

Estudo do Desempenho do Óleo Lubrificante em Pontos Diferentes da Turbina

Eduardo J.C. Cavalcanti¹, Nora D. Mora², Thiago Z. Serra³

^{1 e 2} Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, (UNIOESTE) – Foz do Iguaçu, PR – Brasil.
Caixa Postal 1511 – 85.856-970 – Foz do Iguaçu – PR – Brasil.

³ Estudante de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)
educanti@gmail.com, noradiaz@unioeste.br, thiagomaringa@yahoo.com.br

Abstract. *The properties of the lubricant oil are monitored through physical and chemical tests. The results of these tests indicate the operative quality of the lubricate oil, suggesting the necessity of exchange, readditiving or regeneration. In this work a comparison of the fall of parameters physical - chemical RBOT and DBPC was carried through, in four different points of the hydraulical turbines in the Itaipu Hydroelectric power plant. Each place is submitted the different conditions of pressure and temperature. It was verified if for these ranges of pressure of 9, 5 to 64 bar and temperature of 40 to 48°C of normal operation occurs difference in the performance of the oil indicated for the two parameters.*

Resumo. *As propriedades do óleo lubrificante são monitoradas através de ensaios físicos e químicos. Os resultados desses ensaios indicam a qualidade operativa do óleo lubrificante, sugerindo a necessidade de troca, readitivação ou regeneração. Neste trabalho foi realizada uma comparação da queda dos parâmetros físicos - químicos RBOT e DBPC, em quatro pontos diferentes das turbinas hidráulicas na Usina Hidrelétrica de Itaipu. Cada local está submetido a condições diferentes de pressão e temperatura. Foi verificado se para essas faixas de pressão de 9,5 a 64 bar e de temperatura de 40 a 48°C normal de operação ocorre diferença no desempenho do óleo indicada pelos dois parâmetros.*

1. Introdução

Os óleos lubrificantes representam cerca de 2% dos produtos derivados de petróleo e diferem significativamente dos demais, visto que não são queimados ou destruídos em curto prazo. Os mesmos permanecem estáveis por longos períodos, mantendo suas propriedades e garantindo a lubrificação adequada do equipamento, durante meses ou até mesmo, anos. São formulados a partir dos óleos básicos, puros ou em misturas, complementados por aditivos adequados para melhorar ou conferir determinadas características que são necessárias para inúmeras aplicações, como automotiva, marítima, aviação, industrial, dentre outras.

Sua origem pode ser animal ou vegetal (óleos graxos), derivado 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, a transmissão de força, amortecimento de choques, remoção de contaminantes e 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 agressivas aos metais e incorretas absorções dos impactos.

Além da importância de garantir uma lubrificação adequada, a preocupação com óleos lubrificantes aumenta com a crescente demanda da geração de energia elétrica. Nos países como o Brasil, onde grande parte do potencial elétrico é hidráulico, desenvolvem-se equipamentos geradores de maiores dimensões e também se aumenta o número das usinas hidrelétricas, sendo necessários grandes volumes de óleo lubrificante para o funcionamento adequado desses equipamentos tais como: mancais dos grupos turbina – gerador, sistemas hidráulicos dos reguladores de velocidade e acionamentos hidráulicos das comportas, entre outras. Atualmente existem unidades instaladas na Usina Hidrelétrica de Itaipu que utilizam volume de óleo da grandeza de 100.000 litros. Uma carga desse porte não pode ser substituída rotineiramente como se faz em um automóvel. Espera-se que um grande volume de óleo passe a ser usado em uma máquina de grande porte por mais de 20 anos [MOREIRA 1987].

Com a finalidade de detectar mudanças nas características do óleo lubrificante utilizado nas grandes máquinas geradoras de energia e outros sistemas de uma usina hidrelétrica, é realizado periodicamente o monitoramento do estado desse óleo por meio de ensaios físicos e químicos, tais como: presença de água (ASTM D 1533), viscosidade a 40°C (ASTM D 445) acidez (ASTM D 974), demulsibilidade (ASTM D 1401), espuma (ASTM D 982), RBOT (ASTM D 2272), DBPC (ASTM D 2668), entre outros.

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 realizada um estudo do decaimento dos parâmetros físicos químicos RBOT e DBPC no período de 1998 a 2006 do óleo lubrificante tipo turbina denominado MARBRAX TR 50. Foram comparadas as médias dos decaimentos em quatro pontos diferentes da turbina, onde estavam submetidas a condições diferentes e verificado se existe diferença estatisticamente significativa para esses dois parâmetros avaliados através da análise de variância ANOVA.

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].

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].

Os óleos industriais tipo turbina possuem um baixo nível de aditivação, 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].

A medição e avaliação do desempenho são importantes para diagnosticar e também compreender as causas de problemas relacionados ao desempenho de processos [BUOSI 2003].

O lubrificante pode se deteriorar como resultado de oxidação ou algum outro mecanismo, tendo como consequência a diminuição da habilidade do fluido de lubrificar o contato [BAYER 1994].

Os parâmetros físicos - químicos: RBOT (estabilidade à oxidação por bomba rotatória) avalia a resistência a oxidação dos óleos e o DBPC verifica a concentração do aditivo Dibutil Para Cresol (inibidor sintético) utilizado para aumentar a estabilidade à oxidação do óleo. 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.

MARU (2003) fez uma revisão bibliográfica sobre o desgaste, atrito e a ação do lubrificante para reduzir o desgaste. A pressão, temperatura, velocidade, bem como a compatibilidade química entre o material e as superfícies, podem ser fatores determinantes do grau em que um material pode atuar como lubrificante. Como consequência, em geral, há mais distinção no desempenho do lubrificante se usado em condições mais severas de desgaste e atrito, do que em condições mais moderadas.

3. Metodologia

Foram coletados cerca de 900 dados dos ensaios RBOT e DBPC nos quatro locais das dezoito unidades geradoras da Usina Hidrelétrica de ITAIPU. As coletas foram no tanque sem pressão do regulador de velocidade, mancal combinado, mancal guia superior e mancal guia turbina. As condições de operação nesses locais variam. As condições de temperaturas médias de trabalho são de 48°C para os mancais e 40°C para o regulador de velocidade. Sob condições normais de operação, as pressões são de 64bar para movimentação dos servos motores do regulador de velocidade; 27 para o mancal combinado; de 14,4 Bar para o mancal guia superior e 21 Bar para o mancal guia da turbina. Os pontos coleta de dados estão indicados na figura abaixo.

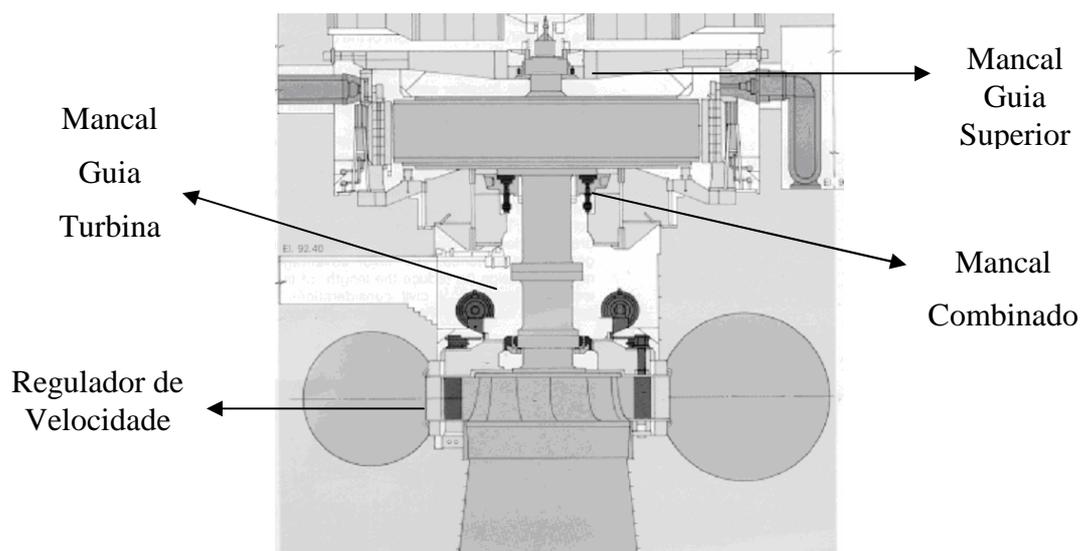


Figura 1: Vista em Corte da Unidade Geradora

É importante ressaltar que nem todo o volume de óleo trabalha sob pressão, porém, em determinados pontos, como entre o eixo e mancal, o filme de óleo pode estar sob pressão, portanto, nem toda carga de óleo está sob pressão.

A rotação nos mancais que comporta o eixo da turbina para as unidades de 50 hz é de 90,09 rpm e para as unidades de 60 hz é de 92,3 rpm. No regulador de velocidade, não existe rotação do óleo, sua função, além de lubrificar, é de transmitir força, o que não acontece nos mancais. Para a transmissão de força, existe um tanque pressurizado pelo ar, que se torna um local de contaminação, acentuando o envelhecimento deste óleo.

Os valores dos ensaios RBOT e DBPC nos quatro pontos foram avaliados ao longo dos anos de 1998 a 2006. Seus comportamentos foram ajustados numa função linear e obtido o coeficiente angular da reta. Outras funções poderiam ter sido ajustadas, mas não se observou uma tendência constante de comportamento, e o pequeno número de dados não permitiu prever outras funções com uma maior precisão.

Através da determinação dos coeficientes angulares (decaimento) desses dois parâmetros foram obtidas suas médias e variâncias das unidades analisadas e foi possível verificar se elas são iguais, ou diferentes entre si, utilizando a análise estatística denominado de ANOVA de um critério (equipamento). Esse método estatístico detecta a diferenças entre mais de dois grupos definidos (quatro equipamentos diferentes), baseados em medições repetidas feitas nos mesmos equipamentos. A ANOVA é um diagnóstico mais eficaz do que o teste de médias, pois reduz a possibilidade do erro nos testes individuais de média.

4. Resultados e Discussões

A análise do desempenho do óleo lubrificante foi executada nos quatro equipamentos da turbina: regulador de velocidade (RV), mancal combinado (MC), mancal guia superior (MGS) e o mancal guia turbina (MGT) que possuem condições diferentes de operação.

Uma comparação do parâmetro DBPC nos quatro equipamentos da unidade 03 está representada na figura abaixo.

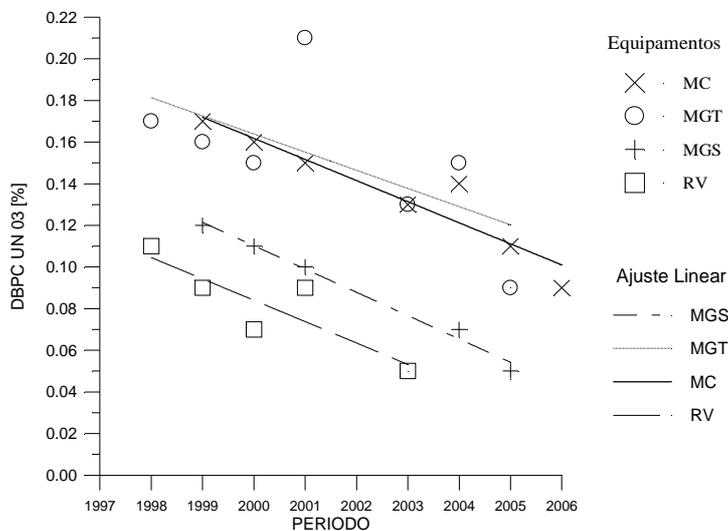


Figura 2: Variação do parâmetro DBPC nos quatro equipamentos

Nesse gráfico está representada a medida do parâmetro DBPC dos quatro equipamentos indicados por símbolos. Os dados de cada equipamento foram ajustados em retas, sendo a pontilhada do MGT, a cheia do MC, a reta traço e ponto do MGS e a tracejada do RV. Através de cada reta, foi obtido seu coeficiente angular.

Na tabela 1 é verificado, a média e o desvio padrão dos coeficientes angulares dos parâmetros DBPC e RBOT para os quatro equipamentos analisados.

Tabela 1: Média dos parâmetros DBPC e RBOT nos equipamentos

	RV		MC		MGT		MGS	
	Média	Desvio padrão						
DBPC	-0,011	0,0044	-0,011	0,002	-0,011	0,0069	-0,016	0,029
RBOT	-5,589	4,025	-3,66	4,331	-7,391	8,277	-3,372	4,55

Na figura 3 é demonstrada a variação dos desvios padrões para o ensaio físico químico RBOT nos equipamentos, sendo o que apresenta o maior desvio padrão é o equipamento mancal guia turbina, e o que apresenta o menor desvio padrão é o mancal combinado.

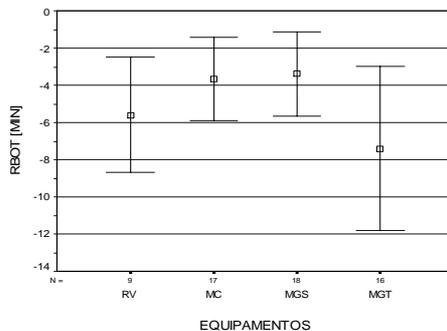


Figura 3: Desvio padrão do RBOT nos quatro equipamentos

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para verificar diferenças das médias de decaimento (coeficiente angular) dos dois parâmetros analisados entre os quatro equipamentos da unidade geradora.

Através dos dados dos resultados dos coeficientes angulares, considerando um valor de significância $\alpha=0,05$ e partindo de que a hipótese nula das médias das populações seja todas iguais foram obtidos os resultados da tabela 2. Como o valor da significância entre os equipamentos no ensaio DBPC $P = 0,737$, supera o valor de α , não se rejeita a hipótese nula de igualdades de médias. Há evidência suficiente para não rejeitar a afirmação de que as médias dos quatro equipamentos provenham de populações com as mesmas médias, evidenciando que o tempo médio de decaimento dos valores do ensaio não está se modificando entre os equipamentos.

Seguindo as mesmas hipóteses para o ensaio físico – químico RBOT o resultado se comportou da mesma maneira que o ensaio DBPC, sendo seu valor de significância $P=0,163$, superando assim o valor de α , não rejeitando também a hipótese nula das igualdades das médias, evidenciando de que não se deve rejeitar a afirmação de que as quatro médias provenham de populações com a mesma média, enfatizando que o tempo médio de decaimento dos valores são iguais entre os equipamentos.

Tabela 2: ANOVA dos ensaios RBOT e DBPC

		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média dos Quadrados	F	Significância
DBPC	Entre os grupos	3,50E-04	3	1,17E-04	0,424	0,737
	Dentre o grupo	1,57E-02	57	2,75E-04		
	Total	1,61E-02	60			
RBOT	Entre os grupos	171,583	3	57,194	1,77	0,163
	Dentre o grupo	1809,381	56	32,31		
	Total	1980,964	59			

Para testar todas as diferenças possíveis entre pares de médias aritméticas considerando todos os equipamentos, foram utilizados testes de múltiplas comparações como os métodos Tukey, Scheffe, LSD e Bonferroni.

A utilização desses métodos comprovou também que a média de decaimento dos ensaios físicos – químicos analisados entre os equipamentos são iguais. Porém somente no método de múltiplas comparações LSD para o RBOT entre os equipamentos MGS e MGT a significancia foi de 0,044 indicando que está numa região de incerteza. Esse fato pode ser justificado pela alta dispersão desse parâmetro o RBOT observado na figura 03.

5. Conclusões

O estudo foi conduzido para se verificar o desempenho do óleo lubrificante tipo turbina em diferentes equipamentos das unidades geradoras da Usina Hidrelétrica de Itaipu nas faixas de operação descritas acima, através da análise de dois ensaios físicos químicos, RBOT e o DBPC.

Para os intervalos de temperaturas e pressões apresentados no presente trabalho, não houve diferença da variação desses dois parâmetros ao longo do tempo para os equipamentos analisados.

Com a média dos coeficientes angulares dos dois parâmetros, pode-se prever o seu comportamento, 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.

Como as dispersões (desvio padrão) da queda dos parâmetros RBOT e DBPC foram elevadas, sugere-se que sejam feitos novos ensaios e avaliem outros parâmetros com menor dispersão para confirmar esses resultados.

6. Agradecimentos

Agradecemos a parceria entre Itaipu Binacional e a UNIOESTE pela disponibilização do banco de dados.

Ao engenheiro João Maria Marra pelas informações técnicas.

Ao PDTA pela bolsa de iniciação científica.

7. Referências

- Moreira, E.(1987) “Lubrificação de Turbinas Hidráulicas: Planejamento e Treinamento”. Escola Federal de Engenharia de Itajubá.
- PERSSON, B.N.J.(1999) “Sliding Friction”. In: Surface Science Reports 33, p.83-119.
- GRANATO, R.C.; TULIO, L.(1998) “As Vinte Dúvidas Mais Comuns Sobre Lubrificantes”. In: Seminário nacional de manutenção do setor elétrico. Semase, Curitiba.
- TEXACO.(1992) “Lubrificação”. Vol. 78 n°3.
- BAYER, R.G. (1994) “Mechanical Wear Prediction and Prevention”. Marcel Dekker, p. 657.
- BUOSI, T. (2003) “Sistemas de Medição de Desempenho: Uma Análise e Proposição de um Roteiro para Sistematização do Processo de Definição de Requisitos”. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo.
- HINES, W.W. (2006) “Probabilidade e estatística na engenharia”. LTC.
- MARU, M.M., “Estudo de desgaste e atrito de um par metálico sob deslizamento lubrificado”. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.