

Relatório Técnico – Testes Comparativos entre Monitor On-line de Umidade MO Treotech e Análise de Teor de Água por Karl Fischer

Marcos E. G. Alves
Treotech Sistemas Digitais Ltda.

1. Introdução

Este Relatório apresenta os dados obtidos com a aplicação de dois Monitores de Umidade MO em uma máquina de secagem de óleo na subestação Tatuí da Elektro. Apresenta também a comparação entre as medições on-line desses equipamentos e as análises de teor de água através do método de Karl Fischer. Para isso, o equipamento de laboratório foi levado à referida subestação no dia 05/04/2007, permitindo a comparação direta entre os resultados on-line e os de laboratório com reduzido risco de contaminação das amostras de óleo.

2. Configuração da Instalação

A configuração da instalação é mostrada na figura 1, onde se observa a máquina de secagem de óleo em linha modelo Zeon acoplada a um transformador de potência 10/12,5MVA 138/13,8kV preenchido com óleo isolante mineral.

O óleo sai do transformador por sua válvula de drenagem inferior, que está conectada à entrada da máquina por meio de tubulação flexível com paredes duplas. Após entrar na máquina, o óleo passa pelo sensor do Monitor de Umidade On-line modelo MO da Treotech, passando em seguida por uma bomba de circulação de óleo e pelos elementos absorvedores, que retêm a água deixando passar o óleo. O fluxo prossegue então para a saída da máquina, onde passa pelo segundo monitor de umidade MO e retorna para o transformador através de uma válvula na parte inferior do tanque conservador.

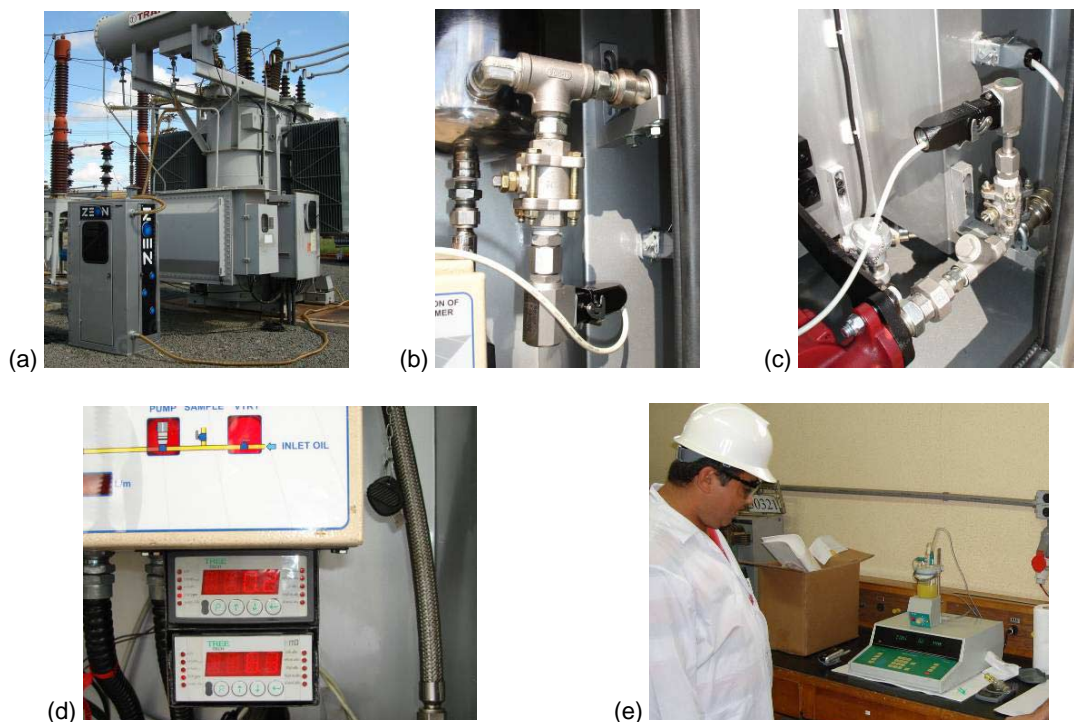


Figura 1 – Configuração da Instalação; (a) Máquina de secagem Zeon; (b) Sensor MO na entrada da máquina; (c) Sensor MO na saída; (d) Módulos de Interface; (e) Medidor de Teor de Água Metrohm.

Por sua vez, os Monitores de Umidade MO 1 e 2 estão conectados a um modem GPRS através de suas portas de comunicação serial RS485, permitindo assim a leitura remota on-line do teor de água no óleo que entra e que sai da máquina de secagem. O acesso remoto permite também o download de dados na memória de massa dos monitores de umidade, tornando possível o acompanhamento da evolução do processo de secagem do óleo e a monitoração do estado dos elementos absorvedores, que devem ser substituídos quando saturados com água.

3. Ensaios Realizados

A configuração descrita acima, com um sensor de umidade recebendo óleo mais úmido na entrada da máquina de secagem, e um sensor na saída, recebendo óleo mais seco, permite que se efetue a comparação das medições on-line com os resultados de laboratório em pelo menos duas diferentes situações de teor de água no óleo.

Para isso, foi instalado em uma oficina da subestação um medidor de teor de água marca Metrohm, do laboratório MGM Diagnósticos Ltda. Dessa forma, as diversas amostras retiradas no fluxo de óleo na entrada e na saída da máquina de secagem eram imediatamente analisadas no equipamento Metrohm, permitindo determinar seus teores de água com baixo risco de contaminação das amostras com umidade devido ao tempo decorrido no transporte.

A seqüência dos testes realizados é mostrada nas tabelas 1 e 2 para os monitores de umidade 1 e 2 respectivamente. Ao final desses ensaios foram retiradas duas amostras de óleo adicionais, ambas na saída da máquina de secagem, onde se encontram os menores teores de água. Uma dessas amostras foi ensaiada no laboratório 3 horas mais tarde no mesmo dia. A outra amostra foi ensaiada 4 dias depois, no dia 09/4. Os teores de água obtidos foram 2,5ppm para a amostra ensaiada no mesmo dia e 2,7ppm e 2,8ppm 4 dias mais tarde.

Tabela 1 – Monitor de Umidade MO 1

Hora	Laboratório (ppm)	MO (ppm)	Temperatura do Óleo (°C)	MO (RS%)	Amostra Nº	Observações
10:15	2,1	0,4	26,8	0,5	1	Amostra retirada na saída da máquina, em seu interior
10:19	2,3	0,4	26,8	0,5	1	
10:37	Sensor deslocado 10mm, afastando do fluxo de óleo					
10:52		0,6	31,4	0,7		
10:52	Sensor deslocado 20mm, afastando do fluxo de óleo					
11:02		0,5	31,6	0,3		
11:03	Retornado sensor à posição original					
11:05	1,9	0,3	32,4	0,3	3	Amostra da saída da máquina, no tanque de expansão
11:07	1,9	0,3	32,4	0,3	3	
11:27	Desligada bomba de óleo					
11:27		0,2	32	0,2		
11:34		0,3	31,8	0,3		
11:46		0,6	31	0,7		
11:47	Religada bomba de óleo					
11:47		0,6	31,2	0,7		
11:50		0,3	32	0,3		
13:40		0,3	39,1	0,3		
13:53	Sensor movido para a entrada da máquina de secagem					
13:55		8	38,7	7		
13:57		8	38,6	6,8		
14:00		7,8	38,4	7		

Tabela 2 – Monitor de Umidade MO 2

Hora	Laboratório (ppm)	MO (ppm)	Temperatura do Óleo (°C)	MO (RS%)	Amostra Nº	Observações
10:30	8,8	6,4	33,7	6,7	2	Amostra da entrada da máquina, na saída do transformador
10:32	8,8	6,4	33,7	6,7	2	
11:20	7,3	6,5			4	Amostra da entrada da máquina, na saída do transformador
11:22	8,3	6,5			4	
11:25	8,7	6,5			4	
11:27	Desligada bomba de óleo					
11:27		6,5				
11:34		7,5	32,4			
11:46		7,6	31			
11:47	Religada bomba de óleo					
11:47		7	33,3			
11:50		6,9				
13:40		7	38,7	6,1		
13:53	Sensor movido para a saída da máquina de secagem					
13:55		2,7	38,1	1,9		
13:57		1	37,9	0,8		
14:00		0,4	37,5	0,3		

4. Análise dos Resultados

4.1 Repetibilidade e Estabilidade das Medições

O gráfico da figura 2 permite a comparação visual entre as medições on-line ao longo dos ensaios e os resultados obtidos pelo método de Karl Fischer. Neste gráfico se observa uma boa correlação entre ambos os métodos.

Também a repetibilidade das medições é comprovada através da inversão dos sensores, quando o sensor originalmente localizado na entrada da máquina (óleo mais úmido) foi mudado para a saída (óleo mais seco) e vice-versa.

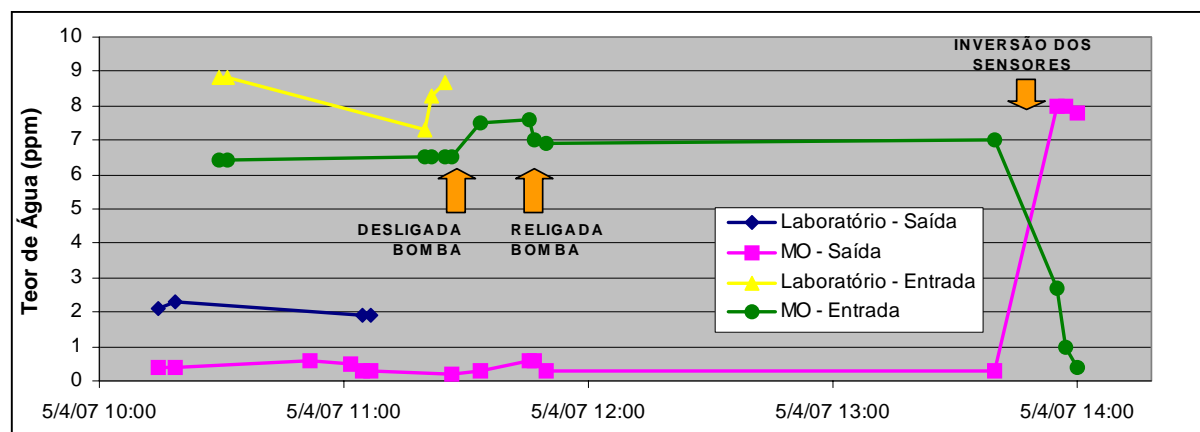


Figura 2 – Medições de Teor de Água On-line e de Laboratório

A partir do gráfico da figura 2 pode-se concluir que a medição On-line apresentou grande estabilidade, pois não foi influenciada por fatores relacionados à retirada, manuseio e processamento de amostras, como ocorre com as medições em laboratório. Este fato pode ser constatado

observando-se que, enquanto as medições on-line na entrada da máquina permaneceram estáveis em torno de 6,5ppm das 10:30h às 11:30h, as medições de laboratório apresentaram variação de até 1,5ppm, iniciando com 8,8, reduzindo para 7,3 e retornando a 8,7ppm.

4.2 Tempo de resposta do sensor de umidade On-Line

A inversão dos sensores efetuada durante os testes permitiu quantificar o tempo de resposta dos sensores on-line a uma mudança em degrau no teor de água. Tomando as medições do sensor que foi movido da entrada (maior teor de água) para a saída da máquina (menor teor de água), observa-se que a medição excursionou de seu valor inicial de 7ppm às 13:53h até o valor final de 0,4ppm às 14:00h.

Com isso, o sensor respondeu completamente ao degrau de mudança no teor de água em aproximadamente 7 minutos, inferior, portanto, ao seu tempo de resposta nominal de 15 minutos.

4.3 Influência do tempo decorrido após amostragem nas medições de laboratório

As medições de teor de água nas amostras transportadas para análise posterior no laboratório não demonstraram variação significativa em relação às medições realizadas com o mesmo equipamento na subestação, tanto para a análise realizada no mesmo dia quanto após 4 dias.

Esse resultado confirma que, uma vez que o processo de amostragem seja realizado corretamente e com equipamento adequado, as amostras podem ser transportadas e armazenadas durante alguns dias sem alterações nos resultados.

4.4 Influência do Fluxo de Óleo nas Medições On-line

A influência da velocidade do fluxo de óleo nas medições on-line foi verificada desligando e religando a bomba de óleo. O resultado pode ser observado no gráfico da figura 2, onde se verifica uma elevação de 1ppm na medição on-line da entrada da máquina quando a bomba é desligada, e uma redução de 0,5ppm ao ser restabelecido o fluxo de óleo. A pequena magnitude das alterações contatadas indica que o efeito do fluxo de óleo nas medições pode ser desconsiderado, embora seja possível eliminá-lo completamente pela inclusão de um anteparo no conjunto sensor.

Na saída da máquina, com teor de água reduzido, a influência do fluxo na medição foi ainda menor, da ordem de 0,3ppm.

4.5 Comparação entre Medições On-line e de Laboratório

As comparações entre as medições on-line e de laboratório, considerando os limites de erro de cada processo – $\pm 1,7$ ppm a 30°C para a medição on-line e ± 2 ppm para a medição de laboratório – são mostradas nos gráficos da figura 3 para a entrada e saída da máquina de secagem. As linhas tracejadas acima e abaixo de cada medição indicam, respectivamente, os valores de tolerância superior e inferior da medição, obtidos somando e subtraindo à medição o seu limite de erro.

Nestes gráficos se observa visualmente a existência de uma grande área de intersecção entre as medições on-line e as de laboratório. Tanto na saída como na entrada da máquina de secagem o limite de tolerância superior da medição on-line chega a atingir a medição de laboratório, e o limite de tolerância inferior da medição de laboratório chega a atingir a medição on-line. Fica comprovado, portanto, que as diferenças verificadas entre as medições on-line e de laboratório não ultrapassam os limites de erro de ambos os métodos.

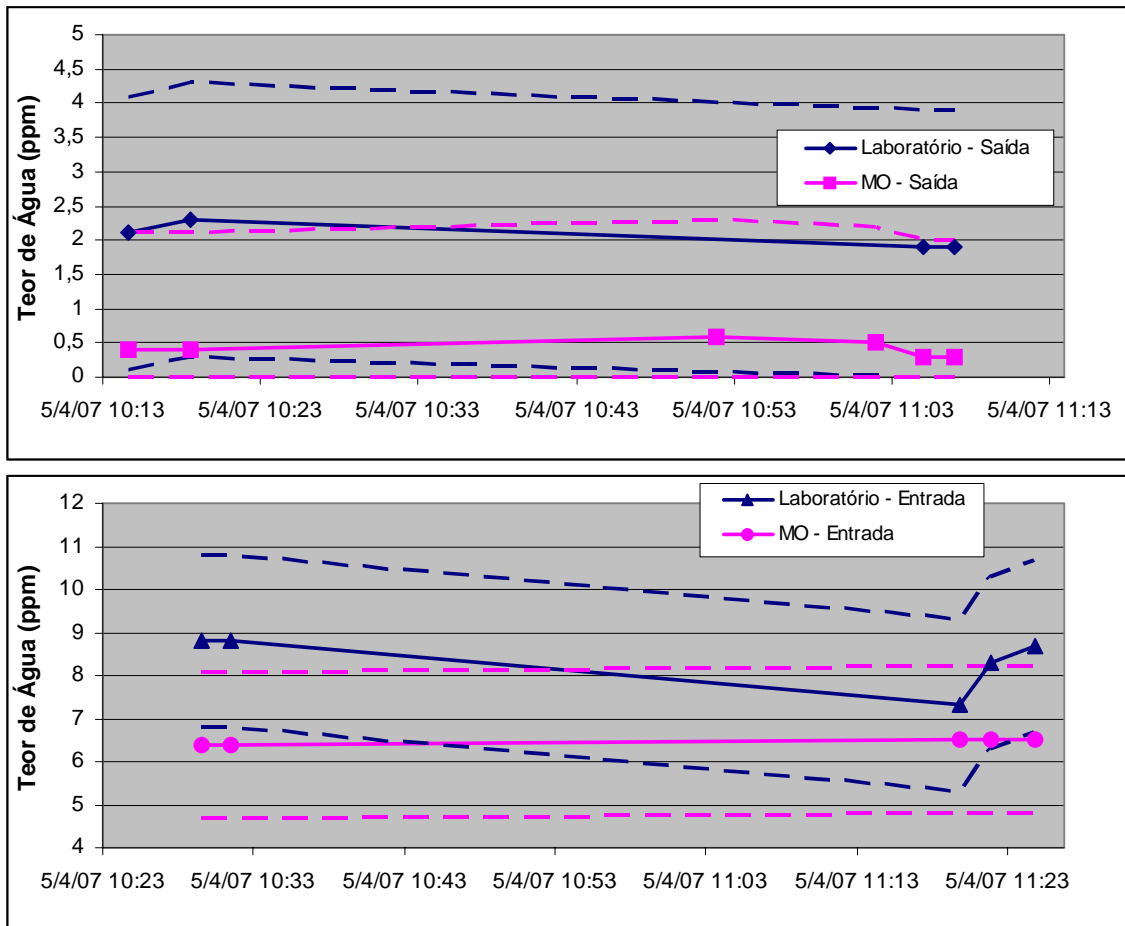


Figura 3 – Tolerâncias superior e inferior das medições de teor de água On-line e de Laboratório

4.6 Correlação entre Medições On-line e de Laboratório

A correlação entre os dois métodos de medição pode ser mais facilmente visualizada a partir do gráfico da figura 4, no qual são mostradas as medições on-line (eixo vertical) em função das medições em laboratório (eixo horizontal).

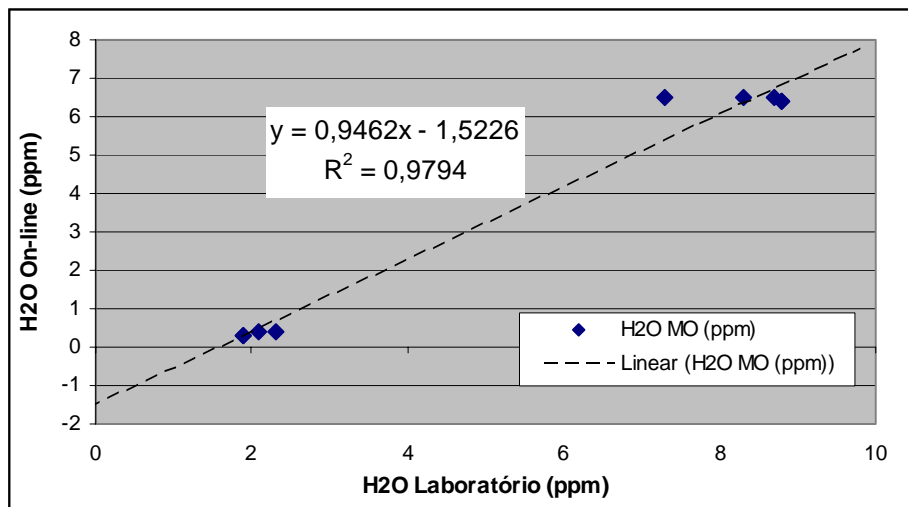


Figura 4 – Medições de teor de água On-line em função das medições de Laboratório

Foi determinada, através dos mínimos quadrados, a equação que melhor relaciona os dados de medições dos dois métodos, considerando-se uma relação de 1º grau:

$$(H_2O \text{ On-line}) = 0,9462 \cdot (H_2O \text{ Laboratório}) - 1,5226$$

A partir desta equação, mostrada em linha tracejada no gráfico da figura 4, constata-se, assumindo que as medições de laboratório correspondem à realidade do teor de água presente no óleo:

- 1) A medição On-line responde às variações do teor de água no óleo de forma praticamente ideal, como demonstra o fator de proporcionalidade muito próximo de um (0,9462).
- 2) A medição On-line apresentou um deslocamento (off-set) de aproximadamente 1,5ppm em relação ao teor de água da amostra, como mostra a constante independente da equação (-1,5226).

A partir dessas duas constantes, constata-se que a diferença anteriormente observada entre as medições on-line e de laboratório, embora dentro das faixas de tolerância de ambos os métodos, é causada principalmente por um erro de deslocamento (off-set), da ordem de 1,5ppm.

Embora a diferença entre as medições de laboratório e on-line encontre-se dentro dos limites de erro dos dois métodos, e a resposta às variações no teor de água no óleo não sejam afetadas por esse deslocamento, o mesmo pode ser compensado, se desejado, com pequenas alterações no ajuste de off-set do monitor de umidade on-line.

Para testar esse tipo de ajuste, o mesmo foi efetuado após a finalização dos testes, alterando-se o parâmetro off-set do sensor da entrada da máquina de 0,785 para 0,738 e o da saída de 0,797 para 0,750. Com isso, as medições on-line se alteraram para 9,6ppm e 1,5ppm respectivamente, mais próximas dos valores obtidos com o equipamento de laboratório.

5. Conclusões

Os resultados dos ensaios descritos permitem as seguintes conclusões:

- O monitor de umidade on-line MO é capaz de indicar de forma eficaz a ocorrência de alterações na umidade do óleo, visto que responde às variações do teor de água no óleo de forma praticamente ideal, ou seja, com fator de proporcionalidade muito próximo de 1 (um).
- A boa resposta a variações no teor de água do óleo foi comprovada também a partir de testes com a mudança do sensor da entrada da máquina para a saída e vice-versa, provocando assim mudanças em degrau nos teores de água no óleo.
- O teste de troca de posição dos sensores demonstrou também a repetibilidade das medições on-line, que não sofreram alterações significativas mesmo após a troca dos sensores.
- Através do teste de troca de posição dos sensores foi verificado também o tempo de resposta a variações no teor de água, encontrado da ordem de 7 minutos.
- A comparação entre as medições on-line e de laboratório demonstrou que as diferenças observadas não ultrapassam os limites de erro de ambos os métodos.
- Através da correlação entre as medições on-line e de laboratório constatou-se que a diferença entre ambas é causada principalmente por um erro de deslocamento (off-set), da ordem de 1,5ppm.
- Embora a diferença entre as medições de laboratório e on-line encontre-se dentro dos limites de erro dos dois métodos, e a resposta às variações no teor de água no óleo não sejam

afetadas por esse deslocamento, o mesmo pode ser compensado com pequenas alterações no ajuste de off-set do monitor de umidade on-line.

Agradecimentos

A realização dos testes e a elaboração desse relatório somente foram possíveis com a colaboração de diversas pessoas e empresas. Nossos agradecimentos à:

- Elektro Serviços de Eletricidade S.A. – Eng^{os}. José Daniel Eurico, Adriano Cabrino e equipe regional de Tatuí, pelo suporte para a realização dos testes durante o processo de secagem de um dos transformadores da SE Tatuí.
- MGM Diagnósticos – Eng^o. Cláudio Galdeano, pelo suporte e consultoria técnica em todo o processo e pela cessão do equipamento de medição de teor de água no óleo e do técnico para a realização das análises em campo.
- Eng^o. Henrique Hossri - pelo suporte e consultoria técnica em todo o processo e auxílio na retirada de amostras de óleo e manuseio dos sensores.