



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica  
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Suely Moura Melo	Companhia Energética do Piauí	suelymouramelo@yahoo.com.br
Francisco Cardoso Figueiredo	Universidade Federal do Piauí	fcfigueiredo19@hotmail.com
Helder Nunes da Cunha	Universidade Federal do Piauí	hncunha@gmail.com
Jose Aroldo Viana dos Santos	Universidade Federal do Piauí	santosjav@ig.com.br
Sebastiao da Silva Ramos	Companhia Energética do Piauí	sebastiao@cepisa.com.br
Joselito Felix Silva Filho	Companhia Energética do Piauí	joselito@cepisa.com.br
Jose Ribeiro Santos Junior	Universidade Federal do Piauí	jribeiro@ufpi.edu.br

**Transformador de distribuição utilizando óleo vegetal extraído da amêndoa do coco babaçu**

**Palavras-chave**

Biodegradabilidade  
Fluido Isolante  
Rigidez Dielétrica  
Transformador de Distribuição  
Óleo de Amêndoa de Babaçu

**Resumo**

A discussão sobre processos e produtos ecológicos envolve as mais diversas áreas. Esse procedimento também está presente no setor elétrico, que tem buscado, através de projetos de pesquisas, uma alternativa biodegradável, introduzindo óleo vegetal como fluido isolante. O óleo vegetal de amêndoa do babaçu apresenta propriedades físico-químicas e elétricas capaz de satisfazer a Norma ABNT 15.422. O óleo obtido a partir da amêndoa de babaçu por extração por espremedura e refinado, tornando-se pronto para uso, foi introduzido em um transformador como líquido isolante dielétrico. Esse óleo foi aplicado em transformador de distribuição, 13800V e potência 75 kVA. O enchimento do Transformador foi feito com 150 litros do óleo em atmosfera inerte. Em seguida submetido aos ensaios elétricos segundo Norma ABNT 5440. Os ensaios elétricos apresentaram resultados satisfatórios para o equipamento em teste. O equipamento está instalado desde janeiro de 2011 na rede de distribuição da cidade de Teresina. O funcionamento do equipamento, com fluido isolante, foi acompanhado com um coletor de dados elétricos, apresentando uma potência de carga de 90%, e um bom equilíbrio das fases elétricas. O fluido isolante foi monitorado durante um ano apresentando resultados satisfatórios. Para a rigidez dielétrica o fluido isolante apresentou valores de ~75 kV.

## 1. Introdução

Óleos vegetais apresentam em sua composição básica, ácidos graxos, geralmente com número par de átomos de carbono, os quais são classificados em ácidos da série saturada, e insaturada, isto é, com uma ou mais duplas ligações na cadeia. A série saturada é formada por ácidos graxos sem duplas ligações, e a presença do ácido esteárico é característica dos óleos não secativos. Os ácidos monoolefínicos apresentam uma dupla ligação entre carbonos, como o ácido oléico. Os ácidos da série poliolefínica apresentam mais de uma ligação dupla entre carbonos, caso dos ácidos linoléico e linolênico que são classificados como semi-secativos ou secativos, tendo-se como base o teor de insaturação na molécula.

Os principais constituintes dos óleos vegetais são os ácidos graxos variando de 08 a 24 átomos de carbono na cadeia formando um éster com a glicerina denominado triacilglicerol, como pode ser visto na Figura 01.

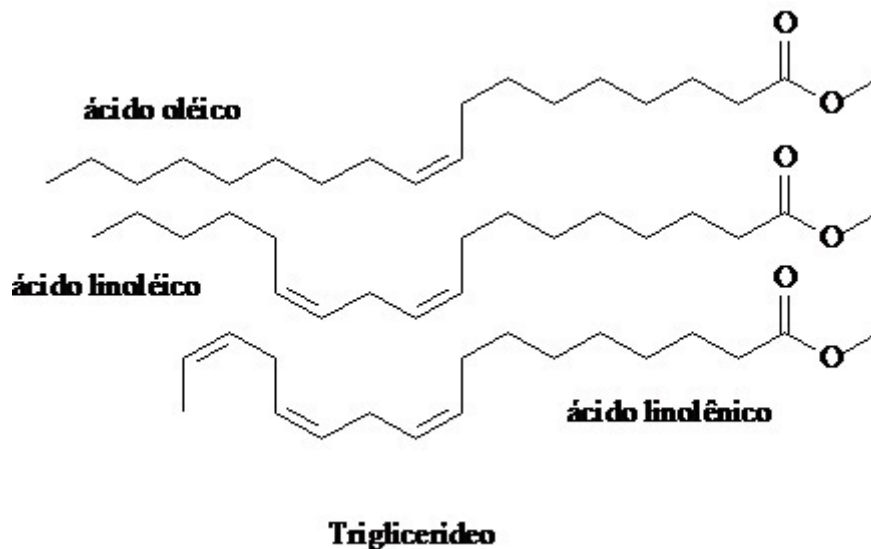


Figura 01: Constituição química de triglicerídeo. Ácido Oléico  $C_{18}H_{34}O_2$ , Ácido linoléico  $C_{18}H_{32}O_2$  e Ácido Linolênico  $C_{18}H_{30}O_2$ . (TENBOHLEN & KOCH, 2010)

O óleo da amêndoa do babaçu apresenta cadeia de átomos de carbono mais curta com predominância das com 12 e 14 átomos. O grau de insaturação dos ácidos presentes influencia o ponto de fusão da mistura de ésteres, quanto mais insaturado mais baixo são os pontos de fusão. Este é um fator importante para aplicação dos óleos como fluidos isolantes em ambientes frios. O que diferencia um óleo de uma gordura é o ponto de fusão. Estes óleos são chamados de óleos graxos para se distinguirem dos óleos essenciais. Os óleos podem ser saponificados, hidrogenados, epoxidados e sulfonados dando um grande número de produtos úteis.

A palmeira de babaçu (*Orbignya phalerata*) é cientificamente classificada como *orbignya (especiosa, oleífera) phalerata*, pertencente à família das palmáceas com predominância no Norte, Nordeste e Centro Oeste brasileiro. O fruto da palmeira é formado por uma estrutura apresentada na Figura 2(a), no formato de cacho composta por mais de uma centena de cocos.



Figura 2: a) cacho coco babaçu, b) fruto partido com amêndoas e c) amêndoas de coco babaçu.

O coco do babaçu, Figura 2(b), é composto do epicarpo (camada externa e fibrosa), do mesocarpo (camada abaixo do epicarpo) e do endocarpo (guarda a amêndoa e fornece carvão) e amêndoa (parte branca recoberta de capa castanha). Para cada coco pode ser encontrado três ou quatro amêndoas. As amêndoas do coco babaçu, Figura 02(c), podem apresentar um percentual de até 65% de óleo, enquanto que no mesocarpo é de 3%. Em geral, o processo de obtenção do óleo de coco é descrito assim: a amêndoa do coco de babaçu é cortada e secada para evitar o excesso de umidade e a deterioração do óleo. A amêndoa preparada é prensada em extratores ou em prensas parafuso. Uma tonelada métrica dessa matéria prima fornece cerca de 625 Kg de óleo e 360 kg de torta. O óleo, após a extração, para ser refinado pode conter de 1 a 12% de ácidos graxos livres, dependendo da qualidade da amêndoa. Somente o óleo com baixo teor de ácidos graxos é empregado para produtos alimentícios, sendo o restante (cerca de 60% do total recebido) utilizado para a produção de sabões e alcoóis (SHREVE, R.N.; BRINK JR., J.A., 1980).

O óleo de amêndoa de babaçu apresenta em sua composição química, ácidos graxos tais como: cáprico, de 2,6-7,3%, láurico, 40-55%, mirístico, de 11-27%, palmítico, de 5,2-11%, linoléico, de 1,4-6,6%, oléico, de 9-20% e esteárico, de 1,8-7,4%, (ANVISA, 2000). O percentual de ácidos graxos pode ser variado de acordo com a região de origem do coco.

O óleo para ser considerado como fluido isolante deve apresentar-se com as seguintes características físicas e químicas: ser bom isolante, isto é, possuir alto poder dielétrico; ter baixa viscosidade, estar isento de umidade, de ácidos, de álcalis, de enxofre e de contaminantes; ser resistente à oxidação, e, portanto, à formação de borras; apresentar baixa viscosidade, perda dielétrica e ponto de fluidez, para contribuir na refrigeração do equipamento elétrico. Outro aspecto importante é a biodegradabilidade e atoxicidade. (OLIVEIRA, J.C., COGO, J.R.; ABREU, J.P.G.; 1984).

O fluido isolante deve apresentar baixa viscosidade para que o fluido circule com facilidade e dissipe adequadamente o calor. Outro aspecto importante é o ponto de fulgor que deve ser no mínimo adequado e quando apresenta um alto valor é considerado fluido de segurança. O ponto de anilina indica o poder de solvência do óleo por materiais com os quais entrará em contato, portanto este deve ser elevado a fim de garantir a insolvência. A tensão interfacial indica a existência de substâncias polares dissolvidas no óleo que compromete potencialmente as propriedades dielétricas e contribuem para o envelhecimento. A cor é um parâmetro importante, deve ser clara, pois o escurecimento indica alteração do fluido. A densidade interfere na capacidade de transmissão de calor do óleo. O ponto de fluidez é a temperatura na qual o óleo deixa de escoar e deve ser compatível com a menor temperatura de utilização (OLIVEIRA, J.C., COGO, J.R.; ABREU, J.P.G.; 1984). Essas propriedades são encontradas no óleo de amêndoa de babaçu, quando refinado, pois o óleo pode ser apresentado, dependendo do refino, dentro das especificações da norma ABNT 15422 e estão listadas na Tabela 01, apresentando uma comparação entre os óleos minerais e o óleo de amêndoa do coco babaçu utilizado nesse trabalho.

As propriedades Químicas que um fluido dielétrico deve apresentar são alta estabilidade à oxidação, pois essa garante o bom desempenho do óleo e a durabilidade do sistema isolante. Outros aspectos importantes são a acidez e a quantidade de água, esses devem ser os menores possíveis, pois assim evita a passagem da corrente elétrica, protege contra a corrosão e aumenta a vida útil de todo o sistema. Os compostos de enxofre devem estar ausentes para evitar que o óleo cause corrosão ao cobre existente nos transformadores e também deve ter baixa tendência à evolução de gases, em especial, gás hidrogênio. Óleos vegetais são substâncias que atendem a maioria dessas especificações para fluidos isolantes, variando suas propriedades de acordo com sua composição química.

## 2. Desenvolvimento

Neste trabalho foi utilizado o óleo vegetal de amêndoa de babaçu que é formado por aproximadamente 75% de ácidos graxos saturados que conferem ao óleo excelentes propriedades oxidantes e que retardam sua rancidez. A composição do óleo de babaçu pode ser vista na Figura 03 onde é apresentada a abundância relativa, isto é o percentual de cada ácido.

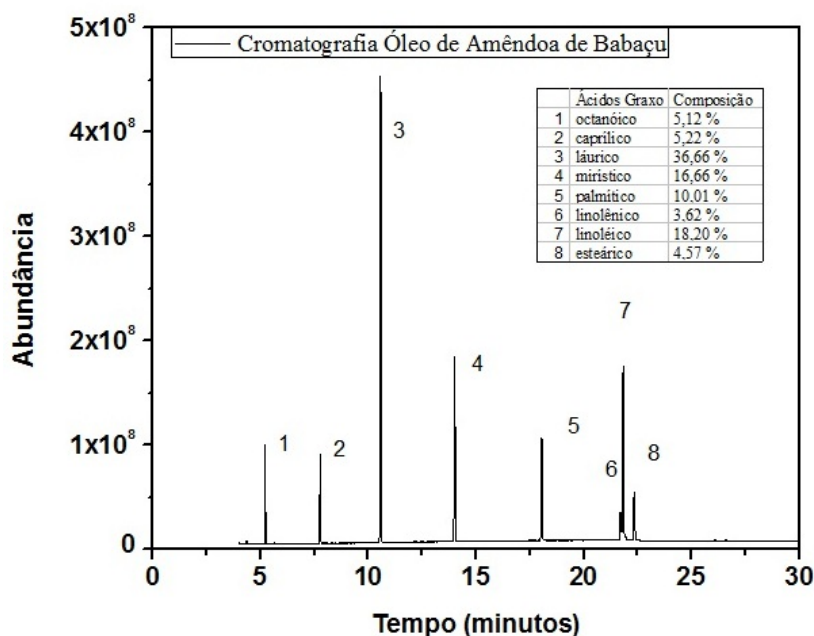


Figura 03: Cromatografia de óleo de amêndoa de coco babaçu; constituição 5,12% de ácido caprílico, 5,22% de ácido cáprico, 36,66% de ácido láurico, 16,66% de ácido mirístico, 10,01% de ácido palmítico, 3,62% de ácido linoléico, 18,20% de ácido oléico e 4,57% de ácido estearico.

Esse óleo, por ser de origem vegetal, é biodegradável, de fácil manuseio e apresenta elevado ponto de combustão caracterizando-se como fluido de segurança (SILVA, CARVALHO, CONRADO, FOOK, LEITE; 2011), como mostrado na Tabela 01. Para o óleo utilizado neste trabalho a rigidez dielétrica alcançou valores acima de 30 kV e acidez abaixo de 0,03 mg de NaOH/g de óleo, indicam que o mesmo está de acordo com a Norma ABNT 15422.

Tabela 01: Comparação das características dos óleos mineral e vegetal de amêndoa de babaçu

Característica	Unidade	Método de ensaio	Valor especificado para óleo mineral		Óleo Vegetal isolante de amêndoa de coco babaçu novo
			Parafínico	Naftênico	
Aspecto visual	-	<u>visual</u>	Claro, limpo, isento de material em suspensão ou sedimento		Claro, limpo, isento de material em suspensão
Massa específica a 20°C/4°C	Kg/m <sup>3</sup>	ABNT NBR 14483	1,0 <u>máx</u>		<u>1</u>
Viscosidade cinemática	cSt	ABNT NBR 7148	861-900	860 <u>máx</u>	0,92
Ponto de fulgor	°C	ABNT NBR 11341	140 <u>mín</u>		Maior 300
Rigidez dielétrica Eletrodo de disco	<u>kV</u>	ABNT NBR 6869	30 <u>mín</u>		36,0
Enxofre corrosivo	-	ABNT NBR 10505	Não corrosivo		Não corrosivo
Índice de neutralização	<u>mgKOH/g</u>	ABNT NBR 14248	0,03		<u>0,039</u>
Teor de água	<u>mg/Kg</u>	ABNT 10710 B	35 <u>máx</u>		< 200
Bifenila policlorada (PCB)	<u>mg/Kg</u>	ABNT NBR 13882	Não detectável		Não detectado

Fonte: Adaptado da Resolução número 36 da ANP de 2008 (ANP, 2008) e ABNT NBR 15422, 2006

O óleo de amêndoa de babaçu foi utilizado como recebido do fornecedor local\*, por ter sido obtido de amêndoas selecionadas e receber o refino adequado o que garantiu sua aplicação como fluido isolante elétrico. O óleo foi aplicado em um transformador de 75 kVA. As características do óleo foram medidas de acordo com as normas ABNT NBR 5440 e ABNT NBR 15422, onde os parâmetros exigidos estavam dentro dos limites, permitindo a montagem do transformador com este fluido isolante.

### Preparação do óleo e montagem do transformador com óleo isolante de amêndoa de babaçu

O transformador de distribuição trifásico de 75 kVA adquirido por compra no mercado local, caracterizado de acordo com sua placa de fabricação Tabela 02, fabricado pela empresa Energitrafo, usualmente utilizado com óleo mineral, neste caso, não foi completado com óleo isolante mineral, veio seco e na oficina da Eletrobras Distribuição Piauí, foi retirado a parte ativa e levado para secagem a 100 °C por um período de aproximadamente 72 horas. O óleo isolante de amêndoa de coco babaçu recebeu tratamento de secagem semelhante ao transformador para reduzir ao máximo a umidade.

Tabela 02: Características do transformador trifásico, placa do fabricante, que foi preenchido com óleo vegetal de amêndoa de babaçu

Marca	Energitrafo
Potência	75 kVA
Ano	2010
Fases	03
Ligação	Y(triângulo estrela)
Tipo	Óleo 120 L (Óleo de Babaçu 100%)
Massa total	420 Kg
Modelo	Transformador trifásico
Frequência(Hz)	60 Hz
Tensões A.T. (kV)	13,8 a 10,2 kV
Tensões B.T.(V)	380/220 V
Derivações	<u>5</u> (TAP 1; 2; 3; 4; 5)
A.T.: ligada em (kV)	13,8 kV
B.T. ligada em (V)	380 V
Corrente A.T.(A)	<u>3,14 A</u>
Corrente B.T. (A)	<u>114 A</u>
Impedância	3,50
Temperatura	<u>31°C</u>

Fonte Energitrafo

O enchimento do transformador com fluido isolante obedece às etapas descritas no fluxograma, Figura 04, que apresenta todas as etapas de preparação, até obtenção do equipamento pronto para ser colocado na rede da distribuidora.

Após a secagem do óleo e do transformador, que foi montado e selado, teve início a dosagem do óleo de babaçu no transformador, iniciando por um processo de purga com nitrogênio seco por vinte minutos sobre cada um dos constituintes do processo, em seguida, o registro foi fechado e o equipamento foi mantido sob pressão, então seguiu-se o enchimento com o óleo de babaçu até o nível. Ao término da montagem, os testes elétricos normalmente realizados pela concessionária em seus transformadores foram:

- relação de transformação,
- resistência de isolamento,
- leitura da corrente nominal,
- tensão aplicada
- leitura da tensão nominal

Todos realizados no Laboratório Elétrico da CEPISA- Eletrobras Distribuição Piauí, com os resultados apresentados nas Tabelas 03 a 06.

O primeiro teste realizado no transformador com óleo isolante de amêndoa de babaçu foi a relação de transformação.

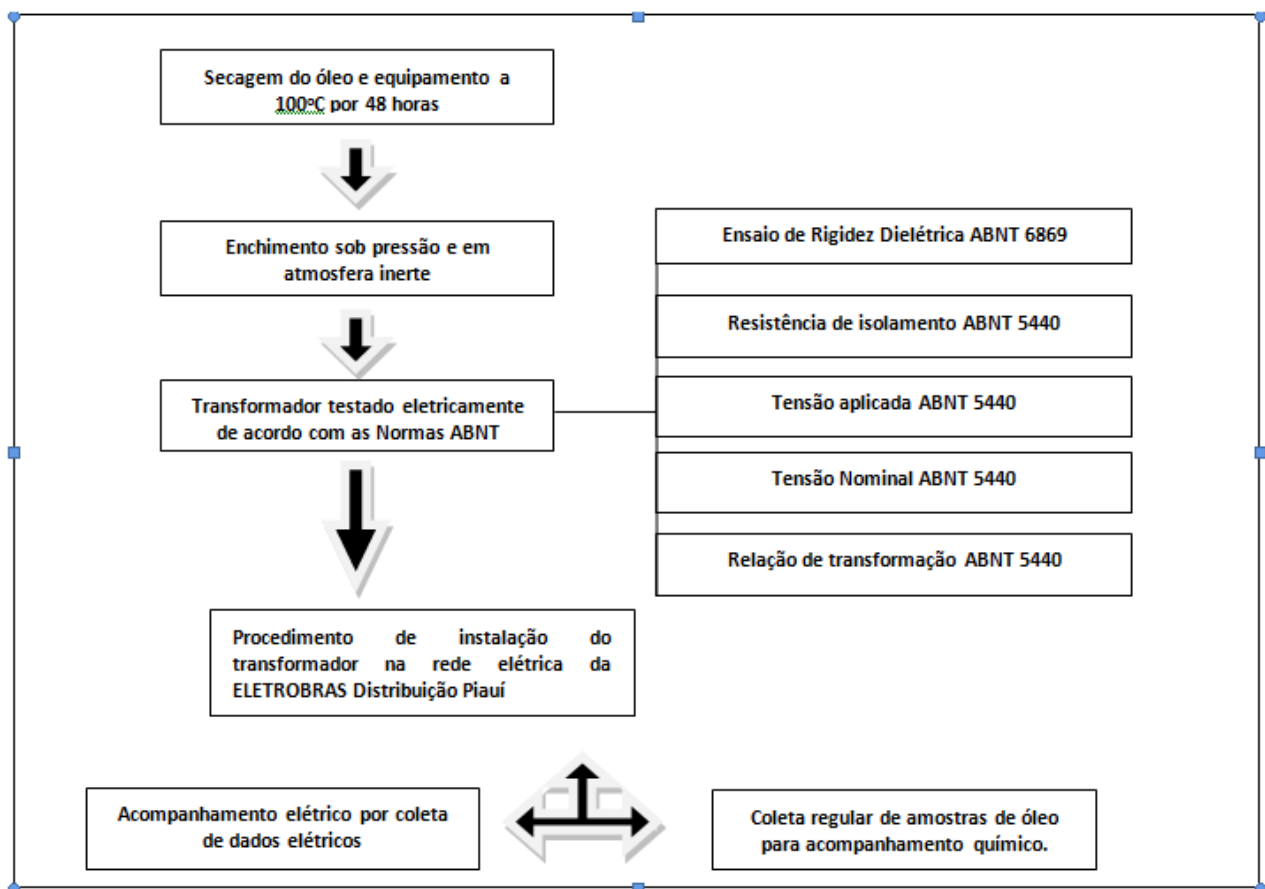


Figura 04: Fluxograma descritivo da Preparação do transformador preenchido com óleo isolante de amêndoa de babaçu

A relação de transformação teórica que é a relação das tensões  $E_1$  e  $E_2$  medidas entre fases e a relação do número de espiras que é a relação entre a quantidade de espiras por fase (enrolamentos numa única coluna do núcleo) e observou-se que essas relações são coincidentes. (OLIVEIRA,COGO,ABREU,1984) Como pode ser visto na Tabela 03.

Tabela 03: **Ensaio de Relação de Transformação** de acordo com a norma ABNT 5440.

Relação de Transformação					
Enrolamento	TAP 01	TAP 02	TAP 03	TAP 04	TAP 05
	13.800V	13.200V	12.600V	12.000V	11.400V
H1/X1	62.860	60.130	57.415	54.662	51.991
H2/X2	62.875	60.145	57.428	54.677	51.923
H3/X3	62.864	60.133	57.417	54.664	51.913

O teste de resistência de isolamento (Tabela 04) consiste em verificar o isolamento entre as bobinas e entre os enrolamentos e o conjunto (núcleo, carcaça, etc) utilizando um megômetro, que é uma fonte de tensão ligada em série com um amperímetro. Esse ensaio seguiu a norma ABNT 5440 para um transformador. (OLIVEIRA,COGO,ABREU,1984). A tensão no Megômetro foi de 2500 V.

Tabela 04: Valores de isolamento medidos no transformador com fluido vegetal isolante de amêndoa de coco babaçu.

Medição entre	Resistência de isolamento
Leitura Alta Tensão e Baixa Tensão	5000 M $\Omega$
Leitura Alta Tensão e Massa	6000 M $\Omega$
Leitura de Baixa Tensão e Massa	5500 M $\Omega$

O teste de leitura da corrente nominal, visa a verificar os dados de placa, através da aplicação no enrolamento de AT, da tensão de impedância e a leitura nos enrolamentos de BT curto-circuitados do valor da corrente nominal, tem também o objetivo de verificar se as bobinas estão abertas.

A seguir foi realizado o teste de relação de tensão, que consistiu na aplicação no enrolamento de AT da tensão 380 V para leitura na BT (em aberto) de tensões equilibradas entre fases, verificação de curto-circuito entre os enrolamentos de BT. A seguir aplicou-se na tensão nominal (13.800 V) no enrolamento de AT para a leitura das tensões 380/220 V no enrolamento de BT.

Por fim foi realizado ensaio e que complementa a bateria de testes elétricos em um transformador de distribuição, com a aplicação do ensaio de Tensão Aplicada, que consiste em aplicar-se uma tensão referente a classe de isolamento do transformador (34 KV para AT, 10 KV pela BT, deste transformador objeto deste projeto), a uma frequência nominal. Os terminais dos enrolamentos de AT e BT são curto-circuitados. Aplicando-se primeiro no enrolamento de AT a tensão de 34 KV, sendo a BT aterrada junto com o tanque do transformador, durante 60 segundos, e inversamente, quando aplicamos 10 KV na BT, conforme tabela 05.

Tabela 05: Ensaio de Tensão Aplicada em transformador preenchido com óleo vegetal de óleo de amêndoa

Alta Tensão/Baixa Tensão à Massa	34 kV	Satisfatório
Baixa Tensão/ Alta Tensão à Massa	10 kV	Satisfatório

As análises realizadas no transformador apresentaram valores dentro das especificações das Normas NBR 5440 e outras; sendo instalado na rede elétrica da CEPISA- Eletrobras- Distribuição Piauí no início de janeiro de 2011.

### Acompanhamento do óleo de amêndoa de babaçu no transformador

O transformador foi instalado na rede de distribuição e após quatro meses realizou-se a primeira coleta para avaliação do fluido isolante. Nos meses seguintes, realizou-se a coleta do óleo isolante uma vez por mês na data mais próxima do dia da primeira coleta. As amostras foram coletadas seguindo a Norma 8840 e as análises realizadas foram as: Rigidez dielétrica, Índice de acidez, Inspeção visual, Infravermelho e viscosidade.

Em geral, em transformadores com óleo mineral, o decaimento da Rigidez dielétrica indica o envelhecimento e comprometimento das propriedades isolantes do óleo. (TENBOHLEN & KOCK, 2010) Isso é decorrente da quebra das cadeias de celulose do papel isolante, que provoca sua deterioração e conseqüente redução da vida útil do transformador. Na seqüência, ocorre a precipitação de borra devido o envelhecimento do óleo e dos processos de oxidação e da formação dos produtos térmicos que acomodam a água, óxidos de carbono, compostos furânicos, hidrogênio e outros. (MILASH, 1984).

Entretanto, no fluido isolante do transformador desse trabalho, foi observado o aumento do valor obtido no Ensaio de Rigidez Dielétrica, como pode ser observado no gráfico da Figura 05. O óleo de origem vegetal é constituído de triacilglicerol formado de ácidos graxos de cadeias longas, os quais inicialmente quebram suas ligações por efeito de hidrólise, esses ácidos se ligam no papel isolante, isso pode levar ao aumento da vida útil do transformador. Esse efeito, a redução no valor do ERD, em transformadores com óleo mineral esta relacionado diretamente a formação dos ácidos no processo oxidativo, os quais atacam o papel e levam ao envelhecimento do equipamento.

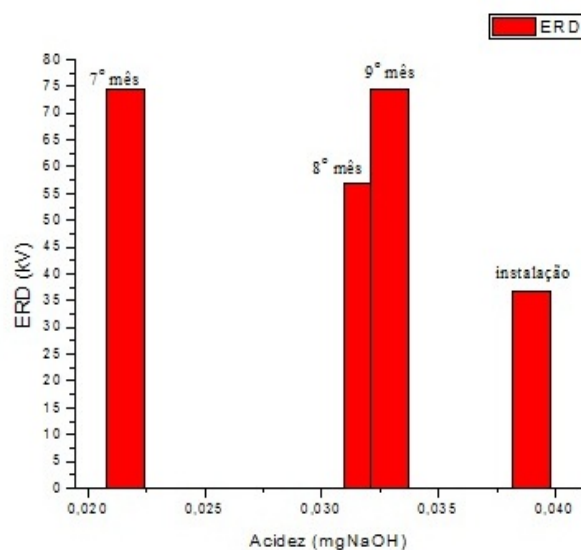


Figura 05: Gráfico da Relação entre a acidez e o ensaio de rigidez dielétrica (ERD) do óleo isolante de



A rigidez dielétrica é a medida da capacidade do líquido isolante de resistir ao impacto elétrico. De acordo com as normas VDE 0307 (NBR 10859), ASTM D1816 e ASTM D877 (NBR 6869), o líquido isolante deve apresentar valor mínimo de rigidez dielétrica de 30 kV (ASTM, 2004). Consiste em colocar uma amostra de óleo entre 2 eletrodos padrão e submetê-la a incrementos constantes de tensão alternada até que ocorra a ruptura do meio isolante e a conseqüente descarga entre os eletrodos.

O ensaio de rigidez dielétrica que determina através do decréscimo do valor, o envelhecimento do líquido isolante, no caso do óleo vegetal, ocorreu o inverso, pois ao invés de reduzir, o resultado obtido no acompanhamento, evidenciou um aumento desse parâmetro, apresentando-se na instalação 36 kV e após um ano o valor obtido foi de ~75 kV.

A acidez do óleo isolante é outro parâmetro que indica o envelhecimento. Esse fato está relacionado a formação de produtos da oxidação ácida que em conjunto com a água e os contaminantes sólidos, afetam as propriedades dielétricas. Outro fator é a degradação dos materiais celulósicos em contato com os produtos de degradação do óleo, cuja cor sofre alteração. O acompanhamento da acidez no óleo isolante indicou que não apresentou nenhuma alteração no óleo de amêndoa de babaçu como mostra a Figura 05.

A viscosidade é importante para o processo de refrigeração do transformador, quanto menor, melhor a transferência de calor. Ela influi no fenômeno de circulação do fluido no equipamento elétrico comprometendo a impregnação dos materiais isolantes do transformador, a rigidez dielétrica e a dissipação do calor. (SARAIVA, SANTO, SILVEIRA, ASANO, NAVARRO, MARTINS, 2008). O óleo vegetal apresenta viscosidade maior que o óleo mineral. Durante o acompanhamento, a viscosidade do fluido manteve-se em 29 cSt, valor que está de acordo com a norma ABNT para óleo vegetal isolante para equipamentos elétricos.

A medida de infravermelho foi realizada com o objetivo de acompanhar as mudanças no teor de água no óleo vegetal. A presença de água é indicada por uma banda larga no espectro na região de 3500 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  de comprimento de onda (PAVIA, LAMPMAN & KRIZ, 2010). As medidas realizadas em todas as amostras mostraram-se sem alteração.

Monitoramento elétrico do transformador foi realizado com um coletor de dados digital, medindo-se as oscilações das fases, o desequilíbrio entre elas, a corrente por fase e a carga total a qual estava submetido, com o objetivo de verificar no transformador uma baixa regulação com um alto rendimento. O transformador apresentou a distribuição de tensão como mostrado na Figura 06.

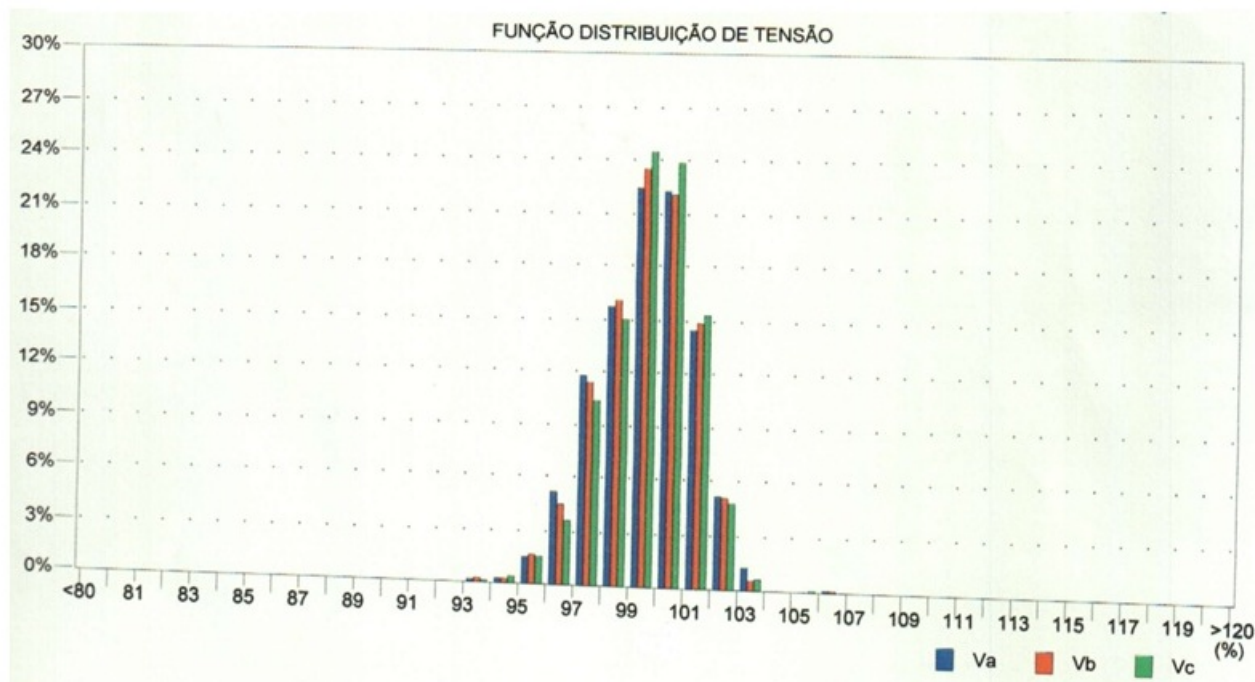


Figura 06: Gráfico de Dados elétricos (Distribuição de Tensão) de transformador com óleo vegetal de óleo de amêndoa de babaçu com um ano de sua instalação.

A Figura 06 apresenta uma relação de função de distribuição de tensões equilibrada decorrente de 3883 medidas durante quarenta dias, num intervalo de dez minutos para cada ciclo, considerando uma faixa adequada de tensão entre 201 e 231 V, faixa precária entre 189V a 201V e faixa crítica entre menor que 189 e acima de 233 V. Tendo como resultado 92 % do carregamento adequado, o que indica um excelente comportamento elétrico.

### 3. Conclusões

O óleo de amêndoa de babaçu, que foi utilizado nesse projeto de pesquisa, de acordo com o acompanhamento elétrico e químico durante o período de um ano, apresentou viscosidade e densidade adequadas para utilização em transformadores elétricos e se encontra dentro das especificações das Normas ABNT 15422 e ABNT 5440. Outros aspectos importantes, ao longo do tempo e que o difere do óleo mineral, foi a melhora na Rigidez dielétrica e a acidez manteve-se constante. Sendo assim, o óleo de amêndoa do coco babaçu é uma excelente alternativa de fluido isolante para o setor elétrico por ser biodegradável, por sua biodisponibilidade e importância econômica possibilitando incentivo à indústria de beneficiamento do óleo, à mão de obra local e aumento da produção de coco babaçu gerando emprego e renda para o setor primário, além de economia para setor energético.

### 4. Referências bibliográficas

MILASH, M. Manutenção de transformadores em líquido isolante. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1984. 354 p.

SYSTEMS, C. P., Fluido Envirotemp<sup>®</sup>FR3<sup>®</sup> R900-20-12P. Documento de referência, Janeiro, 2010.

STOCCO, M.B.C.; Avaliação do potencial de aplicação de óleos vegetais como fluidos isolantes em transformadores de distribuição elétrica. Dissertação de Mestrado– Instituto de Pesquisa – 2009.

OLIVEIRA, J.C., COGO, J.R.; ABREU, J.P.G.; Transformadores Teoria e Ensaios. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1984.

SHREVE, R.N.; BRINK JR., J.A.; Indústrias de processos químicos, 4ª Ed., Guanabara dois, 1980.

ABNT 5440- Transformadores para redes aéreas de distribuição- Requisitos, 2011.

ABNT NBR 15422- Óleo vegetal isolante para equipamentos elétricos, 2006.

ABNT NBR 10710- Líquido isolante elétrico- Determinação do teor de água, 2006.

ABNT NRR 14483- Produtos de petróleo – Determinação da cor- Método do colorímetro ASTM, 2008.

ABNT NBR 10441- Produtos de petróleo- Líquidos transparentes e opacos- Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica, 2007.

ABNT NBR- Produtos de Petróleo- Determinação do número de acidez e basicidade- Método do indicador, 2009.

ABNT NBR 7148- Petróleo e produtos de petróleo – Determinação da massa específica, densidade relativa e °API- Método do densímetro, 2001.

ABNT NBR 6869- Líquido isolantes elétricos- Determinação da rigidez dielétrica (eletrodos de disco), 1988.

ABNT NBR 11341- Derivados de petróleo- Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland, 2008.

TENBOHLEN, S.; KOCH, M.; Aging Performance and moisture solubility of vegetable oils for Power Transformers, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, No. 2, April 2010.

SARAIVA, M.C.B.S., SANTO, A.G., SILVEIRA, S.L., ASANO, R., NAVARRO, M.A. & MARTINS, M.N., Projeto, Construção, Operação e Monitoramento On-line de transformador 69kV 500MVA com Óleo Vegetal Isolante- Experiência da Brasckem, V Workpot- International Workshop on Power Transformers – Belém-PA, 2008.

<http://www.assema.org.br/geral.php> acessado em 29/02/2012 às 10:15h.

LIMA, J.R.O., ; SILVA, R. B.; SILVA, C.C.M.; SANTOS, L. S.S.; SANTOS JÚNIOR, J. R.; MOURA, E. M.; MOURA, C. V. R.; Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via etanólica, Química Nova, Vol. 30, No.3, 600-603, 2007.

SILVA, C. R., CARVALHO, M.W.N.C., CONRADO, L.S., FOOK, M.V.L.; Caracterização físico-química e dielétrica de óleos biodegradáveis para transformadores elétricos. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2012, vol.16, n.2, pp. 229-234. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000200015>.

[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/482\\_99.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/482_99.htm) acessado em 09/03/2012 às 11:30h.

PAVIA, D. L., LAMPMAN, G.M. & KRIZ, G.S.; Introdução à espectroscopia, Ed. Cengage Learning, 2010.

---

\* : GECOSA Indústrias Integradas Gervásio Costa S/A