

# REGENERAÇÃO DE ÓLEOS ISOLANTES USADOS. SOLUÇÃO OU PROBLEMA ?

MARIA AUGUSTA G. MARTINS

Labelec – Grupo EDP  
Rua Cidade de Goa, nº4, 2685-039 Sacavém, Portugal  
maria.augusta@edp.pt

## ABSTRACT

The disposal of great quantities of degraded insulating oils has become more and more an environmental concern. This situation played an important role in the development of insulating oil reclamation methods, whose application intends to minimize this problem.

This paper reviews the most common reclamation methods used for insulating oils, the basic process mechanism, and the main reclamation technologies.

Furthermore, the advantages, and drawbacks of the “on-line reclamation” of insulating oil contained in power transformers (oil reclamation treatment while the transformer is energised at rated load) are also discussed here.

**keywords:** Reclamation. On-line reclamation. Transformer. Insulating oil. Treatment

## RESUMO

As crescentes preocupações com a preservação do ambiente, têm levado à adopção de medidas, com vista ao decréscimo da poluição ambiental, provocada, por exemplo, pelo desperdício de grandes quantidades de óleo isolante degradado, proveniente da substituição deste, no equipamento eléctrico em que o óleo é utilizado como dieléctrico (principalmente no caso da utilização deste em grandes quantidades, como por exemplo nos transformadores).

Esta situação fez com que, desde há algum tempo, começassem a ser desenvolvidos métodos de tratamento do óleo isolante degradado, destinados a devolver a este as propriedades adequadas à sua reutilização, na prática, como fluido dieléctrico e arrefecedor, reduzindo assim a uma quantidade mínima, os resíduos de óleo a eliminar – a esse novo tipo de tratamento, foi dado o nome de regeneração do óleo

São aqui abordados os métodos mais utilizados para a regeneração de óleos, o mecanismo básico do processo, assim como as principais tecnologias de regeneração.

Para além disso, são ainda referidas as vantagens, inconvenientes e limitações, da aplicação deste método a transformadores em serviço (método de regeneração “on-line”).

**Palavras chave:** Regeneração. Regeneração “on-line”. Transformador. Óleo isolante. Tratamento.

## 1. INTRODUÇÃO

Os transformadores de potência são um elemento essencial de qualquer sistema eléctrico, cuja qualidade de serviço e tempo de vida útil dependem em grande parte, das condições do seu isolamento (sólido e líquido).

A importância de manter o óleo isolante em boas condições para o adequado funcionamento do transformador e para a extensão da sua vida útil, é por demais reconhecida na prática. Isto porque, uma das funções mais importantes do óleo é a protecção do isolamento sólido, cuja velocidade de degradação aumenta, com a deterioração do estado do óleo isolante, com o qual aquele se encontra em contacto.

Acontece que o óleo, para além de poder sofrer os efeitos duma eventual contaminação externa, vai-se degradando com o tempo, por exemplo por oxidação, a qual é acelerada,

por acção da temperatura e pela presença de catalisadores (como por exemplo o cobre).

O óleo degradado contém um número considerável de produtos de oxidação de natureza líquida e até sólida (lamas), com composição química diversa.

Destes produtos podemos destacar, para além da água, os compostos furânicos, os ácidos, os aldeídos, as cetonas e outros produtos polares, os quais são responsáveis por um decréscimo da tensão interfacial, uma subida do índice de acidez, da cor e da viscosidade do óleo, aliados por vezes ao aparecimento de depósitos, em caso de degradação muito avançada.

O tratamento de regeneração do óleo isolante de um transformador é definido pela Comissão Electrotécnica Internacional (CEI) [1], como

“um processo que elimina os contaminantes polares, solúveis e insolúveis, presentes no óleo, por meios químicos e físicos”. Este tratamento consiste essencialmente em

processos de natureza química (baseados em reacções químicas), ou em fenómenos de natureza física, (adsorção dos produtos de degradação do óleo em determinados adsorventes).

Em qualquer dos casos, o resultado é a retirada<sup>(a)</sup> do óleo, dos produtos polares, com alterações benéficas para o óleo, em termos de recuperação das respectivas propriedades que haviam sido perdidas, por degradação.

## 2. REGENERAÇÃO ATRAVÉS DE “TERRAS ADSORVENTES”

A “terra adsorvente”, mais geralmente usada na regeneração de óleos isolantes, é a terra de Fuller.

As “terras adsorventes”, são argilas naturais à base de silicato de magnésio e alumínio, com grande actividade superficial, como por exemplo as *montmorilonites*, as *atapulgites*, as *sepiolites* e as *bentonites*. Todas elas são constituídas por aniões silicato, condensados com camadas octaédricas do tipo X (OH)<sub>2</sub>, onde X pode ser magnésio, alumínio, etc.

As terras de Fuller podem ser usadas isoladamente, ou em combinação com outros produtos químicos, tais como o fosfato tri-sódico, o carvão activado e o silicato de sódio. Podem ainda usar-se outros adsorventes como o carvão, a alumina, o gel de sílica, o florissil, a bauxite, os peneiros moleculares (silicatos de alumínio sintéticos) e certas resinas orgânicas.

A função principal destes adsorventes é efectuar a adsorção selectiva dos produtos de oxidação polares (por exemplo, ácidos, álcoois, tióis, aldeídos, cetonas, ésteres e certos produtos aromáticos, entre outros) presentes no óleo, sendo esses adsorventes em geral inactivos, em relação aos hidrocarbonetos constituintes dos óleos [1].

Contudo, é importante ter em conta o seguinte inconveniente:

- Existência de adsorção, na “terra adsorvente,” não só dos anti-oxidantes polares naturais, presentes no óleo (por exemplo, certos sulfuretos orgânicos), mas também de outros anti-oxidantes artificiais como o di-ter-butyl paracresol (DBPC), utilizado como inibidor em óleos isolantes inibidos.

A capacidade de adsorção do adsorvente é directamente proporcional à área superficial deste e esta por sua vez, depende do método de preparação das terras adsorventes e da sua origem natural, podendo variar consideravelmente, para diferentes amostras comerciais do mesmo adsorvente.

Normalmente, a utilização adequada de “terras adsorventes”, por si só, pode ser suficiente para restaurar as propriedades dos óleos que se encontrem num estágio inicial de degradação, para valores semelhantes às do óleo novo.

No entanto, se o estado de degradação do óleo for significativo, podem utilizar-se, com vantagem, as “terras adsorventes” associadas com outros produtos químicos, como por exemplo o *fosfato tri-sódico*, ou o *carvão activado* e o *silicato sódico*, associações estas que proporcionam melhores resultados e correspondem a um custo inferior de tratamento.

Salienta-se contudo, que o tratamento de regeneração não é de todo recomendável, para óleos em estados de degradação avançados.

A eficácia da regeneração de óleos isolantes minerais degradados, depende dos seguintes factores [1]:

a) Tamanho das partículas do adsorvente.

O método de regeneração, como se disse, baseia-se essencialmente na adsorção dos contaminantes polares do óleo, por interacção directa destes, com os centros activos do adsorvente.

Seja qual for o material adsorvente usado, a interacção entre os seus centros activos e as moléculas mais polares presentes no óleo, tem lugar a nível superficial, pelo que, quanto menor for a dimensão da partícula do adsorvente, maior será a superfície de contacto, e portanto maior o número de centros activos úteis do adsorvente e consequentemente maior a eficácia da regeneração.

b) Percentagem de “terra adsorvente”. Tempo de Contacto. Temperatura.

Destes, o parâmetro que mais influencia a qualidade da regeneração (ou seja a qualidade do óleo regenerado obtido) é a proporção de “terras adsorventes” utilizadas, relativamente ao óleo a tratar.

A influência do tempo de contacto é muito pequena, embora as propriedades do óleo regenerado melhorem um pouco, ao aumentar este tempo.

Finalmente, o efeito da temperatura, na qualidade da regeneração, varia com a “terra adsorvente” utilizada.

Por exemplo, enquanto a influência da temperatura é pequena, nas regenerações com *sepiolite*, o comportamento da *bentonite* é mais eficaz, quando a regeneração se realiza a temperaturas da ordem de 60 °C a 80 °C.

Contudo, duma forma geral, quanto mais elevada a temperatura à qual é efectuada a regeneração do óleo, maiores os fluxos de óleo que podem ser usados e portanto mais baixa é a eficiência de retenção do material polar adsorvente.

Quanto mais elevada for a concentração de produtos polares no óleo, (maior quantidade de produtos polares no óleo, por unidade de volume), menos efectiva será cada passagem do óleo pela argila, uma vez que, esta possui um número finito de sítios activos para fixação desses produtos, por adsorção. Por esta razão, o processo de regeneração, efectuado numa única etapa, é menos eficaz do que o realizado em duas

<sup>(a)</sup> Retirada essa que poderá não ser total.

etapas, (por exemplo por passagem do óleo pressurizado através de duas colunas cheias com adsorvente).

Neste último caso, a primeira coluna destina-se a remover a maior parte das moléculas polares presentes no óleo e a segunda tem por fim obter um melhor “acabamento” deste.

Por este facto, para obter os mesmos resultados, o método das duas colunas requer menor quantidade de argila, que o método baseado numa só coluna.

Normalmente, no processo das duas colunas, quando a primeira atinge o esgotamento, é substituída pela segunda, sendo então esta, por sua vez, substituída por uma nova coluna.

## **2.1 “ACTIVAÇÃO INICIAL DA “TERRA ADSORVENTE”**

Antes da 1ª utilização, é necessário efectuar uma activação da argila, a usar como adsorvente, no tratamento de regeneração do óleo.

A activação inicial da argila costuma envolver desidratação térmica e parcial desidroxilação e é efectuada através do seu tratamento com ácido, ou por aquecimento, sendo qualquer destes tratamentos destinados a queimar a matéria orgânica e secar a argila.

Em seguida, é então esmagada e passada através de peneiros, de granulometria adequada.

A argila será tanto mais activa, quanto maior a sua área superficial, quanto maior o número de poros por unidade de área, e ainda quanto maior a concentração e polaridade dos seus ácidos de Lewis.

De facto, é o material de que a “terra adsorvente” é feita, que determina, em primeiro lugar, a eficácia do processo. Se é alta a proporção de material altamente polar, tal como os óxidos de silício e de alumínio, a polaridade da “terra adsorvente” será elevada e conseqüentemente isto aumentará a quantidade de material polar removido do óleo, por unidade de massa da terra adsorvente usada, mantendo todos os restantes parâmetros constantes.

## **2.2 MECANISMO DA REGENERAÇÃO**

É normalmente através do silício, um componente da molécula de argila, que possui ligados vários grupos hidroxilo, que é possível a remoção dos compostos polares do óleo. Tal remoção ocorre, pelo estabelecimento, entre os compostos polares presentes no óleo e os grupos hidroxilo do silício, de ligações de hidrogénio, que mantêm esses compostos polares ligados à argila.

Quanto mais polar for a molécula de produto de degradação que se pretende eliminar do óleo, mais forte é a ligação de hidrogénio formada entre tal molécula e a de argila e portanto mais fácil será a separação daquela molécula, do restante óleo.

Por esta razão, os ácidos e os peróxidos apresentam uma ligação mais forte à superfície da argila, que os alcoóis, os aldeídos e as cetonas.

De referir ainda que, o tratamento de regeneração é mais eficaz, para óleos com menor teor de humidade.

Por exemplo (teor de água < 20ppm<sup>(b)</sup> a 20 °C) [2].

Por outro lado, para um funcionamento adequado, como adsorvente, a argila deve conter aproximadamente 5% de água [2].

Contudo, para um valor de teor de água de cerca de 10%, haverá água no estado livre, nos poros da argila, o que provoca o bloqueamento destes, com conseqüente decréscimo da atracção exercida pelos grupos hidroxilo da argila, sobre os produtos polares presentes no óleo [2].

Se, pelo contrário, a argila estiver demasiado seca, permanecerão na sílica um número insuficiente de grupos hidroxilo disponíveis para ligação com os compostos polares, que se pretendem eliminar do óleo, o que provocará igualmente um decréscimo da eficiência da argila como adsorvente.

Finalmente, a retenção de contaminantes nos sítios activos da “terra adsorvente”, é em geral favorecida pela subida de temperatura, pelo que este processo normalmente é realizado a temperaturas entre 60 °C e 80 °C.

De referir ainda que a temperatura do óleo, que circula através do transformador, deve ser superior ao respectivo ponto de anilina, para que seja possível dissolver as lamas presentes no interior do transformador.

## **2.3 RECUPERAÇÃO DA “TERRA ADSORVENTE”**

Uma vez que este tipo de tratamento de óleos deixa como subproduto grandes quantidades de argila, carregada de produtos de degradação do óleo, as quais têm que ser tratadas como “resíduos perigosos”<sup>(c)</sup>, a recuperação destas argilas é extremamente importante, do ponto de vista económico e ambiental.

Um processo de recuperação da argila que já foi utilizada e cujas propriedades de adsorção se encontram esgotadas, consiste na lavagem da argila com um solvente, para remover o óleo, seguida de aquecimento a uma temperatura elevada, para queimar os produtos orgânicos nela retidos e finalmente duma secagem da argila.

Um outro processo utilizado para recuperação da argila, consiste em usar primeiro um solvente, à base de hidrocarbonetos, para retirar o óleo da argila, e a seguir lavar esta com um solvente polar (por exemplo o metanol), que possui uma grande afinidade para os compostos polares presentes na argila, o que permite portanto libertar a argila desses compostos.

De referir que, neste caso, o solvente polar utilizado, pode também, em seguida, ser regenerado, minimizando-se assim significativamente, os resíduos perigosos para o ambiente.

## **2.4 MÉTODOS DE REGENERAÇÃO DO ÓLEO**

A regeneração, por meio de “terra adsorvente”, pode fazer-se por “percolação”, ou por contacto [1].

<sup>(b)</sup> ppm= mg H<sub>2</sub>O/kg óleo

<sup>(c)</sup> Poluentes do ambiente

### 2.4.1 MÉTODO DE “PERCOLAÇÃO”

Este método consiste em fazer passar o óleo a regenerar, através da “terra adsorvente”. Esta operação pode efectuar-se com ajuda de pressão, ou por acção da gravidade.

O processo completo consiste em 3 passos consecutivos: Primeiro: circulação do óleo a regenerar através dum filtro, de modo a eliminar partículas em suspensão no seio do óleo. A seguir, passagem do óleo através de uma ou mais “cartridges”<sup>(d)</sup> contendo “terra adsorvente”, para eliminar os contaminantes solúveis no óleo.

Finalmente, passagem do óleo através dum sistema de secagem (por centrifugação, ou desidratação sob vácuo), de forma a eliminar os vestígios da água e os gases eventualmente presentes no óleo. Normalmente verifica-se que são necessárias pelo menos 3 passagens, (através do adsorvente) do volume total do óleo a tratar, dependendo contudo o número final de ciclos, do nível inicial de contaminação do óleo e do nível final de recuperação pretendido.

#### 2.4.1.1 “PERCOLAÇÃO” POR GRAVIDADE

Este sistema de regeneração do óleo é o mais simples, embora tenha praticamente caído em desuso.

O método baseia-se na utilização de três tanques, instalados a alturas diferentes, de modo a ser possível usar a pressão hidrostática, para forçar o óleo a mover-se de um tanque para o seguinte, através da “terra adsorvente”.

O tanque situado no nível mais elevado, contem o óleo degradado, alvo de tratamento. O tanque situado no nível intermédio contem a “terra adsorvente” e o tanque situado no nível inferior, é destinado a recolher o óleo recuperado, à medida que este sai da “terra adsorvente”.

#### 2.4.1.2 “PERCOLAÇÃO” SOB PRESSÃO

O método de percolação sob pressão é semelhante ao método de percolação por gravidade, com a diferença de que o óleo, neste caso, é bombeado sob pressão, para o fazer passar através das “terras adsorventes”.

Este processo, ao contrário do anterior, permite processar volumes relativamente grandes de óleo, num período de tempo curto.

### 2.4.2 MÉTODO DE CONTACTO

O método de contacto usa “terras adsorventes” activadas e finamente divididas. O óleo é introduzido numa câmara de mistura adequada, com uma quantidade previamente determinada de “terras adsorventes”. Esta mistura é agitada enquanto é aquecida a cerca de 60 °C, mantendo-se a esta temperatura durante cerca de meia hora. Durante este tempo, dá-se a transferência, do seio do óleo para as partículas de “terra adsorvente”, dos produtos polares de degradação presentes no óleo, até se estabelecer um equilíbrio. A

<sup>(d)</sup> Colunas ou “cartuchos”

mistura é posteriormente filtrada sob vácuo, separando-se o óleo regenerado, das terras adsorventes, onde ficaram retidos os produtos de degradação, inicialmente contidos no óleo. **Este método** que não é adequado para regeneração de óleos contidos em transformadores, **pode ser usado para regenerar óleos de desperdício já armazenados em tanques**. Para além disso, **é este o método normalmente usado nos ensaios laboratoriais destinados a investigar a possibilidade de um óleo ser regenerado e estimar as propriedades finais**, que podem ser conseguidas após o tratamento de regeneração desse óleo, na prática.

### 2.4.3 MÉTODO DE REGENERAÇÃO EM CONTÍNUO

Este **método**, que é o **mais utilizado actualmente** a nível industrial, permite realizar o tratamento, com recirculação do óleo através do transformador, não necessitando de retirar o óleo deste, para um reservatório exterior, para realizar a respectiva regeneração.

O método de regeneração em contínuo consiste em fazer passar o óleo pré-aquecido, proveniente do transformador, através de uma coluna, (ou normalmente várias), cheias com material adsorvente, de granulometria adequada, de tal modo que se consiga a máxima superfície de contacto, mas sem que se formem caminhos preferenciais, através do enchimento (o que normalmente acontece se o tamanho de grão for demasiado pequeno).

Este método, em que a máquina de tratamento funciona ligada directamente ao transformador, permite regenerar grandes volumes de óleo, num intervalo de tempo relativamente curto.

Seja qual for o tipo de regeneração à base de argila, é importante que, no caso do óleo a regenerar possuir um conteúdo muito elevado de água, esta seja previamente removida do óleo, (pelo menos a maior parte) antes que este entre em contacto com a argila, para evitar a exagerada humificação desta. Isto porque, a presença de quantidades significativas de água pode causar, o bloqueamento parcial, ou mesmo total da argila, tornando-a inutilizável no tratamento do óleo, e obrigando à sua rejeição e consequente necessidade de substituição.

## 2.5 REGENERAÇÃO DO ÓLEO COM O TRANSFORMADOR EM SERVIÇO

A crescente necessidade de evitar indisponibilidades dos transformadores, para manutenção, fez com que, os fabricantes dos equipamentos usados para a regeneração de óleos, desenvolvessem uma tecnologia, com vista à realização do tratamento de regeneração de óleo com o transformador em serviço, - tratamento de regeneração “on-line”.

De facto, a retirada de serviço do transformador, para a realização do tratamento de regeneração do óleo, por vezes durante vários dias, aumenta significativamente os custos directos do tratamento e por vezes nalguns casos, pode

mesmo provocar alguns distúrbios no sistema eléctrico, com os conhecidos custos directos e indirectos associados.

Apesar destas vantagens e algumas experiências positivas, por parte de alguns utilizadores, a realização da regeneração do óleo com o transformador em serviço, permanece um assunto controverso. Mesmos os defensores da utilização da regeneração “on-line”, reconhecem que esta requer adicionais medidas de segurança e admitem a existência de algumas restrições na sua utilização.

### 2.5.1 MEDIDAS DE SEGURANÇA EXIGIDAS NA REGENERAÇÃO “ON-LINE”

A fim de minimizar os riscos de acidentes pessoais, dos técnicos envolvidos no processo, assim como proteger o transformador durante o tratamento de regeneração “on-line”, do respectivo óleo, é importante tomar diversas precauções de segurança, das quais podemos referir como exemplo [2]:

- Monitorizar cuidadosamente a subida de temperatura do óleo no transformador, em relação à temperatura ambiente, o que aliás depende da carga do transformador, isto com o fim de garantir que, durante o tratamento de regeneração do óleo, aquele se encontra a trabalhar dentro dos limites adequados de temperatura.
- Evitar a produção de um fluxo turbulento de óleo, garantindo que o óleo regenerado entre no transformador, através do fundo da cuba deste, de modo que o fluxo do óleo regenerado (durante o tratamento de regeneração) não seja em sentido contrário, ao do fluxo normal do óleo no transformador.
- Ligar à terra todo o equipamento usado no transformador, com o fim de descarregar alguma carga estática, que possa surgir quando se estabelece o fluxo do óleo dentro daquele.
- Não modificar o esquema de protecções eléctricas existentes no transformador. O relé Buchholz deve estar ligado e operacional durante o tratamento.
- Monitorizar, continuamente, o nível do óleo no transformador, durante o processo. Se o nível do óleo descer, para além do nível do relé Buchholz, o relé pode ser actuado.

### 2.5.2 VANTAGENS DO MÉTODO “ON-LINE”

Mantendo o transformador em serviço, durante o tratamento de regeneração do óleo, o calor desenvolvido no interior do transformador provoca uma subida de temperatura do óleo e um decréscimo de viscosidade deste, o que facilita a entrada do óleo nas zonas internas e mais inacessíveis dos enrolamentos [2] [3].

Tal circulação de óleo facilita a dissolução e conseqüente remoção das lamas, que se encontram aderentes ao isolamento sólido nessas áreas, ajudando ainda a remover também a humidade, presente nos isolantes sólidos.

Para além da agitação produzida pelo fluxo de óleo, este método utiliza também a vibração natural, gerada pela frequência de 60 Hz, da fonte de potência, para ajudar a desalojar alguns contaminantes sólidos, (lamas) depositados na superfície dos isolantes sólidos do transformador.

Finalmente, uma outra importante vantagem deste processo é reduzir o custo associado à indisponibilidade do equipamento (relativo a uma permanência deste, fora do serviço), situação esta imprescindível, no caso do tratamento ser efectuado pelo método clássico (“off-line”).

### 2.5.3 RESTRICÇÕES À UTILIZAÇÃO DO MÉTODO “ON-LINE”

Não é de todo aconselhável, utilizar o método de regeneração “on-line” em vários casos, dos quais podemos destacar os seguintes:

- Quando o teor de humidade do óleo a tratar for muito elevado (>50 ppm)<sup>(e)</sup> a 25 °C [2], embora neste caso, nem o tratamento “off-line” seja recomendado, pelas razões anteriormente expostas.
- Quando o óleo a tratar contiver uma excessiva quantidade de depósito, constituído usualmente, em grande parte, por partículas resultantes da degradação dos isolantes sólidos.
- Quando a tensão disruptiva do óleo for menor que 25 kV [2].
- Quando a presença no óleo de quantidades significativas de gases combustíveis dissolvidos, detectados através da análise cromatográfica dos gases dissolvidos no óleo, indicia a presença dum defeito interno no transformador.
- Finalmente, quando o óleo do transformador se encontra contaminado com PCB's (concentração de PCB's superior a 50 ppm)<sup>(f)</sup>.

De referir que, neste caso, também a regeneração “off line” se encontra proibida.

### 2.5.4 OBJECÇÕES AO TRATAMENTO DE REGENERAÇÃO “ON-LINE”

As principais objecções que têm sido apresentadas, à realização do tratamento de regeneração, com o transformador em serviço, são as seguintes:

- O vácuo, que pode ser gerado dentro do tanque do transformador, por exemplo devido à redução do nível do óleo, dentro do referido tanque, pode provocar problemas a nível do isolamento do transformador.

Contudo, a realização dum controle adequado do processo, incluindo a detecção de eventuais fugas de óleo no transformador, podem reduzir este risco.

<sup>(e)</sup> 50 ppm = 50 mg H<sub>2</sub>O / kg óleo

<sup>(f)</sup> 50 ppm = 50 mg PCB / kg óleo

- A produção de bolhas de ar, no interior do transformador, ocorrência muito provável durante o processo de regeneração “on-line”, pode causar problemas graves, quando tais bolhas se deslocam no interior do transformador e atravessam zonas de elevado gradiente de potencial. A utilização dum sistema de detecção de bolhas gasosas, e de ratoeiras dessas bolhas (“air traps”) para a eliminação das bolhas produzidas, diminui significativamente este risco.

- Finalmente, outro dos riscos mais importantes é devido à muito provável criação dum fluxo de óleo turbulento no interior do transformador, que provoca uma distorção no fluxo normal de arrefecimento, criando como consequência, o aparecimento de zonas de alta temperatura no interior do transformador, que se traduzem em sobreaquecimentos locais, sempre perniciosos para o equipamento.

Para evitar isto, deve-se garantir que, durante o processo de tratamento, o fluxo de óleo tratado tenha a mesma direcção e sentido que o fluxo de óleo do transformador, durante o seu normal funcionamento (ou seja na ausência do tratamento “on-line”).

## 2.6 TECNOLOGIAS DE REGENERAÇÃO

Podemos distinguir essencialmente duas tecnologias de regeneração completamente diferentes: uma que iremos aqui designar por “tecnologia clássica” e que se encontra de certo modo ultrapassada e a “tecnologia moderna”, mais eficaz e muito menos problemática, em termos ambientais:

### Na “tecnologia clássica” de regeneração:

- A “terra adsorvente” é usada sómente uma única vez, no tratamento do óleo.

- A capacidade de regeneração da “terra adsorvente”, é de cerca de 10 kg de óleo por cada 1 kg de “terra adsorvente”, pelo que, é ainda bastante significativa a quantidade de resíduos gerados no tratamento do óleo dum transformador (cerca de 10% do peso total de óleo tratado).

- Após ser utilizada, a “terra adsorvente” tem que ser retirada e substituída por outra, devendo ser considerada, em termos ambientais, como um resíduo poluente. Isto porque a “terra adsorvente” contém óleo, diversos contaminantes e ainda produtos de degradação, provenientes não só dos isolantes, como também de outros materiais existentes no interior do transformador, produtos esses que ficaram aprisionados na estrutura da “terra adsorvente”.

Por esta razão, são exigidos, para o armazenamento destas “terras adsorventes” já usadas, os cuidados relativos ao armazenamento dum resíduo perigoso.

Por outro lado, na “tecnologia moderna” de regeneração, mais utilizada presentemente para a regeneração de óleos isolantes degradados:

- A “terra adsorvente” é utilizada como enchimento de colunas, (cartuchos ou “cartridges”), que se encontram disponíveis no mercado e através das quais passa o óleo a regenerar.

- Quando a “terra adsorvente” contida nos cartuchos/colunas atinge a saturação, não é necessário efectuar a sua imediata substituição, como no processo “clássico”;

- Após atingir a saturação e perder a sua capacidade de adsorção, tornando-se inactiva, a “terra adsorvente” pode ser reactivada, sem ser retirada das colunas que a contém;

- O processo de reactivação pode ser totalmente automatizado.

- A “terra adsorvente” pode ser reactivada várias centenas de vezes, antes de perder totalmente as suas capacidades. Sómente quando atingir o seu fim de vida útil terá que ser substituída e eliminada.

- Finalmente, após a última reactivação, ou seja, quando a “terra adsorvente” estiver esgotada, esta pode ser desperdiçada, como um material seco e neutro, sem os problemas de contaminação ambiental, existentes no caso do desperdício da “terra adsorvente”, após utilização desta na regeneração do óleo, efectuada pela “tecnologia clássica”.

De referir ainda que, a regeneração do óleo contido no interior dum transformador, efectuada directamente deste, é mais complexa, mas também mais eficaz, que a regeneração de idêntico volume de óleo, contido num reservatório exterior ao transformador – isto porque, no 1º caso, para além da regeneração do óleo, é de certo modo efectuada simultaneamente uma limpeza superficial ao isolamento sólido do transformador, existente no interior deste.

Assim, a “moderna tecnologia” de regeneração, é muito mais eficaz que a “clássica”, que acabou por cair em desuso.

A técnica actual permite portanto a dissolução dos depósitos de lamas existentes na superfície dos isolantes sólidos, do transformador, por meio da circulação do óleo regenerado quente, o qual por sua vez volta a ser regenerado, por passagem através das “cartridges” de regeneração, o número de vezes necessário até se obterem, para o óleo final, as características pretendidas.

Normalmente é exigido para um óleo, após regeneração, características semelhantes às de um óleo novo, à excepção da estabilidade à oxidação, que é muito inferior, facto de que resulta a já referida necessidade de adição de inibidor ao óleo já regenerado (uma vez que, de acordo com o anteriormente referido, tanto os inibidores naturais do óleo, como os artificiais, usados no caso de óleos inibidos, são perdidos durante o tratamento de regeneração).

Assim, os resultados obtidos nos testes recomendados na Norma CEI 60296 [4] realizados no óleo após regeneração e re-inibição, devem obedecer às especificações desta Norma. Finalmente, é de frisar, que a **regeneração não deverá ser sequer considerada como um método de recuperação de óleo degradado, a usar na prática, sempre que a política seja a de não adicionar inibidores artificiais aos óleos** [5].

## 3. CONCLUSÕES

Os métodos de regeneração de óleos isolantes, aqui referidos, permitem de facto uma minimização do impacto ambiental, provocado pelo desperdício de grandes quantidades de óleos degradados, provenientes por exemplo,

da indústria eléctrica. Contudo, a utilização relativamente recente destes métodos de regeneração de óleos, não permite ainda dispor da informação suficiente, para aferir, de forma inequívoca, as reais vantagens e inconvenientes da utilização prática nos transformadores, do óleo regenerado, versus óleo novo, em termos da evolução do estado destes equipamentos, sua fiabilidade, nível de segurança e tempo de vida útil.

É no entanto importante sublinhar, uma vez mais, que **uma das grandes desvantagens do processo de regeneração é eliminar, tanto os inibidores naturais presentes nos óleos não inibidos, como os inibidores artificiais (caso por exemplo do (DBPC) adicionados ao óleo, no caso dos óleos inibidos.**

Por esta razão, após regeneração de um e outro tipo de óleos, (inibidos e não inibidos) **haverá obrigatoriamente que adicionar ao óleo regenerado, um inibidor de oxidação**, numa concentração adequada, para que o óleo regenerado possa vir a ser utilizado, para desempenhar, com uma razoável estabilidade à oxidação, a mesma função, que desempenhava antes da degradação sofrida.

Assim, entre o apregoar de uma panaceia pelos defensores incondicionais da regeneração de óleos isolantes e o exacerbar da importância de alguns dos inconvenientes deste processo, que caracteriza o discurso dos seus mais convincentes detractores, reside a única atitude que consideramos correcta: a avaliação técnica, efectuada caso a caso, de forma adequada e independente, sobre a viabilidade da aplicação deste método de recuperação de óleos. Esta avaliação será baseada por um lado, na informação de tipo experimental, obtida em testes laboratoriais realizados no óleo a regenerar e por outro lado na informação recolhida no acompanhamento de casos práticos, através da execução duma vigilância periódica e sistemática dos transformadores, cujo isolante líquido já foi anteriormente substituído por óleo regenerado.

Esta vigilância deverá ser efectuada, através da caracterização da evolução, ao longo do tempo, do estado desses transformadores com óleo regenerado, realizando sempre que possível, a comparação de tal evolução, com a de transformadores semelhantes, não só em termos de fabrico (projecto e materiais usados na construção) mas também de regime de exploração, mas nos quais tenha sido utilizado óleo novo, em vez de óleo regenerado.

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Norma CEI 60422 – “Mineral insulating oils in electrical equipment- Supervision and maintenance guidance” – Third edition – October, 2005.
- [2] Rocha, A.H. – “On-line reclamation of power transformer insulating oil” – 66<sup>th</sup> Annual International Conference of Doble Clients – April 12-16, Boston, USA, 1999.
- [3] Kelly, J.J. – “On-line reclamation of power transformer insulating oil” Discussion of the Alberto Herreño/Rocha paper – 66<sup>th</sup> Annual International Conference of Doble Clients – April 12-16, Boston, USA, 1999.
- [4] Norma CEI 60296 – “Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear” – Third edition, November 2003.
- [5] Pahlavanpour, Bruce; De Pablo, Alfonso; Tumiatti, Wander; Dahlund, Mats.; Martins, M. Augusta, G. – “Insulating oil reclamation and dechlorination” – CIGRÉ D1.01.12 Report, 2007.