes e interessantes que reduzem sensivelmente os custos de fabricação e de manutenção de maneira técnica e economicamente viável. Também como resultado, foi viabilizada a construção de uma planta de processamento do óleo vegetal no país.

2. Desenvolvimento

2.1. Extensão de vida útil de transformador de distribuição

Atualmente, os transformadores de distribuição possuem uma vida útil em torno de 20 anos dependendo da carga a que estará submetido. Dessa forma, no primeiro ano deste estudo, fez-se o levantamento do estado da arte de soluções de eficiência térmica para transformadores, principalmente, por meio da utilização de novos óleos isolantes. Foram colhidos dados sobre experiências de fabricantes, dos procedimentos e das metodologias em uso. Foram pesquisadas algumas experiências e tentativas de redução de custos de fabricação por meio do ganho de eficácia. Investigaram-se os problemas associados à utilização de novos materiais por parte dos fabricantes de transformador de distribuição.

Na fase seguinte, avaliou-se comparativamente o desempenho dos materiais isolantes escolhidos, por meio de ensaios investigativos em laboratório químico. A melhor alternativa foi selecionada para fazer parte do desenvolvimento de protótipos de transformadores de distribuição, que serão estudados em laboratório de alta tensão para determinação do dimensionamento e para avaliação do desempenho e da biodegradabilidade dos óleos isolantes empregados.

2.2. Desenvolvimento de óleos alternativos para aplicação em transformadores de distribuição

Dentre as várias possibilidades atualmente em estudo, a ênfase tem sido dada à substituição de óleos isolantes de base mineral por novos fluidos dielétricos não agressivos ao meio ambiente (verdes). Isto exige que esses fluidos cumpram ou superem critérios mínimos de ensaio e que também tenham um impacto reduzido no meio ambiente.

Em equipamentos modernos, os materiais usados na fabricação e operação (incluindo o dielétrico líquido) formam um sistema extremamente integrado e a mudança de um componente exige análise cuidadosa para determinar o impacto sobre todo o sistema do transformador. Estão resumidas abaixo as propriedades que os fluidos devem possuir:

- Propriedades Físicas:
 - Alto Ponto de Combustão adequado para a operação segura do equipamento elétrico.
 - Ponto de fluidez suficientemente baixo que permita a operação do equipamento a baixas temperaturas.
 - Um peso específico suficiente para a efetiva transferência de calor.
 - Uma relação de viscosidade e viscosidade-temperatura propícia à transferência de calor dentro da variação da temperatura de operação do equipamento elétrico.
- Propriedades Químicas:
 - Baixo teor de água.

- A ausência de enxofre corrosivo para proteger as superfícies metálicas em contato com o fluido.
 - Baixa acidez.
 - Estabilidade à oxidação adequada para controlar o envelhecimento e a formação de partículas (suspensas e como sedimentos).
 - Tendências aceitáveis à formação de gases.
- Propriedades Dielétricas:
 - Fator de potência adequado.
 - Rigidez dielétrica adequada.
 - Rigidez dielétrica a impulso.

A qualidade de fluidos dielétricos é mais crítica hoje do que no passado devido ao projeto mais complexo dos equipamentos e à carga destes equipamentos. Cargas maiores resultam em solicitações térmicas maiores e, portanto, a necessidade de ter melhores qualidades inibidoras no óleo. Com isso, as funções do fluido isolante se tornam mais importantes devido à tendência nas concessionárias de forçar o uso e a carga de transformadores no limite máximo de projeto para maximizar o investimento. Os óleos atuais de transformador são parafínicos, severamente hidrotratados, altamente refinados e se assemelham aos óleos parafínicos medicinais (em aparência). Estes óleos falham em relação à biodegradabilidade, mas passam nos ensaios de toxicidade aquática. Em comparação, os óleos de transformador à base de óleos vegetais são altamente biodegradáveis e podem ser considerados não tóxicos ao ambiente aquático através da escolha de óleos e aditivos adequados. Estes são óleos de transformador não agressivos ao meio ambiente, mas levantam questões sobre o uso não crítico em transformadores. Alguns destes óleos foram desenvolvidos para transformadores específicos. O questionamento se relaciona a sua estabilidade à oxidação e química de longo prazo. Três classes de fluidos dielétricos relacionados para sistemas de papel/óleo, que podem apresentar aceitação ambiental e podem cumprir com os atributos e características como exigido, são [2]:

- Ésteres sintéticos.
- Hidrocarbonetos sintéticos.
- Óleos vegetais.

Existem muitas instituições envolvidas na pesquisa de fluidos de transformador à base de óleo vegetal:

- Central Power Research Inst., Bangalore, Índia.
- ABB Power T & D Co Inc, Raleigh, NC, EEUU.
- ABB Secheron Sa, Genebra, Suíça.
- Lab. d'Electrostatique et de Materiaux Diélectriques, França Universidade de El Salvador.
- Institute of Electrical Energy Systems, Technical University, Berlim, manha.
- Institute of Materials for Electrical and Electronics Engineering, University of Karlsruhe, Alemanha.
- Cooper Power Systems, USA.

Alguns trabalhos publicados anteriormente demonstraram a praticidade de substituir óleo mineral por fluido dielétrico de éster natural em sistemas de isolamento líquido-papel [1,2,3]. Experiências anteriores mostraram diferença nas taxas de envelhecimento de papel em éster natural em relação a papel em óleo mineral. O presente experimento foi executado para entender e quantificar melhor a vida térmica do isolamento do papel termoestabilizado envelhecido em éster natural. A característica

mais importante usada para avaliar o envelhecimento do transformador é a resistência mecânica do papel isolante [4-7,10]. Para determinar as taxas de envelhecimento durante um período prático de tempo, é utilizado o envelhecimento acelerado. De acordo com o Guia de Carregamento do IEEE, o envelhecimento acelerado em sistemas selados simula melhor o verdadeiro envelhecimento em transformadores selados modernos [13]. Foram publicados vários estudos sobre o envelhecimento acelerado de sistema selado [5,9-12]. O envelhecimento do papel depende basicamente da temperatura e do teor de água. Um dos primeiros estudos de envelhecimento do isolamento relatou uma taxa de envelhecimento térmico exponencial que basicamente dobrava para cada 8°C de elevação de temperatura [4]. Trabalho posterior aplicou a teoria da taxa de reação química ao envelhecimento do papel e refinou as estimativas de taxa [6,7]. Estudos sobre o teor de água mostram uma taxa de envelhecimento aproximadamente proporcional ao teor de água [5,8]. Em estudos anteriores sobre o envelhecimento do papel, um indicador comum da resistência mecânica foi a resistência à tração. Por várias décadas, o grau de polimerização (GP) foi também utilizado como meio de indicar o envelhecimento do papel e é uma das bases nas referências do guia IEEE de carga para envelhecimento [8,13].

Nos ensaios de laboratório com os materiais a serem estudados, parte das informações contidas foram autorizadas e retiradas de Trabalho realizado pela Cooper Power Systems [1]. Os sistemas de envelhecimento continham materiais na mesma proporção de um transformador de 225 kVA. Cada recipiente de ensaio continha papel Kraft termoestabilizado de 0,255mm (26g), fluido dielétrico (350ml), tira de alumínio (106cm²), tira de cobre (76cm²) e a superfície interna de aço do recipiente de envelhecimento (323cm²). O espaço livre acima do nível do fluido ficou em 17% do volume interno à temperatura ambiente. Um recipiente de envelhecimento e os seus materiais de ensaio estão ilustrados na figura 1.



Figura 1. Componentes de um sistema de ensaio selado.

A umidade no papel foi ajustada a aproximadamente 0,5%, representando o teor de umidade nominal do papel em transformadores novos. Os sistemas abertos foram condicionados durante um mínimo de três dias a 22°C e 50% de umidade relativa, depois foram secos a 105°C durante 2,5 horas. O fluido dielétrico foi seco, desgaseificado e adicionado à pressão atmosférica após 30 minutos a 500mmHg. Os recipientes foram vedados, desgaseificados e pressurizados a oito atmosferas com nitrogênio seco para verificar vazamentos. A pressão foi reduzida a duas atmosferas à temperatura ambiente antes de iniciar o ensaio. Isto manteve a pressão do recipiente acima da pressão do vapor d'água a 170°C,

replicando o limite de pressão esperado em transformadores em operação. Foram obtidos valores básicos nesta condição.

2.3. Resultados dos ensaios de laboratório

Os resultados da resistência à tração (figura 2) e o grau de polimerização (figura 3) para o papel envelhecido em óleo mineral correspondem àqueles de estudos já publicados [1,8,9,11,12]. A figura 4 mostra o papel depois de 4000 horas a 150 e 170°C. Visualmente, o papel em éster natural mostrou menos degradação do que o papel em óleo mineral. A manipulação de rotina de amostras mostrou que papéis envelhecidos em óleo mineral ficaram mais frágeis do que aqueles em óleos de éster.

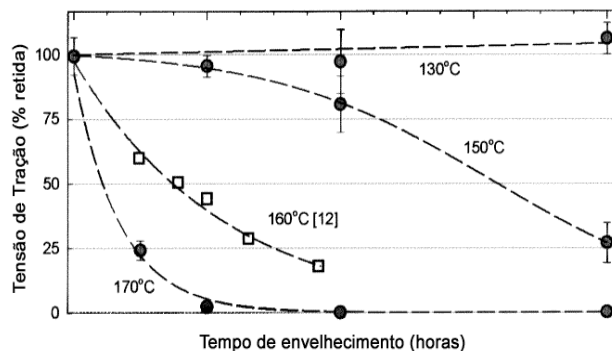


Figura 2. Resistência à tração do papel termooestabilizado envelhecido em óleo mineral (recipientes selados a 130, 150, 170°C). Dados a 160°C incluídos para comparação.

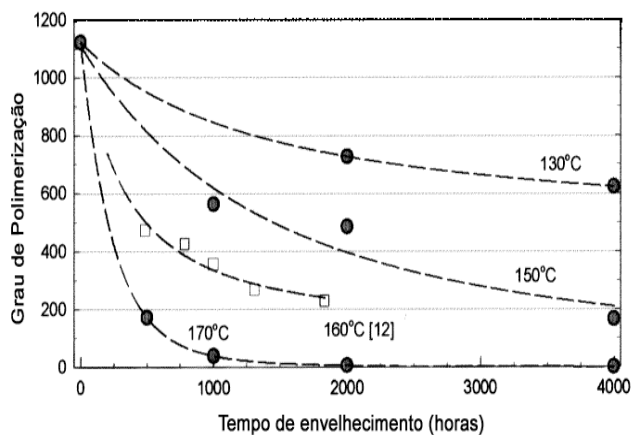


Figura 3. Grau de polimerização do papel termooestabilizado envelhecido em óleo mineral (recipientes selados a 130, 150, 170°C). Dados a 160°C incluídos para comparação.



Figura 4. Papel Kraft termoestabilizado após 4000 horas.

A temperaturas maiores e tempo mais prolongado, os recipientes contendo óleo mineral tiveram um acúmulo de borra e depósitos de partículas carbonizadas nas paredes. Os recipientes contendo éster natural permaneceram limpos.

A. Resistência à Tração. Os resultados da resistência à tração a 150 e 170°C estão ilustrados na figura 5 e 6, respectivamente.

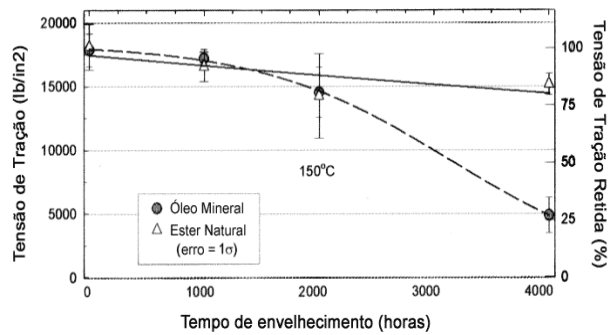


Figura 5. Resistência à tração do papel termoestabilizado envelhecido em óleo mineral e fluidos dielétricos de éster natural (recipientes selados a 150°C).

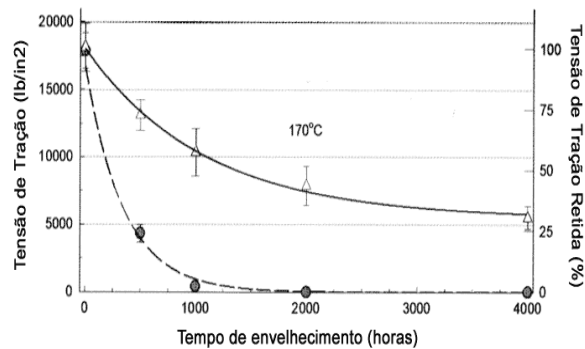


Figura 6. Resistência à tração do papel termoestabilizado envelhecido em óleo mineral e fluidos dielétricos de éster natural (recipientes selados a 170°C).

2.4. Grau de Polimerização

Os dados de GP são apresentados nas figuras 7 e 8. Em todos os casos o GP do papel envelhecido em óleo mineral é menor do que aquele no éster natural. O papel envelhecido a 130°C em ambos fluidos não alcançou GP 200 (figura 7). O papel envelhecido a 150°C no óleo mineral diminuiu para GP 200 após 4000 horas (figura 8). O papel envelhecido no éster natural diminuiu para GP 450 no mesmo intervalo.

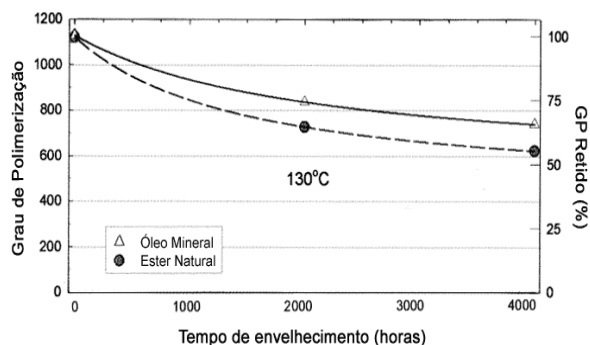


Figura 7. Grau de polimerização do papel termoestabilizado envelhecido em óleo mineral e éster natural (recipientes selados a 130°C).

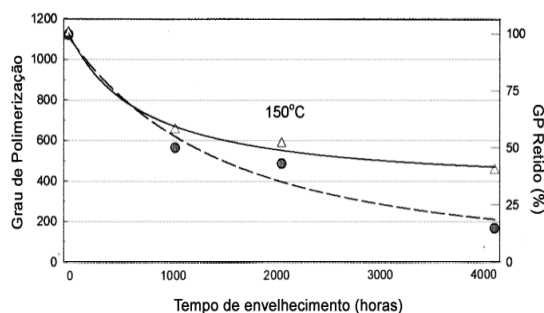


Figura 8. Grau de polimerização do papel termoestabilizado envelhecido em óleo mineral e éster natural (recipientes selados a 150°C).

2.5. Teor de Água

O teor de água dos papéis (% em massa) e dos fluidos (porcentagem de saturação e teor absoluto) à temperatura ambiente é apresentado na tabela 1. A 130°C, os papéis em ambos os fluidos perdem água à medida que o envelhecimento progride.

Tabela 1 - Teor de água do papel termoestabilizado (%) envelhecido em óleo mineral e éster natural.

Tempo (h)	130°C		150°C		170°C	
	Óleo Mineral	Éster Natural	Óleo Mineral	Éster Natural	Óleo Mineral	Éster Natural
0	0,46	0,51	0,46	0,51	0,46	0,51
500	-	-	-	-	1,46	0,15
1000	-	-	0,30	0,09	7,03	0,28
2000	0,03	0,10	0,23	0,08	3,28	0,26
4000	0,16	0,04	1,26	0,09	1,85	0,17

2.6. Discussão dos resultados dos Ensaios de Laboratório

Os resultados obtidos para o papel em óleo mineral se correlacionam bem com trabalhos previamente publicados examinando envelhecimento acelerado de papel termoestabilizado em sistema selado. Tanto a resistência à tração quanto o grau de polimerização são utilizados para definir “o fim de vida” do isolamento de papel [12]. O Guia de Carregamento do IEEE [13] sugere várias definições para “o fim de vida”, incluindo 50% de resistência à tração inicial, 25% de resistência à tração inicial e GP 200. A tabela 2 compara os tempos para alcançar estes critérios de fim de vida entre o papel em óleo mineral e o papel em éster natural.

Os dados da tabela 2 mostram que o papel envelhecido a 170°C no éster natural leva de 5 a 8 vezes mais tempo para atingir o fim de vida do que o papel envelhecido no óleo mineral. O papel envelhecido a 150°C em óleo mineral chegou aos diferentes pontos de fim de vida. Entretanto, o papel envelhecido a 150°C em éster natural não atinge nenhum ponto de fim de vida, por isso o diferencial numérico não pode ser calculado.

Tabela 2 - Tempo (h) para alcançar o “fim de vida” do isolamento de papel kraft envelhecido em óleo mineral e fluido de éster natural. tempo para atingir o fim de vida do isolamento calculado utilizando ieee c57.91 para comparações.

Critério de fim de vida	150°C			170°C		
	Óleo Mineral	Éster Natural	IEEE C57.91	Óleo Mineral	Éster Natural	IEEE C57.91
Tensão de Tração Retida						
50%	3100	*	1602	240	1300	323
25%	4000	*	3327	490	4000	671
Grau de Polimerização						
200	3200	*	3697	480	3400	746

2.7. Mecanismos

Os resultados não deixam dúvidas que o fluido de éster natural aumenta de modo significativo a estabilidade térmica do papel. O papel é essencialmente celulose, um polissacarídeo linear consistindo de muitas unidades de anidro b-D-glicopiranosose ligadas uma à outra, via uma ligação glicosídica (1@4) (figura 9) para formar uma cadeia polimérica. Muitas cadeias longas alinhadas em paralelo uma da outra constituem as fibras que formam a estrutura do papel.

Propõe-se que o melhoramento das características do envelhecimento térmico da celulose envelhecida em éster natural seja o resultado de pelo menos dois modos de proteção fornecidos pelo éster natural: captura de água e barreira provocada pela reação hidrolítica da celulose.

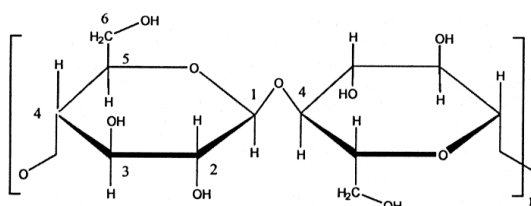


Figura 9. Unidades monômetro de anidro b-D-glicopiranosose

2.8. Captura de Água

Submetido a temperaturas elevadas, o éster natural pode se submeter à hidrólise, consumindo a água disponível na celulose e, portanto, reduzindo o dano potencial que a água representa. O éster natural pode reter consideravelmente mais água do que o óleo mineral. A saturação de água à temperatura ambiente para o éster natural é de aproximadamente 1.050mg/kg; a do óleo mineral é de aproximadamente 60mg/kg. Por causa da diferença nos níveis de saturação, o éster natural pode absorver mais água do que o óleo mineral e, portanto, permite maior secagem do papel. Estudos mostram que a remoção da água do papel, assim que esta é gerada, melhora as características de envelhecimento do papel [12,14,17].

G. Proteção Hidrolítica. O éster natural pode interferir no processo de hidrólise da celulose provocado por solitação térmica. Isto se deve à reação do éster natural com os grupos OH no anel de glicose e nas terminações de cadeia. O mecanismo proposto é a trans-esterificação possibilitada pelas condições de temperatura do envelhecimento acelerado [17]. A esterificação dos sítios de OH reativos na celulose com grupos ésteres estabiliza a molécula e prolonga a vida térmica [18]. O papel Kraft termoestabilizado envelhece consideravelmente com maior lentidão no fluido dielétrico de éster natural do que no óleo mineral, quando submetidos à mesma solitação térmica. O papel envelhecido no éster natural leva de 5 a 8 vezes mais tempo para alcançar os mesmos pontos de fim de vida que o papel envelhecido no óleo mineral a 170°C em recipientes selados. Não foi possível fazer comparações quantitativas semelhantes a temperaturas menores, porque o papel envelhecido no éster natural não alcançou o fim de vida no período de 4000 horas de ensaio.

2.9. Desenvolvimento do novo projeto de transformador de distribuição (Trafo Verde)

Trata-se de um transformador trifásico compacto (construído em caixa de transformador de 45 kVA) que apresenta as seguintes características:

- Transformador Híbrido com Núcleo Normal
- Potência: 88 kVA
- Tensões de AT: 13800 V a 11400 V
- Tensões de BT: 220/127 V
- Óleo: 81 litros (óleo biodegradável)
- Peso: 350 kg
- Perdas Totais: 1969 W
- Perdas a vazio: 236 W

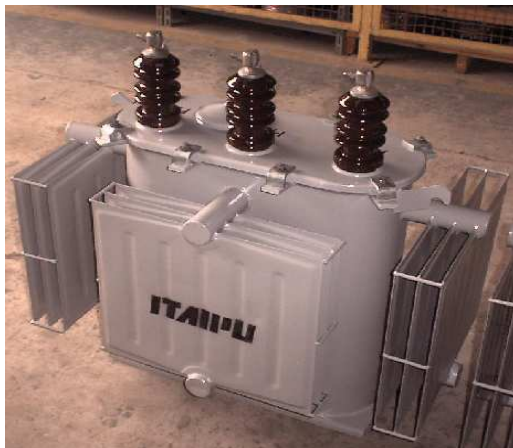


Figura 10. Protótipo

Os protótipos que forem aprovados e que serviram de base para a produção em escala industrial foram os isolados com fluido isolante à base de Éster Natural e biodegradável. O papel isolante utilizado foi o kraft convencional.

2.10. Menor Custo por kVA

Como o dimensionamento e capacidade dos novos transformadores não se enquadram nos padrões e normalização existentes, optou-se por comparar o novo transformador com o já existente de 45 kVA, pelo fato dos dois terem as mesmas dimensões e geometria externa, resultado da compactação almejada por este projeto. Para análise das perdas do novo transformador optou-se pela comparação com o transformador de 75 kVA, já que este se aproxima mais da potência disponível em kVA. Como primeiro ponto a ser analisado, temos a redução substancial de peso que anteriormente se mostrava como 435 kg diminuindo 85 kg, reduzindo o esforço necessário para a instalação e manutenção do equipamento, além de exigir menos do conjunto de fixação (cruzetas, mão francesa e parafusos) empregadas. Junto à diminuição de peso temos a redução do volume de óleo utilizado pelo novo transformador se comparado ao transformador de 75 kVA, de 102 litros (óleo mineral) para 81 litros (óleo biodegradável). As alterações empregadas no novo transformador cooperaram para a redução de preço do equipamento ao comparar o valor do kVA unitário do transformador de 45 kVA já existente com o valor do novo. Apesar da compactação, o transformador híbrido com núcleo normal, atinge maior desempenho, pois suporta maiores temperaturas do óleo e conseqüentemente maior carregamento.


	
<u>Transformador Trifásico Convencional</u> Potência: 45 KVA Tensões de AT: 11400 V a 13800 V Tensões de BT: 127/ 220V Peso 435kg Litros 90 litros Preço/kVA: R\$ 84,40	<u>Transformador Trifásico Verde</u> Potência: 88 KVA Tensões de AT: 11400 V a 13800 V Tensões de BT: 127/220 V Peso 350Kg Litros 81 litros (óleo biodegradável) Preço/kVA (estimado): R\$ 53,40

Figura 11. Comparativo Trafo Verde x Trafo Convencional

2.11 Nacionalização dos Produtos

Todos os materiais utilizados na produção desses transformadores encontram-se nacionalizados e disponíveis para venda no mercado nacional; inclusive o óleo vegetal, cuja plataforma para fabricação

foi montada em território nacional e hoje está sendo fabricada pela CARGIL, com supervisão da COOPER.

- Ganho Ambiental
 - Maior biodegradabilidade do óleo vegetal, evitando problemas de contaminação do meio ambiente.
 - Isolante líquido biodegradável e ecologicamente correto para flora e fauna.
 - Solução de descarte final dos resíduos.

2.12.. Ensaios

Os protótipos que foram ensaiados e que servirão de base para a produção em escala industrial são transformadores tipo híbrido, trifásicos e compactos que apresentam as seguintes características:

Tabela 3 – Características do Trafo Verde

Potência: 88 kVA	Peso: 350 kg
AT: 13800 V a 11400 V	Perdas Totais: 1969 W
BT: 220/127 V	Perdas a vazio: 236 W
Óleo: 81 litros (óleo biodegradável)	

- **Ensaios efetuados nos protótipos**
 - Ensaios de Compatibilidade de Materiais
 - Ensaios no Óleo Após Contato
 - Ensaios Elétricos

3. Conclusões

Os novos transformadores têm as mesmas dimensões e geometria externa, resultado da compactação almejada por este projeto, e mesmo com potencia 95,55% superior a transformadores com a mesma dimensão e geometria, possuem perdas menores a vazio e perdas equivalentes no ferro. Os resultados dos ensaios de compatibilidade de materiais demonstraram a adequação dos materiais escolhidos, resultando em redução substancial de peso que anteriormente se mostrava como 435 kg diminuindo 85 kg, e também reduzindo o volume de óleo utilizado, se comparado ao transformador de 75 kVA, de 102 litros (óleo mineral) para 81 litros (óleo biodegradável). Os resultados dos ensaios elétricos demonstraram que apesar da compactação, os transformadores híbridos com núcleo invertido, atingem maior desempenho, pois suportam maiores temperaturas do óleo e conseqüentemente maior carregamento, resultando em transformadores com potência nominal de 88 kVA. No momento contamos com aproximadamente 900 equipamentos instalados em nossa rede e pretendemos adquirir mais 700 aproximadamente nas potências normalizadas de 30,45,75 e 112,5 kVA.

4. Referências bibliográficas

- [1] McSHANE, C. P., RAPP, K.J., CORKRAN, J. L., GAUGER, G. A., LUKSICH, J. "Aging of Paper Insulation in natural EsterDielectric Fluid". Transmission & Distribution Conference & Exposition, IEEE/PES, Atlanta - GA, Nov, 2001.
- [2] SCHELLHASE, H. & DOMINELLI, N "Environmentally acceptable transformer oils" EPRI Report WO 4338-01, Palo Alto -CA, EPRI, Out. 2000, 90 p.

- [3] McSHANE, C. P. "New Safety Dielectric Coolants for Distribution and Power Transformers". IEEE Industry Applications Magazine, vol. 6, nº 3, pp.24-32, Maio/Junho 2000.
- [4] OOMMEN, T.V., CLAIBORNE, C.C." Biodegradable Insulating Fluid from High Oleie Vegetable Oils". CIGRE 15-302, 1998.
- [5] XIE, J. HSICH, Y.L. "Enzyme-Catalysed Transesterification on Cellulose". Conf. Proc. ACS Polymeric Matls., vol. 82, pp.406-407, 2000.
- [6] ILUANG, M.R., LI, X.G." Thermal Degradetion of Cellulose and Cellulose Esters". J. of Applied Polymer Science, vol. 68, pp.293-304, 1998.
- [7] JAIN, R.K., LAL, K., BHATNAGAR, H.L." A Kinetic Study of the Thermal Degradation of Cellulose and Its Derivatives".Makromol. Chem. 183, pp. 3003-3017, 1982.
- [8] NAKAGAWA, F. & MAK, J. "Análise da Queima de Transformadores de Distribuição", Estudo DEOP-072, Divisão de Engenharia de Operação e Manutenção da Distribuição, CPFL, 1994, 283 p.
- [9] SAMESIMA, M. I., OLIVEIRA, J. C."Avaliação e Estimativa da Perda de Vida Em Transformadores Submetidos à Distorções Harmônicas". Revista Ciência e Engenharia da UFU. Uberlândia - MG, v.1, p. 165/78, 1994
- [10] PIANTINI, A., JANISZEWSKI, J. M., BASSI, W., BIAGIONI, P. H." Proteção de transformadores de distribuição face a surtos". (IEE-USP/CED 211/STRA002/RL 001/Nov, 1995)
- [11] MURATA, S. T., PIANTINI, A., BASSI, W. "Modelo de transformadores de distribuição para estudo de tensões transferidas ao secundário, na condição sob carga", (IEE-USP/CED 283/STRA002/NT 005/Fev, 1998)
- [12] LOPES, M.P.M. "Desenvolvimento de um modelo para a representação de transformadores de distribuição em estudos a respeito de tensões transferidas ao secundário quando da ocorrência de descargas atmosféricas próximas à linha". Curso(Engenharia Elétrica) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 1996
- [13] PIANTINI, A., MALAGODI, C. V. S. "Sobretensões transferidas ao secundário - características e frequência de ocorrência".III Encontro Nacional de Engenharia de Alta Tensão (III ENEAT), Campina Grande, 2000.
- [14] RAVAGLIO, M. A., SCHAEFER, J. C., TEIXEIRA JÚNIOR, J.A. "Estudo da Redução de Perdas em Transformadores de Distribuição". Eletricidade Moderna. São Paulo: v.27, n.306, p.182 - 205, 1999.
- [15] RAVAGLIO, M. A., SCHAEFER, J. C., TEIXEIRA JÚNIOR, J. A. "Redução de Perdas em Transformadores de Distribuição" In: III ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE ALTA TENSÃO, 2000, Campina Grande. Anais do III ENEAT, 2000.
- [16] SANS, M. A., TEIXEIRA JÚNIOR, J. A. "Avaliação da Qualidade do Isolamento" In: Curso de Técnicas de Alta Tensão, 1988, Curitiba. Anais do Curso, 1988. v.1. p.1 – 29
- [17] SAMESIMA, M. I., ARAÚJO, S. C. N. "Avaliação estimativa de perda de vida de transformadores". Ciência & Engenharia.Uberlândia:, v.1, p.65 - 78, 1994.
- [18] SAMESIMA, M. I., ARAÚJO, S. C. N. "Finite elements method applied to analysis of transformer loss of life driving nonlinear industrial loads" In: JIASC'95 - Japan Industry Applications Society Conference, 1995, Hitachi. Anais do JIASC'95.Hitachi: IEE/JIASC, 1995. v.1. p.34 – 40
- [19] SAMESIMA, M. I., OLIVEIRA, J. E. C. "Uma proposta alternativa na verificação experimental das respostas detransformadores para instrumentos submetidos às distorções harmônicas" In: 5o .ERLAC - Encontro Regional LatinoAmericano da Cigre, 1993, Ciudad Del Este.
- [20] SIMONE CRISTINA NUNES ARAÚJO. "Uma contribuição à avaliação e estimativa de perda de vida em transformadores".1994. Dissertação (Engenharia Elétrica) -Universidade Federal de Uberlândia