

# ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DO ÓLEO LUBRIFICANTE TIPO TURBINA ANTES E APÓS REGENERAÇÃO

Thiago Zampar Serra (1)  
Eduardo José Cidade Cavalcanti (2)  
João Carlos Sihvenger (3)  
Nora Díaz Mora (4)

## RESUMO

Os óleos lubrificantes devem permanecer estáveis e inalterados por longo tempo, mantendo suas propriedades, dentro dos limites definidos. Sua finalidade é garantir uma lubrificação adequada do equipamento. Em serviço o óleo se deteriora devido à influência de diversos fatores, tais como: a presença de oxigênio, temperaturas e pressões elevadas, umidade, etc. Devido a essa deterioração, devem acontecer falhas ou deficiências na lubrificação, as quais podem levar à: aumento da temperatura de funcionamento da máquina, elevar o nível de desgaste das peças em movimento, deficiência na transferência de forças, incorreta absorção de impactos e aumento da corrosão devido à ação das substâncias agressiva aos metais. Nas atividades rotineiras da manutenção são monitoradas as propriedades do óleo lubrificante através de ensaios físicos e químicos para verificar o teor de água, acidez, viscosidade, espuma, presença de metais, cor, sedimentos, teor de aditivo DBPC - Dibutil Para-Cresol, RBOT - Estabilidade à oxidação por bomba rotatória e demulsibilidade. São os resultados desses ensaios os indicadores da qualidade operativa do óleo lubrificante, sugerindo a necessidade de troca, readitivação ou regeneração. Entretanto, verifica-se que dentre todos os ensaios mencionados acima, o DBPC e o RBOT estão entre os mais relevantes na determinação do grau de oxidação do óleo lubrificante. Neste trabalho é apresentada uma análise comparativa do desempenho do óleo lubrificante tipo turbina antes e após a regeneração com base nos resultados dos ensaios de DBPC (método ASTM D 2668) e RBOT (método ASTM D 2272) acumulados no laboratório de Química da Itaipu Binacional no período de 1998 – 2006. Com estes resultados é avaliado o tempo de vida útil do óleo lubrificante.

---

(1) Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Acadêmico de Engenharia Mecânica.

(2) Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Professor Doutor em Engenharia Mecânica.

(3) Itaipu Binacional - Laboratório de Química, UNIOESTE, Professor de Química Tecnológica

(4) Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Professora Doutora em Engenharia de Materiais.

## 1. INTRODUÇÃO

Os óleos lubrificantes possuem uma vasta aplicação podendo ser utilizado na indústria automotiva, em sistemas hidráulicos, motores estacionários, turbinas e ferramentas de corte. Os óleos devem permanecer estáveis por longos períodos, mantendo suas propriedades e garantindo a lubrificação adequada do equipamento, durante meses ou até por vários anos.

Podem ser de origem animal ou vegetal (óleos graxos), derivados de petróleo (óleos minerais) ou produzidos em laboratório (óleos sintéticos), podendo ainda ser constituído pela mistura de dois ou mais tipos (óleos compostos).

As principais funções dos lubrificantes são: controle do atrito, redução do desgaste, controle da temperatura. Também exerce outras funções como transmissão de força amortecimento de choques, remoção de contaminantes entre outras.

Desta forma, falhas ou deficiências na lubrificação podem acarretar sérias conseqüências, como: aumento da temperatura de funcionamento da máquina em decorrência do atrito; nível de desgaste superior ao normal das peças que estão em constante movimento; deficiência na transferência de forças; aumento da corrosão devido à ação das substâncias agressiva aos metais e incorreta absorção dos impactos, dentre muitas outras.

Para que o óleo lubrificante continue exercendo suas funções corretamente são realizados periodicamente ensaios físicos químicos para verificar sua real condição de trabalho. Os resultados obtidos determinam o estado de deterioração da máquina e seus componentes, revelando possíveis falhas e suas causas ainda não percebidas pela manutenção (PETROBRÁS, 2006).

Assim a importância no monitoramento das propriedades físico-químicas do lubrificante em questão durante o período de serviço, garante as condições corretas de operação, lubrificação e conservação de energia.

Nesse trabalho foi avaliado o tempo de vida dos óleos lubrificantes (dos reguladores de velocidade) das unidades geradoras da UHI, através da variação (queda) de dois ensaios físicos químicos importantes, o DBPC (Dibutil Para-Cresol) e o RBOT (bomba rotatória). Essa análise também poderá auxiliar a equipe de manutenção na tomada de decisão quanto ao destino da carga de óleo lubrificante.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O uso do lubrificante como um meio de diminuir o trabalho requerido no transporte de objetos pesados é conhecido a mais de 4000 anos, como mencionado por (PERSON, 1999).

Os óleos industriais tipo turbina possuem um baixo nível de aditivação e são compostos por aproximadamente 99% de óleos básicos parafínicos e 1% de aditivos. Nas aplicações de maior consumo, como em turbinas, sistemas hidráulicos e engrenagens, os períodos de troca são definidos por limites de degradação ou contaminação (GRANATO, 2002).

Para conferir-lhes certas propriedades especiais ou melhorar algumas já existentes, especialmente quando o lubrificante é submetido a condições severas de trabalho, são adicionados produtos químicos aos óleos lubrificantes, que são denominados aditivos devido a sua utilidade e função (TEXACO, 1992).

O lubrificante pode se deteriorar como resultado de oxidação ou algum outro mecanismo (como craqueamento), tendo como conseqüência a diminuição da habilidade do fluido de lubrificar o contato (BAYER, 1994).

O ensaio físico químico denominado estabilidade à oxidação por bomba rotatória (RBOT) adverte sobre a perda da resistência a oxidação especialmente para óleos utilizados em turbinas. Os resultados desse ensaio ao longo do tempo sofrem um decaimento em seus valores, pois todo óleo dependendo das condições de trabalho, tem uma tendência à oxidação inferindo assim diretamente no tempo de vida útil do óleo lubrificante.

Para aumentar a estabilidade à oxidação do óleo, além dos aditivos naturais provenientes do petróleo, são adicionadas quantidades conhecidas do aditivo Dibutil Para Cresol (inibidor sintético), e que normalmente giram em torno de 0,40 a 0,50% (peso), no caso de óleos tipo turbina.

O inibidor DBPC é determinado através da técnica de espectrofotometria de infravermelho e quantificado através do método ASTM D 2668. Existe uma tendência natural de depleção (consumo) do aditivo ao longo do tempo onde se percebe que os valores iniciais vão reduzindo (limite aceitável superior a 0,1% peso).

Esse consumo de aditivo pode ser explicado pela reação do oxigênio que entra no sistema como contaminante, e antes de reagir com os radicais livres do óleo, reage com o inibidor, com isso preservando o óleo lubrificante, logo, a necessidade de monitoramento para verificação do consumo do aditivo. Quando estiver totalmente consumido, a estabilidade à oxidação do óleo será prejudicada, pois o oxigênio irá reagir diretamente com as moléculas do óleo, formando assim subprodutos de oxidação (ácidos, óxidos, peróxidos, cetonas, etc.), que podem determinar o fim da vida útil do óleo, pois os subprodutos formados podem precipitar na forma de borra, causando entupimento de filtros, mau funcionamento de bombas de circulação, etc, inclusive levando a falhas no equipamento.

As cargas preferenciais a serem regeneradas são aquelas que possuem valores de RBOT < 100 min; Índice de acidez > 0,25 mg KOH/g de óleo (método colorimétrico – ASTM 974) e teor de antioxidante DBPC < 0,1% (SIHVENGER, 2005).

### 3. METODOLOGIA

Foram analisados 360 dados dos ensaios de RBOT e DBPC de nove unidades geradoras (antes e após a regeneração do óleo lubrificante) acumulados no banco de dados do laboratório de química da usina Hidrelétrica de Itaipu.

O óleo lubrificante contido nos mancais e regulador de velocidade, é do tipo turbina, fabricado pela PETROBRÁS com a seguinte denominação: Marbrax TR-50. Este produto foi desenvolvido especialmente para Itaipu, por questões de projeto.

As análises típicas do óleo novo fornecido pela PETROBRÁS são indicadas na tabela (I):

Tabela I: Parâmetros do óleo novo

ANÁLISES TÍPICAS DO ÓLEO MARBRAX TR 50 NOVO		
Densidade 20/4°C	a	0,8711 g/cm <sup>3</sup>
Ponto de Fulgor (VA)		246°C
Ponto de Fluidez		- 18°C
Viscosidade a 40°C		58,8 cSt
Viscosidade 100°C	a	7,82 cSt
Índice de viscosidade		108
Proteção Antiferrugem 48h, 60°C		Passa
Demulsibilidade 54,4°C, 30 min		Passa
Índice de Acidez Total		0,10 mg KOH/g de óleo
Corrosão à lâmina de cobre, 3h, 100°C		1b

O local de tomada do óleo lubrificante para a análise foi no tanque sem pressão do regulador de velocidade de acordo com a figura (I), visto que o óleo do regulador de velocidade é mais exigido quanto à resistência à oxidação por estar submetido a uma pressão de 64bar e por conseqüência tem a tendência de deteriorar-se mais rapidamente que nos mancais, que estão submetidos a uma pressão inferior.



Figura I: Tanque sem pressão RV

Os valores dos ensaios RBOT e DBPC foram ajustados numa função linear definida antes e após a regeneração, para a obtenção do coeficiente angular da reta.

Através da determinação dos coeficientes angular da reta, foram obtidas suas médias e variâncias das unidades analisadas.

O teste t unicaudal verifica se uma média é maior do que a outra, identificando assim, se existe efeito da regeneração sobre o decaimento dos parâmetros avaliados (HINES, 2006).

Este teste foi realizado utilizando o software Microsoft Excel 2000 com opção média t (Student) para verificar se existe uma diferença significativa (confiança de 95% e erro de 5%) na queda dos dois parâmetros para óleos não regenerados e após a regeneração.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo foi conduzido para se prever o tempo de vida útil do óleo lubrificante através da análise de dois ensaios físicos químicos o RBOT e o DBPC.

A análise do coeficiente angular das retas de antes e após a regeneração do ensaio físico químico DBPC foi aplicada a todas as nove unidades que possuía óleo regenerado. Na figura (II) é apresentada essa análise para a unidade geradora 09 na qual, está indicado o comportamento do parâmetro DBPC na abscissa e na ordenada os anos analisados (1998 a 2006). A pressão do óleo no regulador de velocidade é de 64bar, a uma temperatura do óleo em torno de 52°C e com rotação das máquinas de 5,23 RPM (50 Hz) e 6,28 RPM (60Hz).

Após a regeneração do óleo lubrificante observa-se um maior decaimento da reta indicando o efeito da regeneração do óleo. O período de vida do óleo regenerado é sistematicamente menor do que óleo novo, entretanto, o processo de regeneração é ainda a melhor alternativa para o destino da carga de óleo, por motivos econômicos e ambientais.

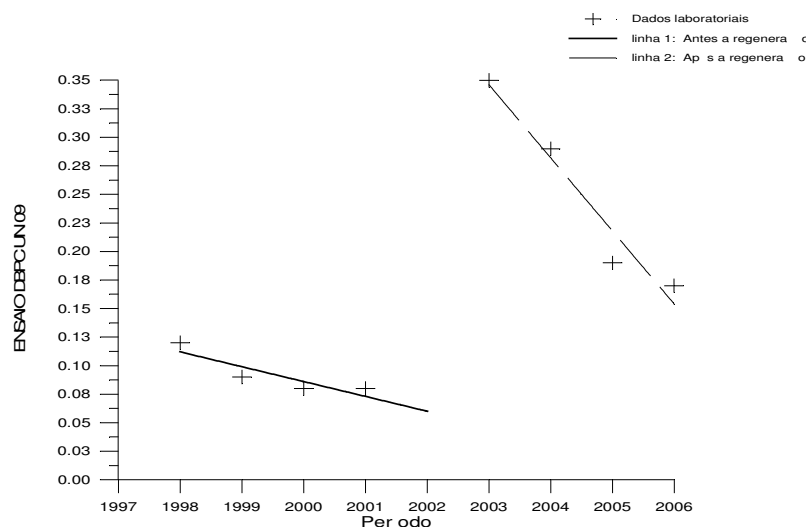


Figura II: Efeito da regeneração no parâmetro DBPC na unidade 09

A utilização do método estatístico para o ensaio DBPC tabela (II) confirma-se, que a média do decaimento do ajuste linear de antes e após a regeneração para esse ensaio não são as mesmas. O valor  $P(1,2 \text{ E-}6)$  é menor que 0,05, confirmando que o decaimento médio do DBPC é maior nos óleos regenerados (0,07322 % ao ano) do que os óleos sem regeneração (0,01122% ao ano).

Tabela II: Teste-t: duas amostras presumindo Variâncias diferentes do ensaio DBPC.

DBPC		
	<i>Antes da regeneração</i>	<i>Após a regeneração</i>
Média % ao ano	-0,01122	-0,07322
Variância	2,194E-05	0,00029244
Observações	9	9
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	9	
Stat t	10,49	
P(T<=t) unicaudal	1,2E-06	
t crítico unicaudal	1,833	

Com os resultados foi possível estimar uma relação de DBPC em função do tempo para o óleo antes e após a regeneração, salientando-se que foi realizada somente uma regeneração, segue abaixo as relações:

antes da regeneração

$$\text{DBPC} = - 0,01122 \times t + \text{DBPC}_i \quad (\text{I})$$

após a regeneração

$$\text{DBPC} = -0,07322 \times t + \text{DBPC}_i \quad (\text{II})$$

Onde:

DBPC é dado em %, t é o intervalo de anos e o subscrito, i, indica valor inicial.

Para o ensaio RBOT os resultados se mantiveram idênticos ao de DBPC figura (III), ou seja, a média de decaimento para o óleo regenerado (25,75 min ao ano) foi maior do que o óleo não regenerado (5,589 min ao ano).

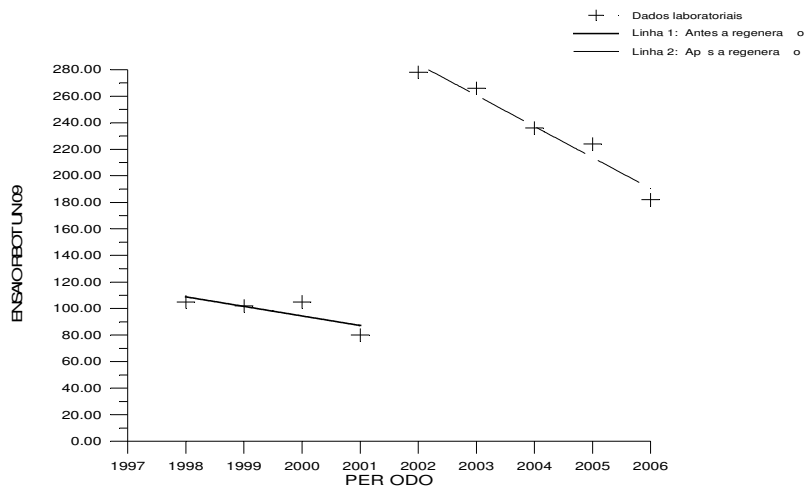


Figura III: Efeito da regeneração no parâmetro RBOT na unidade 09

Nos testes estatísticos, tabela (III), os resultados confirmaram também uma diferença de valores para os dados do ensaio RBOT de antes e após a regeneração.

Tabela III: Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes do ensaio RBOT.

RBOT		
	<i>Antes da regeneração</i>	<i>Após a regeneração</i>
Média % ao ano	-5,588	-25,75
Variância	16,20	25,91
Observações	9	9
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	15	
Stat t	9,322	
P(T<=t) uni-caudal	6,232E-08	
t crítico uni-caudal	1,753	

Através dos resultados foi possível estimar uma relação de RBOT em função do tempo para o óleo antes e após a regeneração, como realizado no DBPC, salientando-se também que foi realizada somente uma regeneração, segue abaixo as relações:

antes da regeneração

$$RBOT = - 5,59 \times t + RBOT_i \quad (III)$$

após a regeneração

$$RBOT = - 25,8 \times t + RBOT_i \quad (IV)$$

Onde:

RBOT é dado em min, t é o intervalo de anos e o subscrito i indica valor inicial.

O comportamento desses parâmetros é semelhante, ou seja, à medida que cai o valor de DBPC, cai também o RBOT. Porém deve-se avaliar a possibilidade de existir outros inibidores naturais, que podem preservar um pouco mais o óleo lubrificante, mesmo que a quantidade de DBPC caia bastante.

## 5. CONCLUSÃO

Através da variação dos parâmetros DBPC e RBOT, foi realizada a análise comparativa do desempenho do óleo lubrificante com o efeito da regeneração, conclui-se:

A taxa de variação dos valores antes e após a regeneração do óleo lubrificante, é diferente, ou seja, existe um efeito da regeneração no desempenho desses dois parâmetros.

As relações propostas de (I) a (IV) podem prever o comportamento desses parâmetros e a vida útil do óleo. Podendo auxiliar a área de manutenção, como uma ferramenta preliminar de previsão das condições operativas ou tempo de vida do óleo lubrificante, na tomada de decisões.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao laboratório de química da Itaipu Binacional pela disponibilização do banco de dados e ao PDTA/PTI da Itaipu Binacional pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PETROBRÁS Distribuidora S.A. Disponível em: <[www.br.com.br](http://www.br.com.br)>. Acesso em 20 nov 2006.

PERSSON, B.N.J. Sliding friction. In: Surface Science Reports 33, p.83-119, 1999.

GRANATO, R.C.; TULIO, L. As vinte dúvidas mais comuns sobre lubrificantes. In: Seminário nacional de manutenção do setor elétrico. Semase, Curitiba, 1998.

TEXACO. Lubrificação. Vol. 78 nº3, 1992.

BAYER, R.G. Mechanical wear prediction and prevention. Marcel Dekker, p. 657, 1994.

SIHVENGER, J.C.; MOREIRA, E. GRANATO, R.C. Experiência da Itaipu na utilização de óleos lubrificantes regenerados. In: XI ERIAC. Comité Nacional Paraguayo del Cigré, Ciudad Del Este, 2005.

HINES, W.W., Probabilidade e estatística na engenharia. LTC, 2006.