



DYNAMIC PERFORMANCE TESTS OF TELEMETERING INSTRUMENTS

Alcir de Faro Orlando

PUC-Rio, Rua Marquês de S. Vicente 225, Rio de Janeiro, e-mail afo@mec.puc-rio.br

Roberto Furini Filho

SERMAT II / PETROBRAS, R. República do Chile 65, RJ, e-mail furini@petrobras.com.br

Moisés Szwarcman

PUC-Rio, Rua Marquês de S. Vicente 225, Rio de Janeiro, e-mail moises@ele.puc-rio.br

Resumo. *Instrumentos de telemedição, usados para medir a posição das interfaces óleo-ar e óleo-água em reservatórios de armazenamento de óleo têm sido testados em um laboratório, que foi especialmente desenvolvido para testes dinâmicos na PUC-Rio. A maioria das normas disponíveis para testes, como a OIML R 85, objetiva a determinação do desempenho do instrumento apenas, sem levar em consideração o efeito da movimentação do líquido na vizinhança da interface líquida sobre o resultado. Três (3) instrumentos do tipo servo atuado e quatro (4) do tipo radar, foram testados durante um período de cerca de dois (2) meses, numa operação contínua, determinando a repetitividade, exatidão e a deriva da calibração no mesmo período, para as duas interfaces. O trabalho descreve o equipamento experimental, o procedimento de teste e os resultados do desempenho, detalhando o procedimento de cálculo de incerteza, comparando os resultados com os valores requeridos pelo padrão, e as características de medida de cada tipo de equipamento.*

Palavras-chave : *Telemedição, Medição de Nível, Medição de Interface*

1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Teste de Equipamentos (LEQUIP) da PUC-Rio foi criado por solicitação do SERMAT / PETROBRAS, que o financiou, para fornecer subsídios à decisão de aquisição de equipamentos de Telemedição de Nível e Interface em Reservatórios de Armazenamento de Óleo, dentre os vários disponíveis no mercado à PETROBRAS.

O procedimento de teste, denominado PROCEDIMENTO PADRÃO PETROBRAS, foi elaborado conjuntamente entre o SERMAT e a PUC-Rio para atender os interesses da PETROBRAS, visando a obtenção de informações sobre o desempenho dos equipamentos em teste. Este procedimento, com pequenos aperfeiçoamentos, têm sido utilizados em todos os sete (7) testes realizados no LEQUIP.

Os laboratórios da PUC-Rio têm uma tradição metrológica grande, com sete (7) laboratórios credenciados à Rede Brasileira de Calibração, onde o respeito às normas aprovadas e utilizadas, juntamente com a transparência dos testes, são importantes para imputar uma credibilidade da PUC-Rio junto a seus clientes, neutralidade nas opiniões emitidas e confidencialidade das informações, pois são realizados testes para diferentes empresas competidoras entre si.

Testes de Telemedição de Nível e Interface em Reservatórios de Armazenamento de Óleo têm sido feitos no exterior por vários laboratórios, seguindo normas disponíveis como a OIML R 85. Nesta última, um elemento que sente a presença da superfície líquida é instalado, de forma que a influência de vórtices, correntes, turbulência, espuma, aquecimento assimétrico, vento e outros

efeitos de detecção de nível do líquido sejam desprezíveis. Assim, apenas as características metrológicas do instrumento de medição são obtidas, sem levar em consideração as condições hidrodinâmicas da interface líquido-líquido ou líquido-gás, resultando na menor incerteza possível de medição do nível da superfície líquida.

Por solicitação da PETROBRAS, foi projetado um sistema que melhor simulasse as características metrológicas de um instrumento de medição de nível da superfície líquida durante um processo de enchimento ou esvaziamento de um reservatório de armazenamento de óleo. Assim, os efeitos hidrodinâmicos na superfície líquida podem ser levados em consideração, gerando informações sobre a capacidade de medição do instrumento em condições dinâmicas (curta duração) e estáticas (longa duração), onde as perturbações na superfície líquida são amortecidas com o tempo. As incertezas de medição, neste caso, são maiores do que as obtidas pela norma OIML R 85.

Para padronização dos testes, foram estabelecidas condições de movimentação de fluido que produzissem a menor perturbação possível, supostamente menor do que a que seria encontrada no campo, e caracterizada por uma velocidade de deslocamento vertical de cerca de 0,7 mm/s. Mais ainda, óleo diesel com viscosidade dinâmica de cerca de $8 \text{ mm}^2 / \text{s}$ foi usado para simular a interface óleo-água. O teste foi realizado para todos os equipamentos, esperando-se um intervalo de tempo de 20 s para medição do nível (óleo-ar), e 2,5 min para medição da interface (óleo-água), para amortecimento das perturbações provenientes da movimentação do fluido. O teste é portanto rigorosamente válido para estas condições.

Com a velocidade vertical da massa de fluido, especificada em 0,7 mm/s, cada ponto ao longo da altura da torre pode ser medido cerca de duas vezes por dia em subida, e duas vezes por dia em descida. Para 40 dias úteis de teste, foi decidido que o PROCEDIMENTO PADRÃO PETROBRAS deveria requerer um mínimo de 80 medições por ponto ao longo da duração do mesmo.

O sistema de medição desenvolvido utiliza chaves eletrônicas do tipo LASER para desligar a bomba de deslocamento do fluido e iniciar o processo de medição com o equipamento em teste. Os valores de nível do padrão, correspondentes à cada parada da bomba, tanto em subida, como em descida, são exaustivamente medidos ao longo da duração de todo o teste, em média uma vez por semana para cada ponto (4 em subida, 4 em descida), totalizando com as repetições 30 medições por ponto. Este procedimento garante que os padrões do LEQUIP não mudam ao longo do teste, o que foi demonstrado por uma incerteza expandida máxima ($k=2$) de $\pm 0,35 \text{ mm}$, para NIVEL, e $\pm 0,61 \text{ mm}$, para INTERFACE. Assim, os valores do padrão e de sua incerteza só estão disponíveis no final dos testes. Aliás, segundo o PROCEDIMENTO PADRÃO PETROBRAS, o equipamento a ser testado deve ser instalado pelo cliente segundo seus padrões, sem conhecimento prévio dos valores do padrão. Os valores de correção, de repetitividade e de deriva são fornecidos pelo LEQUIP ao final do teste.

Segundo a norma OIML R 85, o equipamento de Telemedição de Nível e Interface em Reservatórios de Armazenamento de Óleo, deste teste, é classificado segundo sua exatidão como Classe 2, com *erro máximo permitido* de $\pm 2 \text{ mm}$. Mesmo considerando o fato de estar sendo incluído no teste o efeito da movimentação do fluido nas vizinhanças da superfície de separação líquido-gás (o que aumenta a incerteza de medição do instrumento), os valores máximos de incerteza apresentados neste relatório são inferiores aos valores de norma para alguns equipamentos, colocando-os na classe em questão. Os testes solicitados seguem o PROCEDIMENTO PADRÃO PETROBRAS e não outras normas disponíveis, como a OIML R 85. Assim, para a finalidade de análise do desempenho, para aquisição de equipamentos pela PETROBRAS, todas as informações obtidas durante a realização do teste devem ser apresentadas.

2. BANCADA DE TESTES

2.1. Descrição

2.1.1. Reservatórios para o teste

Duas torres, cada uma com 5m de altura e área transversal de 1,5m por 1,5m, perfazendo um volume de 11,25 m³, cada uma, foram construídas para simular em escala um reservatório de armazenamento de óleo. Elas são preenchidas com água, tendo em sua parte superior uma camada de óleo Diesel (viscosidade dinâmica medida de cerca de 8 mm²/s a 20 °C) com cerca de 30cm de espessura. Devido a sua imiscibilidade com a água, esta camada se desloca verticalmente na torre sempre acima do nível da água em escoamento. Podem ser identificadas claramente, portanto, duas superfícies de separação de fluidos. A primeira, doravante chamada de NÍVEL, separa o óleo do ar. A segunda, doravante chamada de INTERFACE, separa o óleo da água. O equipamento sob teste é colocado em sua parte superior. As torres têm suas paredes laterais em acrílico para visualização do escoamento e do movimento dos sensores do equipamento sob teste, durante o processo de medição da INTERFACE e do NÍVEL. Estas paredes são reforçadas por uma estrutura de aço em X, para compensar a baixa resistência do acrílico aos esforços de tração e compressão. Tanto a resistência da estrutura de aço como a do acrílico foram testadas nos Laboratórios da PUC-Rio para o fornecimento de elementos de projeto das torres. Mais ainda, um sistema detalhado de montagem das mesmas foi conduzido para impedir o vazamento de água durante a condução dos testes. Os procedimentos e os critérios de projeto estão apresentados por Furini (1998).

2.1.2. Bombeamento

Interligando as duas torres, uma bomba de parafuso movimentada a água de uma torre para a outra, com uma vazão de cerca de 6 m³/h. Durante a operação, um cuidado deve ser tomado para evitar que a camada de óleo Diesel passe pela bomba em direção a outra torre, pois nesse caso, devido à sua menor densidade em relação à água, ele iria se difundir pela água nesta torre e se colocar na camada de óleo Diesel em sua parte superior, aumentando sua espessura e diminuindo a da outra. Assim, somente a água deve passar pela bomba. A vantagem de se usar duas torres interligadas por uma bomba é que a mesma quantidade de água poderá ser utilizada durante os testes, e dois equipamentos podem ser testados ao mesmo tempo, um em cada torre. Neste caso, deverá haver uma reversão periódica do fluxo de água, o que simula a operação de enchimento e esvaziamento dos reservatórios de armazenamento de óleo.

2.1.3. Filtro

Devido ao fato que a mesma quantidade de água deverá ser utilizada ao longo do teste, existe necessidade de se instalar um filtro de areia após a bomba e antes da entrada nas torres, para reter a sujeira que se incorpora à água nas mesmas, que são abertas ao exterior. Esta sujeira é depositada nas paredes das torres, passando para água em escoamento.

2.1.4. Reversão periódica do fluxo de água

A reversão periódica do fluxo de água nas torres é feita por um sistema de 4 válvulas solenoides com acionamento pneumático (ar comprimido), mantendo a bomba com o mesmo sentido de bombeamento. Abrindo duas válvulas e fechando duas é possível direcionar o fluxo de uma torre para a outra, e vice-versa. Esta reversão é comandada por um sistema de controle e de aquisição de dados, quando o nível em uma das torres chega ao seu ponto mínimo. Assim, os instrumentos sob teste poderão ser submetidos ciclicamente a testes de desempenho, quando o escoamento se desloca verticalmente para cima (SUBIDA) ou quando se desloca verticalmente para baixo (DESCIDA), situações correspondentes, respectivamente, ao enchimento e ao esvaziamento do reservatório de armazenamento de óleo.

2.1.5. Aquecimento da água

Um aquecedor colocado após o filtro, antes de entrar na torre, recupera a temperatura do fluido que terá sido reduzida devido à transferência de calor para o meio ambiente.

2.1.6. Aquecimento da unidade de comando do equipamento

A bancada tem uma unidade de aquecimento do comando do equipamento para que seja estudada a degradação de sua indicação em ambientes hostis com elevada temperatura ambiente.

2.2. Sistema de medição

2.2.1. Objetivos dos testes

Os testes têm como objetivo verificar se o instrumento de medição de NIVEL e INTERFACE do fabricante indica valores repetitivos de altura para cada superfície de separação de fluidos, determinar a sua incerteza de medição, e verificar se existe uma degradação do seu desempenho após um dado número de ciclos de medição a que o medidor está sendo submetido. As medições de altura pelo instrumento foram feitas em cada torre em situações deslocamento do fluido verticalmente para cima (SUBIDA) e verticalmente para baixo (DESCIDA). A habilidade do instrumento em se afastar de um dado ponto de medição e voltar a medi-lo com repetitividade foi determinada pela introdução de ciclos de deslocamento do fluido através das torres, simulando o enchimento e o esvaziamento dos reservatórios de armazenamento de óleo. Também foi verificada a calibração do instrumento, comparando-se o valor indicado pelo mesmo com o do padrão, em vários pontos ao longo da altura, na faixa de realização dos testes na bancada.

Outro objetivo dos testes foi determinar se as temperaturas indicadas pelo instrumento correspondiam aos valores do padrão, colocado em sua proximidade, ao longo da altura na faixa de realização dos testes na bancada, nas mesmas condições dinâmicas de medição do NIVEL e da INTERFACE.

Os termos metrológicos usados nesta análise são recomendados pelo VIM (1995).

2.2.2. Padrão de medição da altura

Para maior confiabilidade de medição do NIVEL e da INTERFACE, foi decidido que as medições seriam feitas estaticamente, parando-se o escoamento em determinados pontos ao longo da altura, e esperando-se um tempo suficientemente longo para que toda a massa de fluido ficasse praticamente em repouso, minimizando-se portanto o efeito de sua movimentação sobre a medição. Para isto, foi desenvolvido um sistema de detecção da passagem de uma superfície de fluido por uma determinada posição, observando-se a variação da intensidade de potência luminosa de uma radiação altamente colimada (LASER) sentida por um detector, provocada pela refração do feixe luminoso interceptado pela superfície de fluido. Ajustes foram feitos no sistema para que uma variação muito pequena do ângulo de refração resultasse numa variação grande da resposta do detector, caracterizando praticamente uma mudança de estado 1/0, e diminuindo consideravelmente a incerteza de medição. Na qualificação do sistema, feita no laboratório, para as superfícies de separação de fluido óleo/ar (NIVEL) e óleo/água (INTERFACE) uma repetitividade melhor do que $\pm 0,1$ mm foi conseguida. Na bancada de testes, valores um pouco maiores foram obtidos devidos aos efeitos da movimentação do fluido. A alimentação do circuito eletrônico do sistema (cerca de 24 V) foi feita com uma fonte estável HP 3611A. A descrição do sistema e os testes de repetitividade são apresentados por Furini (1998) e Furini & Orlando (1999). Neste processo, o comando para cortar o suprimento de energia ao sistema de bombeamento de fluidos, provocando a passagem ao repouso da massa líquida, foi dado por um sistema de aquisição de dados HP 1313A, integrante do sistema HP 75000 Serie B, a partir do sinal lido de resposta do detector, usando-se uma programação incorporada ao *software* LABVIEW.

A distância entre as superfícies de fluido, entre os 5 pontos escolhidos ao longo da altura, foi medida pela combinação de um Paquímetro MITUTOYO com faixa de 1m e incerteza de medição de $\pm 0,05$ mm para grandes distâncias, e de um micrômetro MITUTOYO com incerteza de $\pm 0,01$ mm, para distâncias menores do que 50 mm. Os dois instrumentos foram calibrados no Laboratório Dimensional da PUC-Rio, credenciado pela Rede Brasileira de Calibração.

2.2.3 Padrão de medição de temperatura

Dez termômetros de resistência de platina, tipo PT100, foram distribuídos em cada torre ao longo da altura de realização dos testes na bancada, na proximidade dos sensores do equipamento sob teste do fabricante. Eles foram calibrados no Laboratório de Pressão e Temperatura da PUC-Rio, com incertezas estimadas de $\pm 0,05$ °C. Os valores de resistência foram lidos pelo sistema de aquisição de dados HP 1313A, integrante do sistema HP 75000 Serie B, a partir do sinal lido de resposta do detector, usando-se uma programação incorporada ao *software* LABVIEW. Uma calibração dos termômetros na bancada, incluindo a ligação entre o mesmo e o sistema de aquisição de dados, feita, levando-se em consideração a incerteza de medição do mesmo, resultando num incerteza total estimada de $\pm 0,25$ °C.

2.2.4. Aquisição de dados

Conforme explicitado anteriormente, um sistema de aquisição de dados HP 1313A, integrante do sistema HP 75000 Serie B, usando-se uma programação incorporada ao *software* LABVIEW foi usado para ler os dados e comandar a bancada de testes.

2.3. Qualificação da Bancada

O sistema de detecção de NIVEL e INTERFACE foi usado para trazer, durante os testes, a massa de fluido ao repouso e assim medir com o instrumento sob teste a posição das superfícies de separação de fluidos. Seu valor verdadeiro foi medido ao longo do período de testes (2 meses) em várias ocasiões, e assim garantir que seu valor não havia mudado, determinando ao mesmo tempo a repetitividade das medições e sua incerteza.

Conforme já detalhado anteriormente, as distâncias entre a superfície de fluido e uma referência especificada foram medidas no laboratório em posição estática, após um longo tempo de estabilização, com uma incerteza melhor do que $\pm 0,1$ mm. Durante o período de qualificação da bancada, entretanto, foi observado que a movimentação do fluido durante os testes poderia influir na posição de repouso da massa fluida, comandada pela interceptação do feixe luminoso (LASER) pela superfície líquida. Irregularidades no formato da superfície de separação de líquidos, suposta plana, provocadas por ondas e pela tensão superficial nas proximidades da parede, poderiam resultar em posições de repouso ligeiramente diferentes dos valores medidos estaticamente, após um longo período de estabilização, considerado inviável para a condução dos testes. Assim, foi decidido incorporar aos valores médios da posição e de sua incerteza o efeito da variação provocada pela movimentação do fluido. Isto foi feito parando o escoamento várias vezes e medindo a dispersão de valores, considerada como tendo uma distribuição gaussiana de probabilidade.

O sistema de medição é composto de 5 (cinco) recipientes (denominados de CAIXAS) fabricados em acrílico, distribuídos ao longo da altura de cada torre, e fixados numa estrutura independente das mesmas para eliminar a influência da deformação de suas paredes sobre a medição. Estes recipientes foram ligados às torres por tubulações flexíveis, resultando num sistema de vasos comunicantes. Em repouso, o nível da superfície fluida era o mesmo nas torres e nos recipientes. Em movimento, existia uma defasagem vertical de posição, diferente na SUBIDA e na DESCIDA. Ao cessar o escoamento, a posição da superfície fluida nas CAIXAS se igualava rapidamente (em 5 segundos) com a das torres. Portanto, a posição da superfície de separação de líquidos no instante do comando para cessar o escoamento, provocado pela interceptação do feixe

luminoso (colocado nas CAIXAS) pela mesma, era diferente da de repouso. Uma análise da relação entre os volumes de líquido nas torres e nas CAIXAS mostrou que a variação da posição vertical nas primeiras era inferior a 0,1 mm. Testes de repetitividade, entretanto, mostraram que a posição média final do fluido nas CAIXAS tinha um mesmo valor na SUBIDA e na DESCIDA, numa faixa de incerteza que incluía a influência dos diferentes fatores mencionados sobre o valor atribuído ao padrão. Os valores médios desta posição e de sua dispersão, foram considerados, respectivamente, como o valor verdadeiro e de sua faixa de incerteza.

Para a medição da posição da superfície de separação de fluidos em cada CAIXA foi escolhida como superfície de referência sua parte superior. Esta foi usinada com uma planicidade grande e nivelada em relação à horizontal durante a montagem, para que estas influências pudessem ser consideradas desprezíveis na medição da posição da superfície de separação de fluidos em cada CAIXA. As dispersões resultantes estão incluídas na repetitividade global das medições da posição, feitas com um micrômetro MITUTOYO com uma incerteza do instrumento estimada em $\pm 0,01$ mm.

Os valores finais para a posição da superfície de separação de fluidos, NÍVEL e INTERFACE, durante a SUBIDA e durante a DESCIDA, foram apresentados usando-se como referência a superfície superior da CAIXA 1, identificada como a de posição mais próxima do solo do laboratório. Foram calculados como resultado da composição de dois tipos de medição básica :

- Medição da distância vertical entre as superfícies superiores de cada CAIXA.
- Medição da distância vertical entre a superfície superior e a superfície de separação de fluidos em cada CAIXA.

2.3.1. Medição da distância vertical entre as superfícies superiores de cada CAIXA.

Foi preparado pelas oficinas da PUC-Rio um padrão com uma dimensão de $958,76 \pm 0,05$ mm, medido com um Paquímetro MITUTOYO com faixa de 1000 mm. Este foi apoiado na superfície superior de uma CAIXA. A distância vertical entre sua superfície superior e a da CAIXA imediatamente acima foi medida com um micrômetro MITUTOYO, com incerteza estimada de $\pm 0,01$ mm. Cinco (5) medições foram feitas para se determinar a distância vertical entre duas caixas.

Cada distância h_i foi calculada como a média aritmética de cinco (5) medições feitas. O cálculo da Incerteza (Δh_i) levou em consideração o número pequeno de medições para cada distância (t -student = 2,770), a incerteza do paquímetro ($\pm 0,05$ mm) e a incerteza do micrômetro ($\pm 0,01$ mm), sendo computada com base na orientação dada pelo Guia para Expressão da Incerteza de Medição (1998).

2.3.2. Medição da distância vertical entre a superfície de separação de fluidos óleo/ar (NÍVEL) de cada CAIXA em relação à superfície superior da CAIXA 1 (mais próxima do solo).

A distância vertical (N_i) correspondente ao NÍVEL da CAIXA i pode ser calculada pela expressão :

$$N_i = H_i - n_i \quad (1)$$

onde, H_i é a posição da superfície superior da CAIXA i

n_i é distância entre a superfície superior da CAIXA i e o NÍVEL da mesma CAIXA

A incerteza desta distância vertical (ΔN_i) pode ser calculada pela expressão:

$$(\Delta N_i)^2 = (\Delta H_i)^2 + (\Delta n_i)^2 \quad (2)$$

onde, ΔH_i é a incerteza da posição da superfície superior da CAIXA ,

Δn_i é incerteza da distância entre a superfície superior da CAIXA i e o NÍVEL da mesma CAIXA.

2.3.3. Medição da distância vertical entre a superfície de separação de fluidos óleo/água (INTERFACE) de cada CAIXA em relação à superfície superior da CAIXA 1 (mais próxima do solo).

A distância vertical (D_i) correspondente á INTERFACE da CAIXA i pode ser calculada pela expressão :

$$D_i = H_i - d_i \quad (3)$$

onde, H_i é a posição da superfície superior da CAIXA i

d_i é distância entre a superfície superior da CAIXA i e o NÍVEL da mesma CAIXA

A incerteza desta distância vertical (ΔD_i) pode ser calculada pela expressão:

$$(\Delta D_i)^2 = (\Delta H_i)^2 + (\Delta d_i)^2 \quad (4)$$

onde, ΔH_i é a incerteza da posição da superfície superior da CAIXA i

Δd_i é incerteza da distância entre a superfície superior da CAIXA i e o NÍVEL da mesma CAIXA.

2.3.4. Medição de Temperatura

Vinte termômetros de resistência de platina do tipo Pt100 (10 em cada Torre) são usados na bancada como padrões de temperatura. Serão usados para medir a temperatura em 9 pontos da Torre, e a temperatura da cabeça de cada equipamento eletrônico, colocados ao lado dos sensores de temperatura dos equipamentos de telemedição sob teste. Eles foram calibrados pelo Laboratório de Pressão e Temperatura (LPT), credenciado pela Rede Brasileira de Calibração, com as seguintes características.

A seguinte expressão é usada para relacionar resistência e temperatura , cujos valores dos coeficientes foram calculados através de um ajuste pelo método dos mínimos quadrados :

$$R/R_0 = 1 + \alpha.T + \beta.T^2 \quad (5)$$

onde R é a resistência medida do PT100, Ω

R_0 é a resistência medida do PT100 a 0°C , Ω

A experiência também mostra que o valor da resistência pode variar um pouco. Entretanto, a relação entre o valor da resistência numa dada temperatura e a 0°C é praticamente constante. Assim, durante os testes, os dois valores serão medidos frequentemente com o sistema de aquisição de dados para melhor confiabilidade. Testes realizados, indicam que a incerteza de medição de temperatura com o sistema de aquisição de dados é $\pm 0,25^\circ\text{C}$, incluindo sua incerteza de medição da resistência , muito embora a incerteza dos sensores seja bem menor.

3. RESULTADOS

3.1. Os testes

Sete (7) equipamentos para medição de NIVEL e INTERFACE de cinco (5) fabricantes foram testados. A Tabela 1 apresenta as características dos mesmos. Nela, o modelo 1 está associado ao tipo servo atuado. O modelo 2 está associado ao tipo Radar.

Cinco (5) pontos, aproximadamente equidistantes entre si (1 m), foram escolhidos ao longo da altura das torres para as medições, numerados de 1 a 5, respectivamente para o ponto mais abaixo e para o mais acima. Ao chegar nestas posições, tanto para NIVEL como para INTERFACE, o sensor LASER parava a bomba. Após algum tempo para a estabilização do fluido, as medições eram feitas. Este procedimento era feito tanto durante a SUBIDA como durante a DESCIDA.

A correção do valor indicado pelo instrumento testado e a incerteza de medição são apresentados neste trabalho. A correção é definida como a diferença entre o valor indicado pelo instrumento testado e o padrão. Mais de 80 medições para cada ponto, ao longo de dois meses de duração dos testes, foram feitas para a análise estatística dos resultados. A incerteza leva em consideração a incerteza do padrão e a repetitividade do instrumento.

Tabela 1 . Características dos equipamentos testados

Fabricante	Modelo	Principio de Medição	
		NIVEL	INTERFACE
A	1	Servo Atuado	Capacitivo
B	1	Servo Atuado	Capacitivo
B	2	Radar	Capacitivo
C	1	Servo Atuado	Capacitivo
D	2	Radar	Capacitivo
D	2	Radar	Capacitivo
E	2	Radar	Capacitivo

3.2. Características do Padrão

Tabela 2 . Características do Padrão

Altura	NIVEL				INTERFACE			
	SUBIDA		DESCIDA		SUBIDA		DESCIDA	
	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1					-19,99	0,35	-57,69	0,51
2	944,04	0,26	939,65	0,33	980,28	0,66	954,29	0,53
3	1954,99	0,28	1950,17	0,24	1984,03	0,43	1960,11	0,61
4	2704,04	0,35	2699,00	0,27	2735,49	0,34	2707,68	0,49
5	3955,15	0,33	3950,24	0,35				

3.3. Medições de NIVEL em DESCIDA

Tabela 3 . Medições de NIVEL em DESCIDA

Equipamento		Posição 5		Posição 4		Posição 3		Posição 2	
Fabricante	Modelo	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
A	1	0,0	0,50	-0,3	1,54	1,1	1,42	-0,3	1,43
B	1	0,00	0,51	0,30	0,58	0,57	0,51	0,56	1,51
B	2	0,00	1,66	-1,40	1,41	-0,41	1,05	-5,45	1,63
C	1	0,00	0,92	-0,78	0,90	-0,62	1,42	0,63	1,53
D	2	0,0	15,7	-1,4	21,8	-6,8	22,0	-12,0	37,2
D	2	0,00	1,69	-4,38	1,17	-2,12	1,79	-3,18	1,11
E	2	0,0	1,1	1,3	1,6	-5,9	1,3	-17,3	2,7

3.4. Medições de NIVEL em SUBIDA

Tabela 4 . Medições de NIVEL em SUBIDA

Equipamento		Posição 5		Posição 4		Posição 3		Posição 2	
Fabricante	Modelo	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
A	1	0,0	1,08	0,6	1,33	0,6	1,17	2,2	1,32
B	1	0,00	0,53	-0,15	0,45	0,01	0,42	0,89	1,47
B	2	0,00	1,11	1,42	1,39	2,17	1,20	-2,76	1,39
C	1	0,00	1,24	-0,60	1,13	-0,49	1,08	-0,94	1,14
D	2	0,0	13,3	-1,2	21,6	-4,5	21,5	-13,5	33,5
D	2	0,00	1,43	-4,65	1,35	-2,63	1,91	-3,56	1,26
E	2	0,0	1,4	-0,3	1,6	-6,7	0,9	-17,7	2,7

3.5. Medições de INTERFACE em DESCIDA

Tabela 5 . Medições de INTERFACE em DESCIDA

Equipamento		Posição 4		Posição 3		Posição 2		Posição 1	
Fabricante	Modelo	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
A	1	0,0	51,5	21,7	20,5	22,3	9,91	41,9	0,40
B	1	0,00	2,76	-1,29	3,73	-0,84	1,91	-1,00	2,04
B	2								
C	1	0,00	5,94	1,78	6,56	5,91	8,51	0,18	5,58
D	2								4,8
D	2								
E	2	0,0	4,5	-0,5	3,8	-10,5	3,7	-4,9	10,3

3.6. Medições de INTERFACE em SUBIDA

Tabela 6 . Medições de INTERFACE em SUBIDA

Equipamento		Posição 4		Posição 3		Posição 2		Posição 1	
Fabricante	Modelo	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza	Correção	Incerteza
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
A	1	0,0	47,0	-0,6	54,8	-4,5	17,3	0,9	7,9
B	1	0,00	2,59	-0,53	3,49	-2,29	4,71	-1,64	4,14
B	2								
C	1	0,00	6,78	-1,62	7,31	4,56	7,83	4,80	6,32
D	2								4,7
D	2								
E	2	0,0	0,9	-1,0	4,4	-7,4	3,1	-0,6	10,0

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Uma bancada foi construída para testar equipamentos que medem NIVEL (óleo/ar) e INTERFACE (óleo/água), com incertezas mínimas de, respectivamente, $\pm 0,35$ mm e $\pm 0,61$ mm. Ela permite considerar o efeito da flutuação das interfaces sobre a indicação do instrumento, o que é um diferencial em relação à Norma OIML R 85.

Dois tipos de equipamentos foram testados para a medição do NIVEL, utilizando respectivamente um sensor servo atuado e radar. Para a medição da INTERFACE, sensores capacitivos foram utilizados.

De um modo geral foi observado que a medição da INTERFACE tem uma incerteza muito maior do que a medição de NIVEL, colocando os medidores da primeira fora dos requisitos da Classe 2. Foi também observado que o elevado valor de correção requerido é devido à degradação com o tempo do sensor, constituindo portanto uma deriva de sua indicação. Assim, calibrações mais frequentes devem ser necessárias para manter a correção dentro de um valor aceitável.

Os sensores para medição de NIVEL do tipo servo atuado podem ter uma incerteza menor do que os do tipo radar. Foi observado, entretanto, durante testes preliminares, que se um óleo com viscosidade mais elevada for utilizado, as indicações começam a ficar inexatas, o que qualifica os sensores do tipo radar para esta aplicação. Foi observado que os pontos mais distantes dos sensores têm uma correção e incerteza maiores. De um modo geral, foi observado que estes sensores precisam ser corrigidos para uma indicação mais exata dos valores, requerendo portanto calibrações mais frequentes. Principalmente, porque foi observado uma deriva de sua indicação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a participação da PETROBRAS e do Programa de Mestrado para a Qualidade Industrial por terem viabilizado este desenvolvimento, respectivamente, através de um projeto e de uma dissertação de Mestrado. Agradecem também a contribuição de Evêmero Callegari, Alexandre Renteria e Marcelo Ferreira no desenvolvimento e aquisição de dados.

6. REFERÊNCIAS

- Furini, R., 1998, "Confiabilidade de Instrumentos de Medição Utilizados na Indústria do Petróleo : Uma Abordagem Metrológica", Tese de Mestrado, PUC-Rio
- Furini, R. \$ Orlando, A.F., "Desenvolvimento de um Medidor de Nível de Líquidos com Alta Resolução", Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM-99, Águas de Lindóia, SP
- Guia para Expressão da Incerteza de Medição, 1998, 2ª edição, INMETRO
- VIM, 1995, "Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais da Metrologia", INMETRO

***Abstract.** Telemetry instruments, used for measuring oil-air liquid interface and oil-water liquid interface in oil storage tanks have been tested in a Laboratory, which was specially developed for dynamic tests in the Catholic University of Rio de Janeiro. Most available testing standards, like OIML R 85, are intended to determine the performance of the instrument itself, without being worried about the effect of liquid movement in the neighborhood of the liquid interface on the result. Three (3) servo-actuated instruments and four (4) radar type instruments were tested over a period of about two months, under continuous operation, determining its repeatability, accuracy and calibration drift over the testing period, for oil-air liquid interface and oil-water liquid interface. The paper describes the experimental facility, the testing procedure and the results of the performance, detailing the uncertainty analysis procedure, comparing the results with the required values in the standard, and the characteristics of measurement of each type of instrument.*

***Key-words.** Telemetry, Level measurement, Interface measurement.*