

13ª
edição
**Expo
&
Fórum**

Redes Subterrâneas de Energia Elétrica/2017

6, 7 e 8 de junho de 2017

Centro de Convenções Frei Caneca - São Paulo - SP

Estudo para Utilização de Óleo Vegetal em Transformadores Subterrâneos

Redes Subterrâneas – 2017

 **AES Eletropaulo**
Uma Empresa AES Brasil



Diretoria de Obras & Serviços de Subtransmissão e Subterrâneo
Gerência de Gestão de Sistemas Subterrâneos



Em operação desde **1899**

1979 nacionalizada

1998 privatizada

Contrato de concessão até **2028**

Maior empresa de **Distribuição** da América Latina com **7 milhões** de unidades consumidoras

8,5 GW

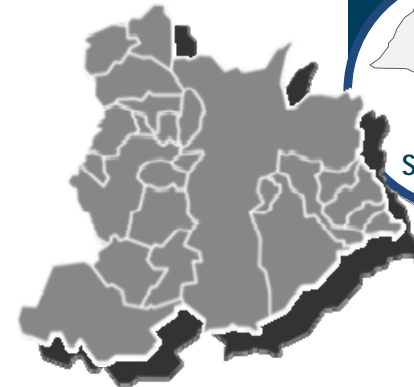
Pico de demanda

7.200

colaboradores

24 cidades atendidas na região metropolitana de São Paulo.

4.526 km² de área de concessão



São Paulo



Brasil

SISTEMA SUBTERRÂNEO

202 km

Circuitos de alta tensão operando em **88.000 V**

1.355 km

Circuitos de média tensão operando em **13.200 V**; **21.000 V**; **34.500 V**

1.300 km

Circuitos de baixa tensão operando em **220 V**; **208 V**; **380 V**

4.788
CÂMARAS
SUBTER.

2.256 Network Protector

2.532 Transformadores Radiais

124 Chaves de Transferência Automática

Atende **277.000** clientes

Potencia Instalada **2.667 MVA**



5.530
Poços de Inspeção



605
Transformadores Pad Mounted



Benefícios do Óleo Vegetal:

1. Garante entre 5 à 8 vezes maior vida útil do papel isolante dos transformadores;
2. Não propaga chamas devido ponto de fulgor ser superior à 300°C, já o óleo mineral está próximo de 150°C, portanto o óleo vegetal garante melhores condições de segurança contra incêndios;
3. Devido suportar altas temperaturas, garante 20% de sobrecarga, sem danos ao equipamento;
4. Melhor índice de biodegradabilidade entre os tipos conhecidos de óleo isolante;
5. Possui mais de 1 milhão de equipamentos em serviço no mundo sem ocorrências de incêndio, sendo que a 1ª unidade possui mais de 20 anos de aplicação;
6. O óleo vegetal consegue absorver a umidade no papel isolante dos transformadores.

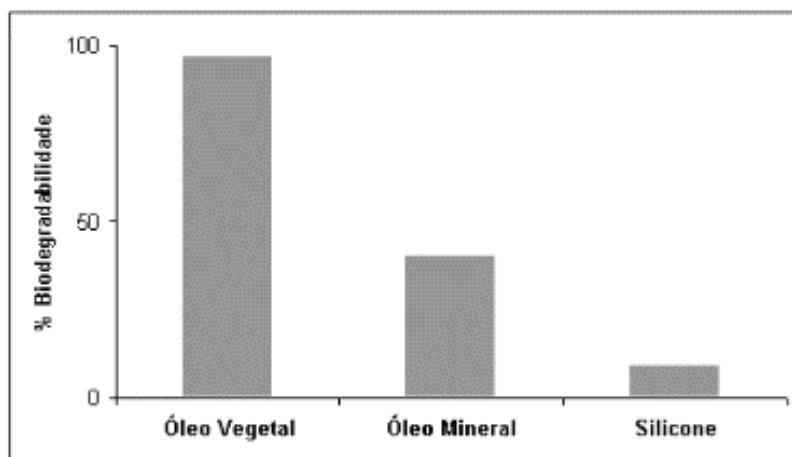


Gráfico Comparativo de Biodegradabilidade de Fluidos Isolantes (Clairbone – 2006)

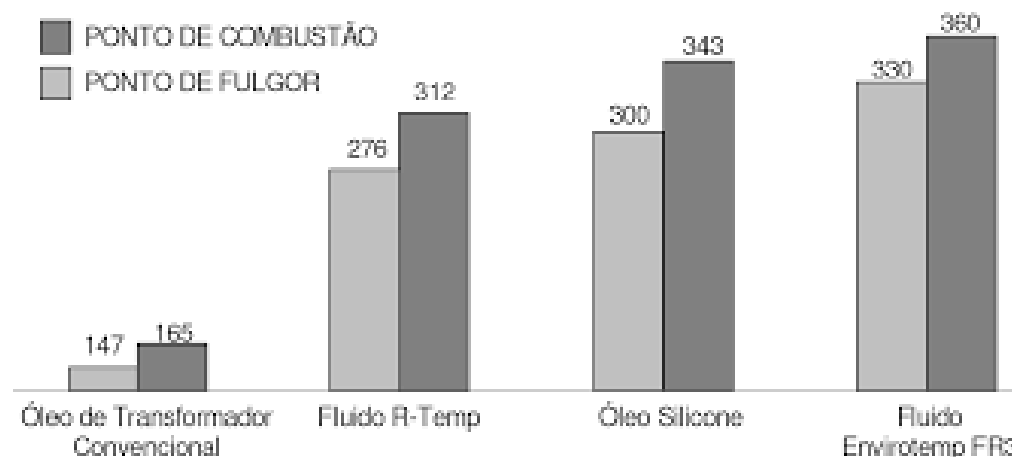


Gráfico Comparativo de Ponto de Fulgor e de Combustão de Fluidos Isolantes (Bulletin Cooper Power Systems, 2002)



Pontos de Atenção para Aplicação do Vegetal

Observações Importantes sobre Óleo Vegetal:

1. A mistura de óleo vegetal com mineral não pode ultrapassar o limite de 7% de óleo mineral para garantir o ponto de fulgor de 300°C, com redução de riscos contra incêndio;
2. Durante a operação mista com equipamentos com óleo mineral e vegetal é necessário manter o estoque individual dos 2 tipos de óleo para reposição em caso de vazamento ou excesso de coletas para análise;
3. Pequena quantidade de fornecedores no mercado, hoje temos apenas 3 fabricantes conhecidos deste tipo de óleo;
4. Apesar do alto ponto de fulgor para o óleo vegetal, não é possível afirmar que não haverá explosão do transformador, pois há a formação de gases no interior do equipamento, porém estudos indicam que a quantidade percentual de evolução de gases tende a ser bem menor nos equipamentos com óleo vegetal;
5. O custo individual do litro óleo vegetal para preenchimento nos transformadores chega a ser 80% mais caro do que o óleo mineral. Necessário prever este custo no orçamento para esta nova demanda.



Comparação entre Óleo Vegetal e Mineral

Dados Analisados	Óleo Vegetal Isolante	Status	Óleo Mineral Isolante	Status
Compatibilidade entre óleos	Óleo vegetal serve de aditivo para o óleo mineral	✓	Quanto menor a quantidade de óleo mineral, melhor será a mistura	✗
Temperatura de trabalho do óleo isolante	Óleo vegetal pode trabalhar com 5°C de temp. superior ao limite do óleo mineral	✓	Não é recomendado trabalhar acima do limite estabelecido por norma	✗
Tensão Interfacial e Fator de Dissipação (tang. delta)	Não é necessário realizar análise	✓	Necessário realizar análise trienal	✗
Umidade do papel isolante	Retira umidade do papel, aumentando sua vida útil	✓	Não retira umidade, necessário tratamento termo-vácuo	✗
Vida útil do papel isolante	Prolonga a vida útil do papel isolante de 5 à 8 vezes mais do que o óleo mineral	✓	Mantém a vida útil atual	✗
Ponto de combustão (Segurança contra Incêndio)	Superior à 300°C	✓	Próximo de 150°C	✗
Custo de tratamento termo-vácuo para retirada de umidade do óleo	Suporta nível de umidade até 20 vezes mais do que o óleo mineral.	✓	68 Mil (custo aproximado com tratamento do parque atual)	✗
Risco de contaminação de PCB no óleo (agente cancerígeno)	Risco de contaminação é menor, pois deverá haver nova separada para regeneração	✓	Risco de contaminação nas empresas de regeneração de óleo (comprovado)	✗
Descarte de efluentes contaminado com óleo	Redução de 5% no custo de descarte	✓	R\$ 1 Milhão/ano (gasto atual)	✗
Valor do equipamento novo	Acréscimo de 07 à 11 %	✗	Mantém o custo atual de compra e reforma	✓
Valor do óleo para reposição	Acréscimo de 80% em relação ao Óleo mineral isolante	✗	Mantém o custo atual de aquisição	✓
Investimento em equipamentos novos	Filtros para tratamento. Não há adição de gastos, somente separar filtros para vegetal	⚠	Mantém o custo atual de aquisição	✓
Alteração na reforma dos transformadores	Troca das borrachas nitrílicas. Uso de desengraxante específico para óleo vegetal	⚠	Troca das borrachas nitrílicas, pois as atuais estão deixando vazar óleo	⚠

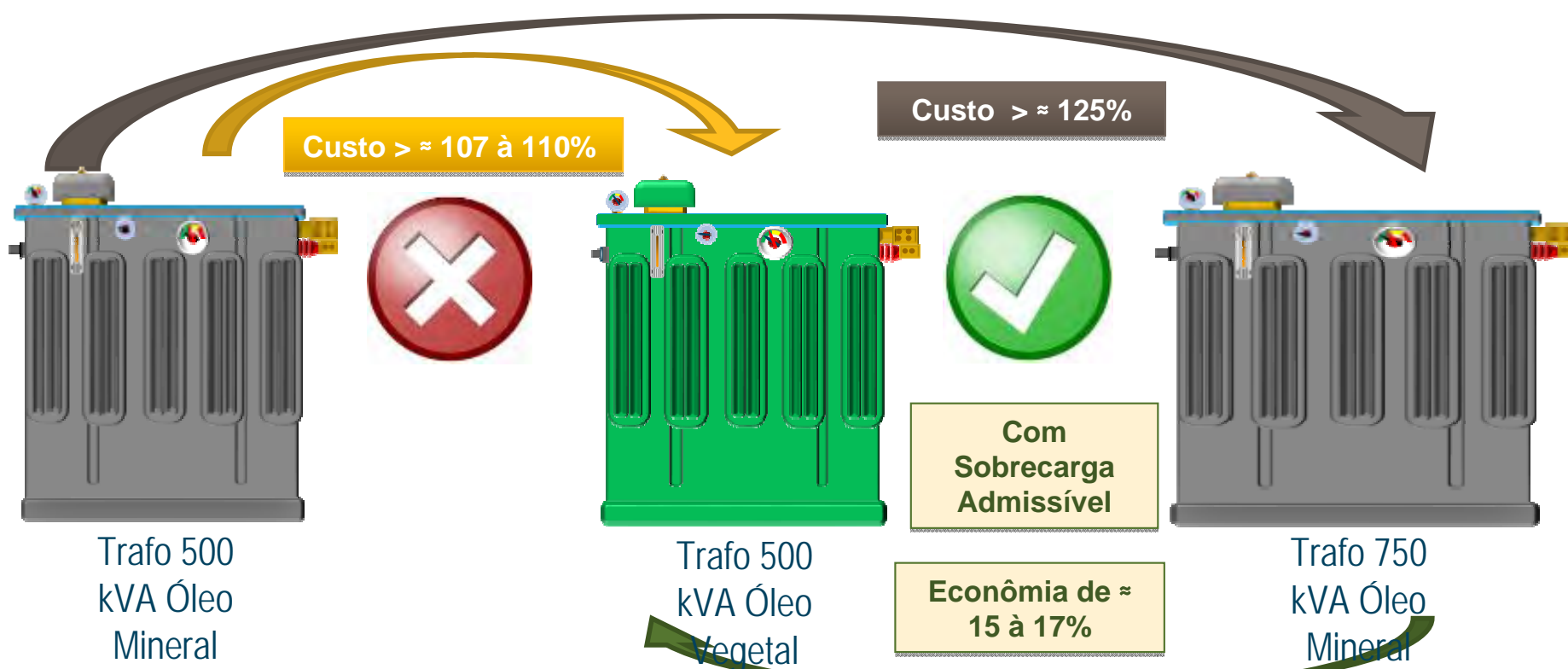


Comparativo de Custos

Compra de Novos Equipamentos – Estudo com Base em um Transformador de 500kVA submersível:

1. Transformador com óleo vegetal é entre 7 e 10% mais caro do que com óleo mineral;
2. Transformador com óleo vegetal suporta 20% à mais de sobrecarga, sendo possível postergar obras, gerando uma economia de 10% nesta aquisição;

Nota: Não temos um transformador de 600kVA homologado, portanto utilizamos o custo de um transformador de 750kVA.





Comparativo de Custos

Gastos com Reposição de Óleo – Estudo de Caso com Base no Gasto Anual de Reposição de Óleo:

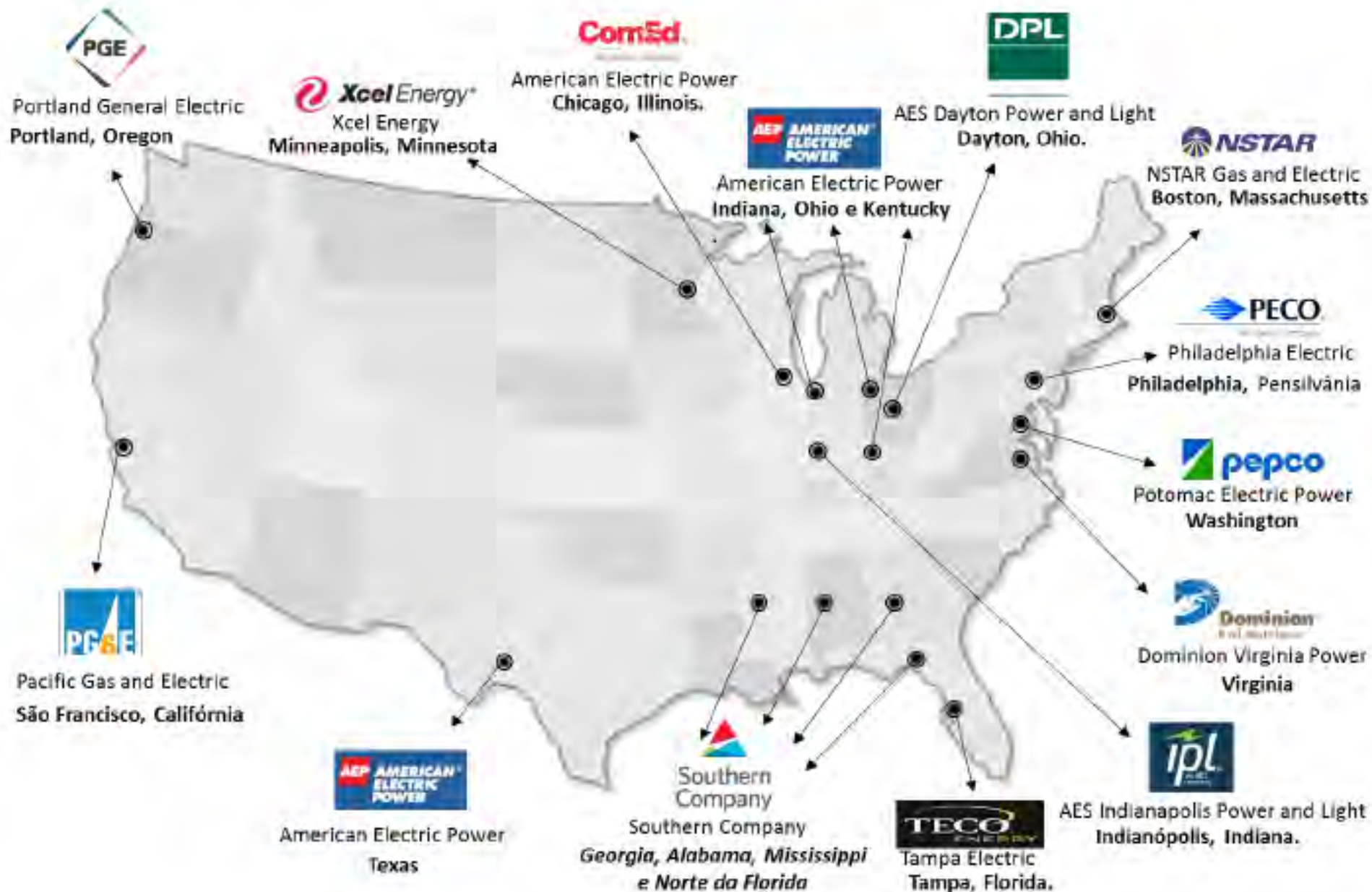
- 1.O custo de reposição de óleo vegetal é naturalmente mais caro, pois o litro de óleo vegetal é 80% mais caro do que o óleo mineral (na compra de equipamentos este valor é diluído no custo total);
- 2.Este valor só será pressentido por nossa operação após 5 anos de instalação (tempo médio de troca em locais críticos);
- 3.Este valor também tende à crescer de forma lenta se mantermos nosso nível de manutenção e atuais investimentos contra infiltração;

Custo com Reposição	R\$/Litro	Litros / ano	R\$
Óleo Mineral	1,66	18.000	29.880
Óleo Vegetal	2,99	1.000	2.990

Gasto estimado por ano, após
5 anos de implantação



Principais Distribuidoras com Óleo Vegetal nos EUA





Principais Distribuidoras com Óleo Vegetal Brasil





Cases de Sucesso

- ✓ Hoje existem mais de 1 milhão de equipamentos em serviço no mundo sem ocorrências de incêndio, sendo que a primeira unidade esta em operação à mais de 20 anos;
- ✓ Empresas Light, CPFL, COPEL, CEEE e Celesc no Brasil já utilizam óleo vegetal em suas operações;
- ✓ A ComEd (EUA) – possui 2.800 transformadores subterrâneos com óleo vegetal, sendo que já opera com óleo vegetal, em seus equipamentos, desde 2007;
- ✓ As empresas IPL e DPL (empresas da AES no EUA) também só utilizam óleo vegetal em suas operações;
- ✓ A AES Eletropaulo possui 7 transformadores subterrâneos com óleo vegetal na rede subterrânea, desde 2011, sem registro de eventos até o presente momento;
- ✓ A CPFL realizou a instalação de um transformador, reduzindo a potência instalada para permitir sobrecarga e retirou o mesmo, após 10 anos de operação, onde foi constatado que o mesmo estava com características de um transformador novo, mesmo operando em sobrecarga;
- ✓ A CPFL também realizou um estudo, expondo equipamentos com as mesmas características à um mesmo valor de curto-circuito, onde foram constatados índices menores de formação de gases no transformador com óleo vegetal;
- ✓ A EDP Bandeirantes realizou um estudo onde é possível se obter redução de custos com implantação de óleo vegetal, através de uso de carregamento flexível para redução de perdas, ainda em análise;



Ocorrências em Transformador com Óleo Mineral



Subestação em Boksburg –
África do Sul



Universidade da Califórnia (Berkeley)



Ocorrência PG&E – São Francisco



Ocorrência em Transformador com Óleo Vegetal

Ocorrência em um Transformador da Celesc com Óleo Vegetal (Falha na Bucha Externa)



Estado do Transformador após a Ocorrência





Cases de Sucesso

Ensaio em Laboratório em um Transformador com Óleo Mineral

- ✓ Temp. do Óleo: 128°C
- ✓ Duração do Arco: 7,77 s
- ✓ **Resultado:** Ruptura do disco e formação de chamas



Ensaio em Laboratório em um Transformador com Óleo Vegetal

- ✓ Temp. do Óleo: 140°C
- ✓ Duração do Arco: 7,56 s
- ✓ **Resultado:** Abertura do disco sem formação de chamas





Análise

- ✓ Óleo Vegetal apresenta maior custo que o Óleo Mineral se comparado apenas preço, mas considerando que o mesmo suporta até 20% à mais de sobrecarga no transformador, sendo possível obter uma economia de 17% com a substituição (case do Transformador de 500 kVA);
- ✓ Pelas análises é possível afirmar que os fabricantes ainda estão sendo conservadores na substituição de óleo mineral por vegetal e estão mantendo os projetos dos transformadores. Estudos indicam que há possibilidade de alteração de materiais e diminuição do tamanho dos equipamentos (com redução de custos);
- ✓ Também percebemos que os fabricantes estão cobrando desenvolvimento na elaboração de custos para alteração para óleo vegetal, portanto há possibilidade de redução de custos nos próximos anos;
- ✓ Em casos de ocorrência de vazamento de óleo, ainda há necessidade de gastos com tratamento de solo, pois apesar de o óleo vegetal possuir maior taxa de degradabilidade (prox. de 100%), o procedimento da AES Eletropaulo exige a destinação similar ao óleo vegetal;
- ✓ Além de ter o aumento do custo direto do transformador, ainda haverá aumento de custos no longo prazo na compra de óleo vegetal para reposição em caso de vazamentos, mas sem impacto significativo nos primeiros 5 anos;
- ✓ A maioria das empresas que optaram pela utilização do óleo vegetal, se basearam na maior proteção contra incêndios e na biodegradabilidade do óleo;
- ✓ Uma forma de obter ganhos na utilização do óleo vegetal envolvem alteração no projeto do transformador, diminuição do tamanho ou permitindo o aumento do carregamento do mesmo.



Com base nos levantamentos e estudos avaliados é possível informar que a migração de óleo mineral é uma tendência de mercado e que os benefícios são bem expressivos, justificando sua aplicação nos transformadores subterrâneos da AES Eletropaulo, mesmo com um aumento de 7 e 10% na compra direta do equipamento.

Importante salientar que a maioria dos benefícios não são 100% mensuráveis, mas temos 9 itens com forte indicativo á utilização do óleo vegetal, contra 3 itens com indicativo de utilização do óleo mineral, sendo que a maioria dos itens esta voltada à segurança de nossos profissionais, da população e do patrimônio público;

O aumento de custo na compra de transformadores com a troca por óleo vegetal pode ser compensado com a possibilidade de aumento do carregamento com as mesmas dimensões do equipamento ou possível redução dos componentes dos equipamentos, porém esta ação depende de alteração nos procedimentos de trabalho, ou no projeto dos equipamentos, isto sem contar os benefícios da proteção contra incêndios e a biodegradabilidade do óleo, que já são indicativos suficientes para aplicação nos Transformadores de Distribuição Subterrânea (TDS).



- [1] **UHREN, W.** - Aplicação de óleo vegetal como meio isolante em equipamentos elétricos, em substituição ao óleo mineral isolante. Curitiba, 2007. 123 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante - PRODETEC) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e Instituto de Engenharia do Paraná.
- [2] **CEMIG** - Centrais Elétricas de Minas Gerais. Disponível em <http://www.cemig.com.br/noticias/index481.asp> e acessada em 18/11/2008.
- [3] **CIGRÉ DO BRASIL** - Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Relatório técnico D1-01-002/05 - Enxofre corrosivo em óleo mineral isolante. Grupo de Trabalho D1-01- Líquidos Isolantes, outubro, 2005, 14 p.
- [4] **CIGRÉ INTERNACIONAL** - International council on large electric systems. Relatório técnico final - Copper sulphide in transformer insulation. Grupo de trabalho WG A2-32, Brochura 378, 2009, 35 p.
- [5] **CLAIBORNE, C. C.; CHERRY, D. B.** - A status update on the use of natural ester (vegetable oil) dielectric fluids in transformers. Anais do 74th Doble International Client Conference, Boston, MA, 2006.
- [6] **COPEL** - Companhia Paranaense de Energia. Copel usa transformadores isolados com óleo vegetal. Reportagem publicada no Copel on-line em 27 de junho de 2006.
- [7] **CELESC** - Centrais Elétricas de Santa Catarina - Disponível em <http://www.celesc.com.br/noticias/index.php#12151656> e acessada em 18/11/2008.
- [8] **LEOPOLDINO, R (2011)** – Estudo sobre gases dissolvidos em óleos vegetais isolantes – Influência do arco elétrico e superaquecimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.
- [9] **MARQUES, D. B.; LORENA, J.; SILVA, D. C.; Wilhelm, H. M.; GALDEANO, C. A.; JUNIOR, M. M. S.; HOSSRI, H.; QUIRINO, F.;**- Avaliação do efeito da temperatura sobre materiais internos em transformadores isolados com óleo vegetal (OVI) e diferentes isolações sólidas – Artigo CITENEL.

