

**XIV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**REGENERAÇÃO DE ÓLEO ISOLANTE EM TRANSFORMADOR ENERGIZADO DE 138KV**

ROMEU CAETANO GRANATO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO - LACTEC  
SILAS BATISTA GOMES JUNIOR  
COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL  
ALBERTO CURKAREVICZ  
COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL

**Palavras chaves**

regeneração  
óleo isolante  
manutenção  
transformadores energizados

**Foz do Iguaçu, 19 a 23 de novembro de 2000.**

## 1. Objetivo

Neste trabalho são apresentados os resultados práticos e a experiência obtida pela COPEL e LACTEC com a regeneração de óleos minerais isolantes, em transformadores energizados.

Para o processo de regeneração do óleo de um transformador de 138kV e 16 MVA, foi utilizada uma unidade percoladora móvel, portátil, a qual emprega Terra de Füller como agente adsorvente.

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas realizadas antes, durante e após o processo de regeneração, demonstram a eficácia do mesmo.

Pela aplicação desta técnica é possível estender a vida útil do sistema de isolamento óleo / papel, reduzir os custos de manutenção, minimizar os impactos ambientais, bem como evitar o desligamento do transformador para troca do óleo isolante.

## 2. Introdução

Em todos os processos operativos, verifica-se que os equipamentos envolvidos, em um determinado momento, irão necessitar de manutenção.

Ainda hoje, a manutenção é encarada como um mal necessário, considerando-se que máquinas e equipamentos falham. O problema consiste no fato de que, se os equipamentos estiverem inoperantes, teremos perda de produção, com conseqüentes prejuízos.

Principalmente nos países latino-americanos e do terceiro mundo, a escassez de recursos impossibilita a renovação e atualização dos seus sistemas operativos, a aquisição de novos equipamentos e a modernização de suas indústrias. Portanto, faz-se necessária a mudança radical dos conceitos e da filosofia de manutenção, para que os sistemas e equipamentos sejam mantidos nas mais perfeitas condições operacionais, conseguindo produzir satisfatoriamente e para que a vida útil dos mesmos seja mantida ou ampliada.

No caso de transformadores, o óleo mineral vem sendo utilizado como meio isolante e/ou refrigerante desde 1890, e apesar de todos os desenvolvimentos nesta área, o óleo associado ao papel ainda constitui o sistema de isolamento mais utilizado.

Pode parecer estranho que novos materiais não tenham substituído este sistema tão antigo. Tal acontece com cabos, condensadores, transformadores especiais, dentre outros. Porém, para os transformadores convencionais, existe uma tendência de se manter o sistema óleo/papel. Isto se deve a eficácia deste sistema e o seu custo reduzido em relação a outros dielétricos. Esta tendência é reforçada pela possibilidade da utilização de óleo isolante de origem parafínica e de óleos regenerados.

Os óleos minerais isolantes utilizados em equipamentos elétricos são obtidos através da destilação do petróleo natural, da fração de 300°C a 400°C. Este cru destilado pode ser de origem parafínica ou naftênica, dando origem ao correspondente óleo mineral isolante.

O óleo mineral isolante não é um composto puro, mas uma mistura na qual a maioria das moléculas são constituídas basicamente por carbono e hidrogênio (hidrocarbonetos) e, em pequenas quantidades, por compostos que apresentam nitrogênio, enxofre e oxigênio em sua estrutura (heterocompostos). Suas moléculas médias possuem de 19 a 23 átomos de carbono.

Durante a operação do equipamento (transformador), o óleo envelhece e sofre mudanças consideráveis nas suas propriedades físicas, químicas e elétricas. Como conseqüência, ocorre:

- Deterioração das propriedades isolantes do óleo;
- Aceleração do processo de degradação da celulose;
- Formação de borra ( material que se deposita nas partes mais frias e na parte ativa dos transformadores, dificultando a transferência de calor).

O processo que rege a oxidação do óleo mineral isolante é a dos hidrocarbonetos, visto que estes são os principais constituintes do óleo. A teoria mais aceita é a da peroxidação, na qual, os hidrocarbonetos

sob ação do calor, oxigênio e cobre ( catalisador da reação), reagem, degradando-se até a formação final de ácidos que se polimerizam formando a borra.

A fim de evitar prejuízos advindos da queima de um transformador, manutenções não programadas, ou ainda, substituições prematuras de equipamentos ( com vida útil inferior a que foi projetada), busca-se através de técnicas preditivas, como ensaios realizados no óleo isolante, obter informações como:

- o comportamento do óleo quanto às suas funções de refrigeração e isolamento;
- as transformações ocorridas no óleo quando em serviço ( envelhecimento);
- o estado do isolamento celulósico .

Quando os resultados dos ensaios físico-químicos indicam que o óleo mineral isolante alcançou um moderado estágio de degradação oxidativa, é comum a realização da regeneração do óleo, visando prolongar a vida útil deste e do equipamento.

A regeneração normalmente utilizada em óleo isolante é um processo físico que tem por objetivo remover contaminantes ou produtos da oxidação termo-oxidativa deste. Neste processo, o óleo é colocado em contato com um agente adsorvente ( terra fúller ou bauxita ), no qual os compostos polares serão retirados do óleo. Este óleo, assim obtido, apresenta praticamente as mesmas características físico-químicas de um óleo novo, porém, com um decréscimo na sua estabilidade à oxidação. Este fato é contornado com a adição de um aditivo antioxidante sintético, normalmente o DBPC (di-terc-butil-para-cresol), para que se recomponha a característica de desempenho deste óleo.

Convencionalmente, a regeneração é realizado em plantas fixas, sendo o óleo obtido entamborado para posterior utilização. Neste processo para substituir o óleo de um transformador é necessário desligá-lo, realizar e sua limpeza interna e posteriormente reênche-lo com o óleo regenerado, o que demanda um tempo prolongado a um custo mais elevado em relação a regeneração “on – line”.

### 3. Desenvolvimento

O processo e os resultados apresentados neste trabalho foram aqueles desenvolvidos pela COPEL e LACTEC, durante a regeneração do óleo mineral isolante de um transformador de 138 kV e 16 MVA, instalado e operando normalmente durante todo o serviço realizado.

#### 3.1 Características do transformador

Marca	:	Itel
Ano de fabricação	:	1962
Entrada em operação	:	1963
Tensão	:	138 kV
Potência	:	16 MVA
Número Copel	:	102-00003
Sistema de respiro	:	Silica – gel
Volume de óleo	:	20000 litros.

#### 3.2 Características do óleo antes da regeneração

Cor	:	3,5
Densidade	:	0,8765
Rigidez Dielétrica	:	41 kV
Fator de potência a 100 ° C	:	6,8 %
Tensão interfacial	:	17,8 dinas/cm
Índice de neutralização	:	0,10 mg KOH/g.óleo
Teor de água	:	32 ppm
Teor de 2 furfuraldeido	:	7,0 ppm
Teor de DBPC	:	0,03 % (m/m)

#### 3.3 Características do processo

Nº de colunas percoladoras	:	2
----------------------------	---	---

Modo de operação das colunas: em paralelo  
Capacidade das colunas : 150 Kg de material adsorvente/ coluna  
Agente adsorvente : Terra Füller ( 8/16 mesh)  
Filtro : 8 elementos de 1 micrômetro nominal  
Vazão de óleo : 150 l/horas  
Temperatura do óleo : 40 °C  
Perdas de óleo no processo : 5%  
Concentração de DBPC : 0,30% (m/m)  
Secagem do óleo : Termo vácuo ( 500 l/hora)  
Quant. de terra füller utilizada : 600 Kg

### 3.4 Regeneração

Primeiramente a Terra Füller é impregnada com óleo regenerado e as mangueiras são preenchidas com óleo. É também realizada a retirada de bolhas de ar antes de se conectar a percoladora ao transformador.

A mangueira de entrada de óleo da percoladora é conectada na válvula inferior do transformador, e a mangueira de saída da percoladora é conectada na válvula superior do transformador, no lado oposto a válvula de entrada. ( foto1-anexo 1).

Abrem-se as válvulas de saída (inferior) e entrada ( superior) do transformador e inicia-se a percolação do óleo através das colunas de Terra Füller.

Periodicamente são coletadas amostras do óleo na entrada e saída da percoladora, para se verificar a eficiência do processo e a necessidade da substituição do agente adsorvente.

### 3.5 Resultados

A avaliação do processo de regeneração e o momento para a troca de carga de Terra Füller, foi verificado através da realização de ensaios físico-químicos no óleo isolante, cujos resultados são apresentados na tabela n°1(anexo 2).

### 3.6 Comentários Sobre o Processo

As características do óleo antes do processo indicavam que o mesmo encontrava-se em condições limites para ser regenerado, pois com valor de tensão interfacial inferior a 20,0 dina/cm inicia-se o processo de deposição de borra nas partes mais frias e na parte ativa do equipamento.

Considerando-se que a COPEL tem por norma que o valor da tensão interfacial para óleo novo após contato com transformador novo é de 38,0 dina/cm, estabeleceu-se que o processo de regeneração para este óleo usado, estaria plenamente satisfatório quando o valor de tensão interfacial fosse superior a 36,0 dina/cm, pois tanto o óleo quanto o transformador então em uso a mais de 35 anos. Deve ser lembrado que óleos isolantes produzidos na década de sessenta apresentavam excelentes características de desempenho, sendo menos suscetíveis a degradação termo-oxidativa.

Os resultados dos ensaios físico-químicos realizados na amostra coletada na saída da percoladora no dia 03/07/2000 indicaram que o processo de regeneração poderia ser encerrado, necessitando somente ser tratado por termo vácuo(foto 2-anexo 3) para secagem e aditivção com anti-oxidante sintético ( DBPC).

Outro aspecto a ser considerado no processo de regeneração “on-line”, é que pela circulação contínua do óleo no transformador realiza-se constantemente a limpeza interna do mesmo.

## 4. Análise do Custo X Benefício

A avaliação da relação Custo X Benefício deste processo pode ser vista por dois aspectos principais, a saber:

- Processo de regeneração do óleo no campo em relação a substituição do óleo.
- Preservação da integridade operacional do transformador e extensão de vida útil do sistema óleo / papel.

Com relação ao custo de regeneração no campo X substituição do óleo, tem-se:

- No processo utilizado, o custo total (terra fuller, anti-oxidante, perdas, mão-de-obra, transporte e alimentação) foi de R\$ 0,17/ litro de óleo. Sendo que não é necessário desenergizar o equipamento, portanto não temos interrupção no funcionamento de energia, remanejamento de carga ou substituição por outro transformador.
- No processo de substituição por óleo regenerado em planta fixa, é necessário retirar o transformador de operação, realizar a limpeza interna do mesmo por “Hot Oil Spray”, ou outro processo, transportar o óleo de substituição para o local e retirar o óleo velho. As perdas (considerando-se o óleo para a limpeza) são de ordem de 10 %, bem como serão despendidos em torno de 120 H/h para realização do serviço. Neste caso, o custo total será de aproximadamente R\$ 0,95/ litro de óleo
- No caso de substituição por óleo novo, o custo total será de aproximadamente R\$1,95/ litro de óleo.

Com relação a integridade operacional e extensão de vida útil do transformador podem ser considerados os seguintes aspectos:

- A vida útil estimada para um transformador sem sistema de preservação selado gira em torno de 30 anos;
- O preço médio de um transformador de tensão 138 kV e de potência 20 MVA é de R\$ 800.000,00;
- Mantendo as características de desempenho do óleo isolante, preserva-se a integridade do sistema de isolamento óleo / papel;
- Regenerando-se ou substituindo-se o óleo quando este atinja os limites de condenação, estima-se que teremos condições de operar o equipamento em condições seguras por no mínimo mais 10 anos, sem alteração do sistema de isolamento óleo / papel;
- Outra economia a ser considerada é o do lucro cessante no caso de ocorrer falha do transformador;
- Baseado nestes dados, e no caso do transformador em questão, verifica-se que o investimento em um novo equipamento pode ser postergado por 10 anos, com uma economia neste período da ordem de R\$ 270.000,00.

## 5. Segurança

Por ser necessário a instalação de mangueiras na parte superior do transformador, cuidados especiais devem ser observados, pois, muitas vezes a válvula superior encontra-se próxima a barramentos energizados.

Outro aspecto de segurança é quanto a danos no transformador, portanto cuidados redobrados devem ser observados no início do processo de regeneração, para se evitar entrada de bolhas de ar ou sobrefluxo de óleo.

## 6. Conclusões

Pelos resultados obtidos neste trabalho, é possível concluir-se que:

- A utilização do processo de regeneração em transformadores energizados é plenamente seguro e viável tecnicamente, desde que observados os limites e condições do óleo antes e após o processo de regeneração;
- É fato seguro que pela manutenção da qualidade do óleo isolante, preserva-se o isolamento celulósico do transformador, com conseqüente aumento da vida útil do mesmo.
- A regeneração do óleo “on-line” propicia uma redução significativa de custos em relação a substituição do óleo, no caso do transformador em questão os valores são os seguintes:

Regeneração "on-line"	: R\$ 3.400,00
Troca por óleo regenerado	: R\$ 19.000,00
Troca por óleo novo	: R\$ 39.000,00

Observações : No caso da substituição do óleo, foi considerada a contratação do serviço. Se este for realizado por equipe da própria empresa, o custo deverá ter uma redução na ordem de 30%;
- A regeneração de óleo é uma técnica que minimiza impactos ambientais, considerando-se que óleo isolante não regenerados são normalmente incinerados.

ANEXO 1  
PERCOLADORA

VÁLVULA  
SUPERIOR



VÁLVULA  
INFERIOR

ANEXO 3  
TERMO VÁCUO



ANEXO 2  
TABELA DE RESULTADOS

Ensaio/ Norma/ Unidade/	Ensaio / Data								
	Antes de regenerar 29/05/00	Saída da percoladora 29/05/00	Entrada da percoladora 10/06/00	Saída da percoladora 10/06/00	Entrada da percoladora 15/06/00	Saída da percoladora 15/06/00	Entrada da percoladora 03/07/00	Saída da percoladora 03/07/00	Após termo vácuo e aditivação
Cor MB 351 -	3,5	---	---	---	---	---	---	L 2,5	L 2,5
Índice de neutralização MB 101 mgKOH/góleo	0,10	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Tensão interfacial NBR 6234 dina/cm	17,0	26,9	29,9	31,0	33,1	36,4	36,6	36,5	35,8
Fator de potência 100°C NBR 12133 %	6,8	3,40	1,20	0,72	0,85	0,31	0,31	0,14	0,28
Teor de água NBR 10710 ppm m/m	39	50	46	58	37	36	25	27	20
Rigidez dielétrica NBR 6869 kV	41	31	27	28	43	36	43	41	48
2 furfuraldeido ppm m/m	7,0	---	---	---	---	---	---	---	8,5
Teor de DBPC NBR 12134 % m/m	0,03	---	---	---	---	---	---	---	0,27
					Substituir terra füller				