

1 Introdução

A fim de demonstrar a relevância das contribuições descritas no Resumo deste trabalho, cabe registrar que em todo o mundo, a busca pela excelência operacional tem sido um grande desafio em todos os segmentos produtores, dos quais destacamos aqui a indústria de petróleo, seja porque as reservas provadas caem assustadoramente em alguns conglomerados produtores, como é o caso do Mar do Norte, lado do Reino Unido, seja devido a grande competitividade que permeiam as grandes organizações deste fabuloso mercado. Dentre os diversos fatores da qualidade, responsáveis pelo bom desempenho do negócio “produção de petróleo e gás natural”, destacamos o processo de medição, como sendo a referência para avaliação de todos os demais processos e do produto final. Certamente, as empresas que implementarem as melhores práticas de medição poderão estar num nível capaz de assegurar a qualidade de seus processos e produtos, sobretudo, conferindo confiabilidade para seus clientes.

No Brasil, um sinal importante da relevância do processo de medição foi dado pela Agência Nacional de Petróleo (ANP). A partir de 19 de junho de 2000, quando foi aprovado o Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural (RTM) através da Portaria Conjunta No 1 ANP/INMETRO, as Unidades de Negócio de Exploração e Produção (E&P) da Petrobras entraram num grande processo de discussão dos novos requisitos metrológicos para a produção de petróleo e gás natural. Por conta desta regulamentação, foi criado um grupo para discussão de diretrizes, com fórum nacional e com a coordenação da sede da companhia. Esta Portaria foi o principal elemento que viria fomentar uma nova cultura metrológica nas Unidades de Negócio de Exploração e Produção da Petrobras (E&P), quando a partir daí, iniciaram-se os projetos de adequação das instalações de suas Unidades Produtoras (UP) a este Regulamento. Estes novos projetos foram desenvolvidos para atender tanto aos requisitos deste Regulamento, quanto as mais modernas filosofias de medição praticadas no mundo, oferecendo praticidade na coleta de dados operacionais, confiabilidade

nos sistemas e, sobretudo previsibilidade dos resultados. Tendo em vista esta nova filosofia, os projetos, em especial da Unidade de Negócios da Bacia de Campos (UN-BC) , adotaram como premissa a utilização de estações de medição (EMED) com medidor padrão (master) para calibração de medidores operacionais. Um dos principais fatores para adoção desta premissa foi a limitação de espaços em plataformas off-shore (que produzem no mar) . Ainda conforme esta premissa, os medidores padrão devem ser enviados para calibração em laboratório acreditado da Rede Brasileira de Calibração (RBC).

1.1

O papel da Metrologia como estratégia de competitividade

A metrologia há muito deixou de ser uma atividade industrial apenas para estabelecer o controle da qualidade sob especificações acordadas entre clientes e fornecedores. Hoje, ela pode ser considerada uma das principais ferramentas de produtividade de uma organização. Através dela pode-se melhorar processos, prever perdas e ganhos futuros, em fim, gerenciar com maior segurança.

Na medição de petróleo e gás natural não é diferente. Cada vez mais o processo de medição na indústria do petróleo encontra seu espaço, na medida em que aumentar a eficiência, reduzindo perdas e otimizando a produção requer a utilização de alguns recursos, tais como a aplicação de técnicas estatísticas, mão-de-obra qualificada e altamente capacitada para coleta e tratamento de dados do processo. A Metrologia, que é segundo o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, a ciência da Medição, supre todos os processos, sejam eles administrativos ou técnicos, do conhecimento necessário para tomada de decisões. A importância de uma medição de boa qualidade, quer dizer, com incertezas que satisfaçam às expectativas dos clientes, pode ser observada quando temos pela frente objetivos e metas a serem alcançados. A metrologia veio dar relevância às coletas de dados e análises de processos, suprimindo os gestores destes processos de maior credibilidade.

O Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) apresenta definições utilizadas em metrologia. As definições mais relevantes para este trabalho estão transcritas no quadro abaixo:

- Medição:** Conjunto de operações que tem por objetivo determinar um valor de uma grandeza.
- **Sistemas de medição:** é o conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição específica.
 - **Padrão:** Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência.
 - **Calibração:** Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.
 - **Erro:** Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando.

A implantação de práticas metrológicas adequadas, amparadas por uma forte infra-estrutura de padronização e medição é um fator estratégico para garantir igualdade de mercado e para facilitar o reconhecimento global de medidas, garantindo o crescimento econômico de um país.

Medir grandezas é uma operação importante para a avaliação da conformidade de um produto, controle de qualidade e controle de processos e, o desenvolvimento ou melhoria de produtos e processos. O ensaio de um determinado material, de um insumo ou mesmo de um produto final envolve operações de medir e tem uma importância estratégica para a qualidade e, conseqüentemente, para a competitividade de uma empresa.

A globalização dos mercados e da economia, a construção de uma infra-estrutura internacional para garantir comparações entre resultados tornou-se uma forte demanda para qualquer tipo de medição, o que inclui a de petróleo e gás.

1.2 Legislação aplicável à medição de petróleo

Os documentos listados nos sub-itens a seguir têm como objetivo apresentar ao leitor algumas Portarias e Regulamentos, que envolvem a medição de petróleo no Brasil.

1.2.1

Portaria Conjunta No 1, de 19 de Junho de 2000. (ANP / INMETRO)

“Esta Portaria [1], obtida no site da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) [2], estabelece as condições e requisitos mínimos para os sistemas de medição de petróleo e gás natural, com vistas a garantir resultados acurados e completos”.

“O Art. 1º de [1] aprova o Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural, anexo à Portaria, o qual estabelece as condições e requisitos mínimos que os sistemas de medição de petróleo e gás natural devem observar, com vistas a garantir resultados acurados e completos”.

1.2.2

Portaria INMETRO Nº 064, de 11 de abril de 2003

Esta Portaria [3], desenvolvida com base na Recomendação OIML R-117, descreve o seguinte: “Considerando a necessidade urgente de estabelecer um controle metrológico sobre os sistemas de medição acobertados pela Portaria Conjunta ANP/Inmetro nº 001, de 19/06/2000, resolve baixar as seguintes disposições”:

“Art. 1º - Aprovar o Regulamento Técnico Metrológico, que com esta baixa, estabelecendo os requisitos técnicos e metrológicos aplicáveis aos sistemas de medição equipados com medidores de fluido, utilizados na medição de petróleo, seus derivados líquidos, álcool anidro e álcool hidratado carburante”.

“O Regulamento a que se refere o Art. 1º estabelece as exigências, metrológicas e técnicas, aplicáveis aos sistemas de medição dinâmica de quantidades de líquidos utilizados em medição fiscal da produção de petróleo nas instalações de produção, em terra e no mar, em medição da produção de petróleo em testes de longa duração dos campos de petróleo, medição para apropriação da produção de petróleo dos poços e campos, medição da produção de petróleo em testes de poços cujos resultados sejam utilizados para apropriação da produção aos campos e poços, e medição em transferência de custódia de petróleo, seus derivados líquidos, álcool anidro e álcool hidratado carburante, sujeitos ao controle metrológico e fixa os requisitos para aprovação de modelo de partes desses sistemas de medição” (adaptado do item “1.Objetivo” da Portaria 064).

1.2.3

Portaria INMETRO N° 234, de 12 de Agosto de 2003

Esta Portaria [4] dispõe sobre as penalidades com base no Regulamento de Procedimento de Imposição de Penalidades anexo a esta Portaria.

“Art. 1º Fica aprovado o Regulamento que define o procedimento de imposição de penalidades aplicável aos infratores das disposições e termos constantes dos contratos de concessão, dos editais de licitação e na legislação aplicável”.

1.2.4

Lei No 9.847, de 26 de Outubro de 1999

Disponível no site da ANP [2], a referida Lei dispõe sobre a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis, de que trata a Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997, estabelece sanções administrativas e dá outras providências.

1.2.5

Lei No 9.478, de 6 de Agosto de 1997

Disponível no site da ANP [2], o texto da Lei dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.

O Capítulo I desta Lei descreve entre outros, os Princípios e Objetivos da Política Energética Nacional, dos quais destacamos:

“Art. 1º As políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia visarão aos seguintes objetivos”:

I - preservar o interesse nacional;

II - promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho e valorizar os recursos energéticos;

III - proteger os interesses do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos;

IV - proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia”.

1.3

Recomendação internacional aplicável à medição de petróleo

A Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), sediada em Paris, na França, é uma organização intergovernamental, fundada em 12 de Outubro de 1955, com o objetivo de promover a harmonização global de procedimentos para a Metrologia Legal. Hoje, ela possui 59 países membros, e 54 membros correspondentes. O Brasil faz parte do grupo de países membros, que são aqueles que participam ativamente em atividades técnicas da organização, revisando e estabelecendo novas Recomendações. Os países que fazem parte do grupo de observadores, como por exemplo a Argentina, apenas adotam as Recomendações sem participação ativa na Organização. Ela estabelece acordo de cooperação com outros dois importantes organismos, a *International Organization for Standardization (ISO)* e a *International Electrotechnical Commission (IEC)*, a fim de evitar contradições entre as suas Recomendações e as Normas destas instituições. No Brasil, a Recomendação da OIML R-117 [5] foi adotada e citada em [1], para servir como base na aplicação de requisitos técnicos e para estabelecer limites de aceitação de sistemas e instrumentos de medição de petróleo. Outra não menos importante Recomendação adotada para os mesmos fins é a OIML R-105 [6], que especifica os requisitos técnicos e metrológicos para sistemas de medição de vazão mássica em dutos fechados.

1.4

Impactos decorrentes da legislação de petróleo

A aplicação de uma nova legislação, a exemplo da Portaria citada em 1.2.1, gera implicações de natureza técnica, econômica e social. No que concerne os aspectos técnicos, ela contribui para uma maior interação entre os afetados de forma direta (indústrias, comércio, etc) e as instituições de Pesquisa e Desenvolvimento (Universidades, Institutos de Pesquisa, etc). As implicações econômicas não são menos impactantes, sendo necessários grandes aportes na adequação dos sistemas de medição, na capacitação de mão-de-obra direta e indireta e na gestão destes recursos. Não obstante, os benefícios sociais gerados pelo conjunto destas Leis, citadas em 1.2, são traduzidos em tributos (royalties,

participações especiais, entre outros) para os municípios, gerando bem estar à sociedade.

Para demonstrar a relevância do impacto econômico, por exemplo, pode-se observar na Fig.1 as perdas em dólares (US\$) caso houvesse erros de medição de petróleo não corrigidos, considerando apenas a produção de toda a Bacia de Campos, de janeiro a julho de 2006, que totalizou 304.759.996 barris (57.394.042 m³) e média mensal de 43.537.142 barris. Os preços em dólar/barril estão sendo utilizados apenas como referência.

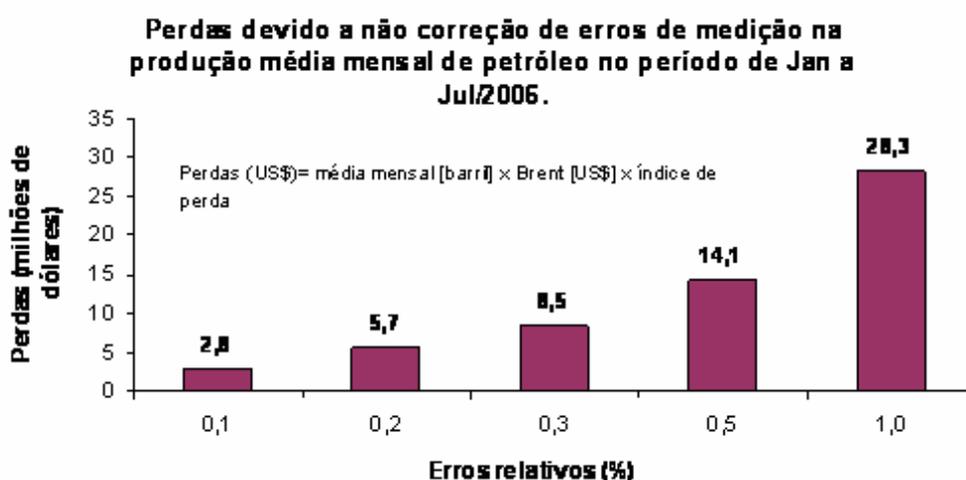


Figura 1— Estimativa do impacto econômico devido a erros na medição de petróleo

1.5

O estado da arte

A medição de vazão por meio de medidores ultra-sônicos tem motivado fabricantes, usuários e instituições independentes no estudo dos fatores que afetam a qualidade da medição obtida por esta tecnologia. É crescente a aplicação de medidores ultra-sônicos para medir petróleo, hoje representando 3% do mercado mundial de medidores instalados. Embora a medição de fluidos por ultra-som represente cerca de 3% no cenário mundial de medidores instalados (Fig. 2), é crescente a sua aplicação para medir petróleo. De fato, trabalhos têm sido realizados com esse tipo de medidor, seja por uma necessidade dos fabricantes de atenderem às exigências de Agências Reguladoras para comercialização do

equipamento, seja para atender ao usuário, que busca aprimorar o seu conhecimento desta tecnologia.

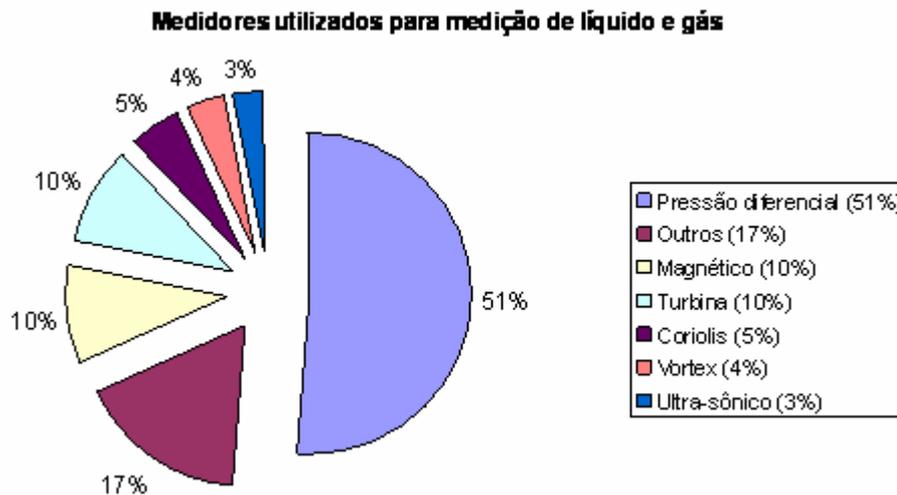


Figura 2 — Mercado mundial de medidores utilizados para medição de líquido e gás (Fonte:Emerson Process).

Em estudo realizado pelo conceituado laboratório escocês NEL (National Engineering Laboratory) e documentado em relatório técnico [7], são apresentados resultados importantes sobre medidores do tipo ultra-sônico pelo método de tempo de trânsito, e os efeitos na exatidão e repetitividade destes medidores devido às condições de instalação. Este estudo avaliou os fatores de influência devido ao sistema de calibração no medidor ultra-sônico, considerando as seguintes condições de instalação:

- a) Uma redução de diâmetro a montante do trecho de medição;
- b) Uso de retificador de fluxo no trecho de medição, conforme a iso 5167-1 e;
- c) O uso de acidentes (curvas) a montante do trecho de medição;

Estas condições foram adotadas para representar uma instalação típica de medição fiscal. Para este estudo foram utilizados os seguintes recursos:

- Um sistema de calibração do tipo tanque gravimétrico contendo uma válvula para início e fim de corrida. O fluido foi o querosene, com temperatura de 15°C;

- Um medidor ultra-sônico do tipo tempo de trânsito, com cinco pares de transdutores, modelo Altosonic V, fabricante Krohne, com diâmetro nominal igual a 150 mm (6”).

O fabricante apresentou as seguintes especificações para este medidor:

- Erro: $\pm 0,20\%$ (para razão de 10:1). Este termo (razão) refere-se à relação entre os valores máximo e mínimo de operação. Exemplo: um medidor que opere numa faixa de 10 à 100 m³/h ou 20 à 200 m³/h tem relação de 10:1;

- Repetitividade: 0,04% (condições de laboratório)

O Erro e a Repetitividade estão definidas na Recomendação OIML R-117.

O estudo foi realizado considerando as seguintes montagens, conforme Fig.

3:

- Trecho reto à montante com 20 diâmetros e com retificador de fluxo (Fig. 3a);
- Trecho reto à montante com 20 diâmetros e sem retificador de fluxo (Fig. 3b);
- Trecho reto à montante com 10 diâmetros e com retificador de fluxo (Fig. 3c);
- Trecho reto à montante com 10 diâmetros e sem retificador de fluxo (Fig. 3d).

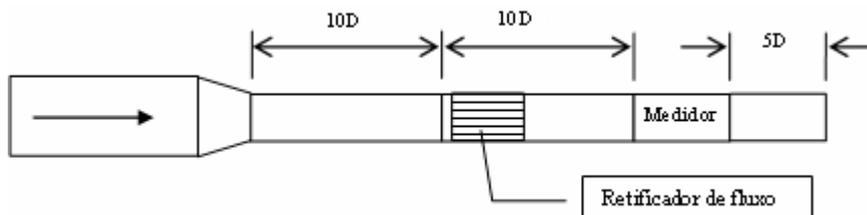


Figura 3a — Trecho reto à montante com 20 diâmetros e com retificador de fluxo

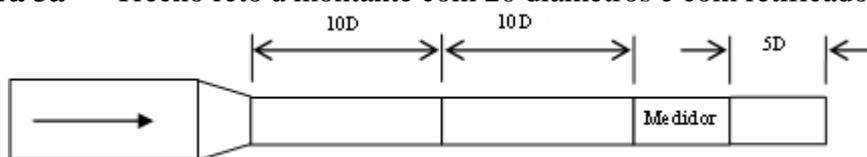


Figura 3b — Trecho reto à montante com 20 diâmetros e sem retificador de fluxo

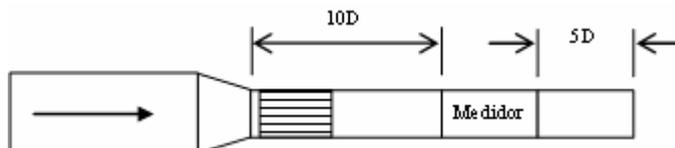


Figura 3c — Trecho reto à montante com 10 diâmetros e com retificador de fluxo

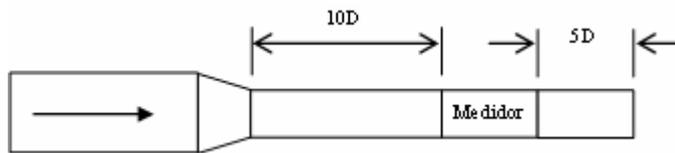


Figura 3d — Trecho reto à montante com 10 diâmetros e sem retificador de fluxo

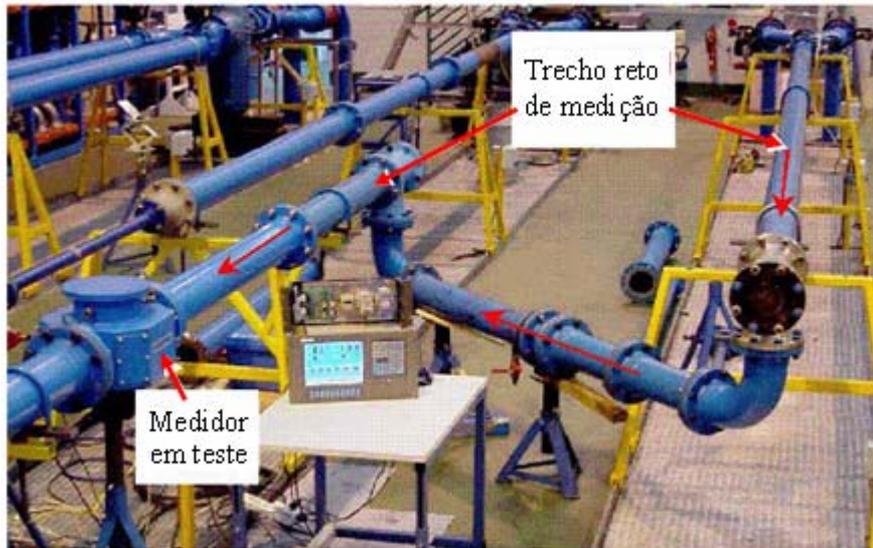


Figura 3e — Configuração típica de um sistema de medição fiscal (switchback)

Ainda para este estudo o NEL apresentou três condições para avaliação:

Condição 1: Teste básico.

Nesta condição o medidor foi calibrado com um trecho reto à montante do medidor igual a 60 diâmetros, para garantir um escoamento completamente desenvolvido. Foram avaliadas as condições na ausência e na presença de um retificador de fluxo instalado.

Como pode ser visto na Fig. 4, que reproduz a utilização do retificador de fluxo, os erros relativos do medidor ficaram dentro dos limites de especificação e com o erro máximo em torno de 0,05%. O desempenho do medidor foi similar em baixas vazões quando o retificador de fluxo foi removido. Em velocidades superiores a 3 m/s, os valores de erro atenderam à especificação do fabricante.

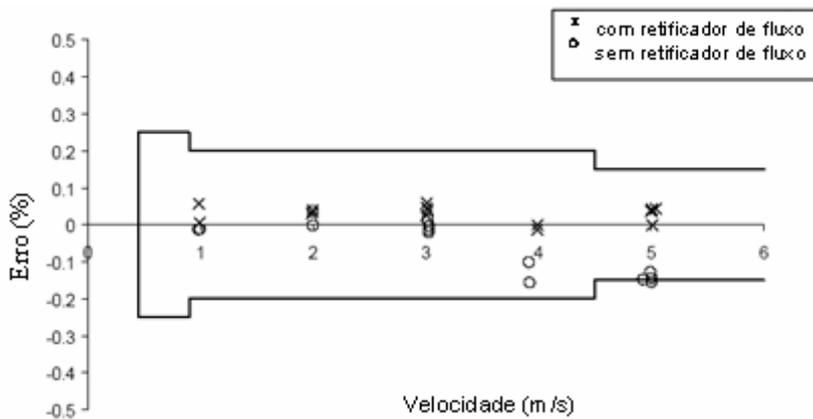


Figura 4 — teste básico no medidor ultra-sônico

Condição 2: As seguintes premissas foram adotadas:

1ª) utilização de uma redução de diâmetros (de 200 mm para 150 mm) à montante do trecho reto de medição (Fig. 3);

2ª) Avaliação em condições de ausência e presença de um retificador de fluxo e;

3ª) Trechos retos à montante iguais a 10 e 20 diâmetros nominais do tubo.

As Fig. 5 e 6 mostram os resultados das avaliações na Condição 2.

O estudo do NEL [7] demonstrou que, com o retificador de fluxo instalado todos os valores apresentaram desvio de -0,05% da linha de base, excetuando a configuração utilizando 10 diâmetros, em que os valores obtidos em 1 m/s desviaram da linha de base cerca de +0,15%. Em velocidades superiores a 1 m/s, a redução de diâmetro causou um desvio negativo de até -0,12% em relação a linha de base. Em 1 m/s, um desvio próximo ao limite superior pode ser visto. Nesta Condição, o medidor apresentou repetitividade no mínimo tão boa quanto a mostrada na “Condição 1”. Apesar disso todos os resultados desta avaliação atenderam aos limites de especificação do fabricante do medidor.

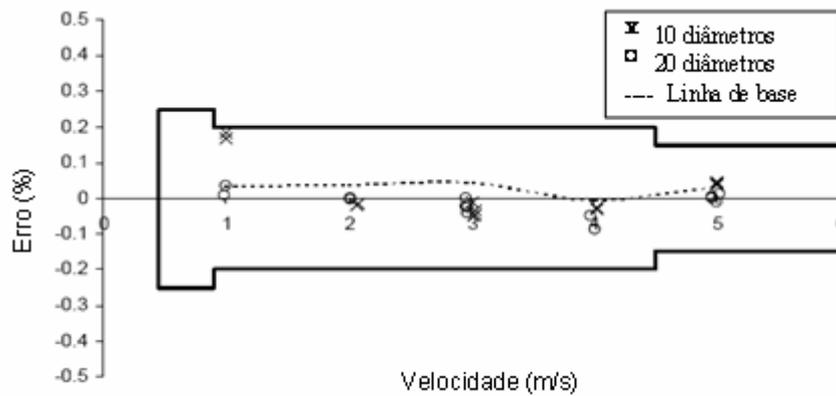


Figura 5: Efeito de instalação com redução no medidor e com retificador de fluxo

Figura 5 — Efeito de instalação com redução no medidor e com retificador de fluxo

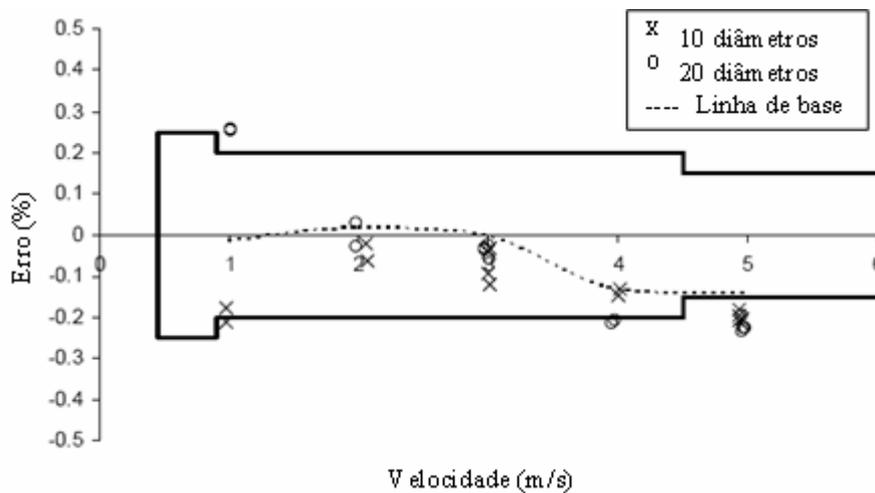


Figura 6 — Efeito de instalação com redução no medidor e sem retificador de fluxo

Condição 3: O NEL adotou as seguintes premissas para esta condição:

1ª) utilização de acidentes (curvas) à montante do trecho reto de medição (Fig. 3e);

2ª) Avaliação em condições de ausência e presença de um retificador de fluxo e;

3ª) Trechos retos à montante iguais a 10 e 20 diâmetros nominais do tubo.

As Fig. 7 e 8 mostram os resultados das avaliações na Condição 2.

O relatório técnico do NEL [7] demonstrou que na presença do retificador de fluxo, os valores de erros obtidos se assemelham aos obtidos na “Condição 2”, conforme Fig. 7. Quando o retificador de fluxo foi retirado (ver Fig. 8) do sistema ocorreu um aumento da dispersão dos valores de erro nos pontos de medição, em particular na avaliação com 10 diâmetros de trecho reto de medição. Apesar de

todos os valores atenderem aos limites especificados pelo fabricante, o desvio máximo em relação à linha de base foi de cerca de +0,3% para 10 diâmetros e cerca de +0,2% para 20 diâmetros de trecho reto de medição.

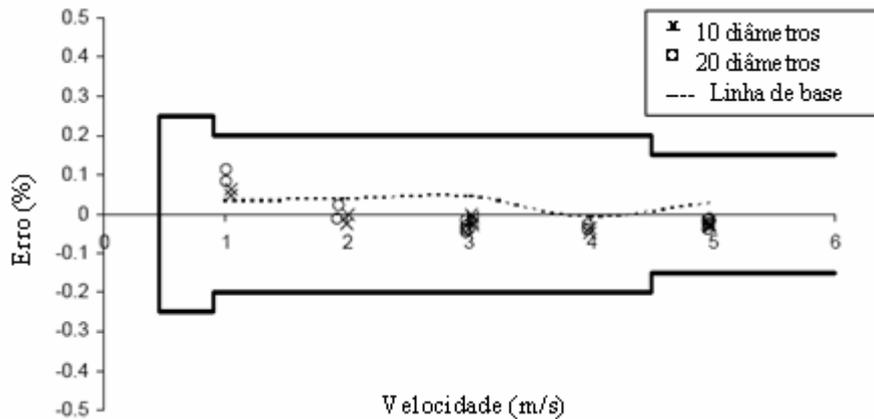


Figura 7 — Efeito de instalação com acidentes a montador do medidor e com retificador de fluxo

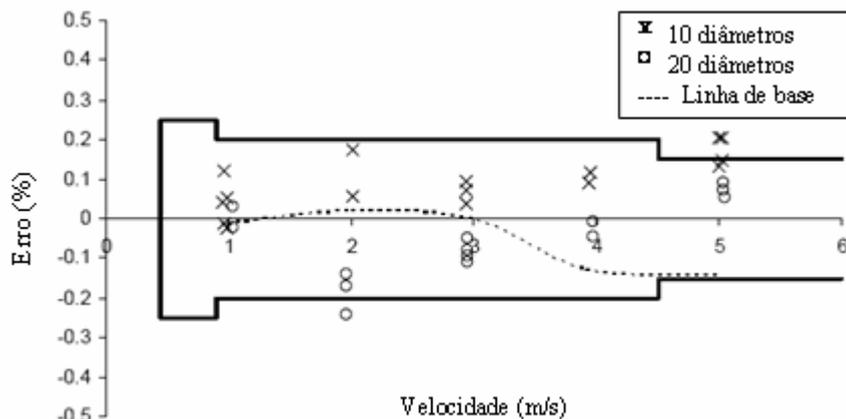


Figura 8 — Efeito de instalação com acidente de montador do medidor e sem retificador de fluxo

O estudo apresentado no relatório do NEL concluiu que:

- Apesar das variadas condições de instalações a que o medidor foi submetido, ele obteve bom desempenho quando na presença de retificador de fluxo, apresentando erro máximo de +0,15%, o que neste caso atende aos requisitos do fabricante;
- Quando um retificador de fluxo é utilizado o desempenho do medidor melhora;
- Sem um retificador de fluxo os erros do medidor tornam-se mais dependentes da vazão, aumentando a dispersão dos resultados;

- d) O uso do retificador de fluxo é altamente recomendado em algumas instalações que não possuam trechos retos à montante superiores a 60 diâmetros;

Registro de calibração [8] para avaliar efeitos da viscosidade do fluido, calibrando com água e óleo um medidor ultra-sônico multi-trajetória, demonstrou que em ambos os casos os erros de medição atenderam aos limites estabelecidos pela OIML R-117 ($\pm 0,2\%$).

Estudos recentes [9], realizados pelo fabricante Krohne e pela Petrobras investigaram a influência da viscosidade na medição ultra-sônica de vazão pelo princípio de tempo de trânsito em medidores de grandes diâmetros (DN=24" ou 600 mm). Para este estudo foi utilizado o laboratório do fabricante, que utiliza a água como fluido de calibração e o laboratório do SPSE, na França, que utiliza óleo com viscosidades de até 300 cSt, como apresentado em [9]. Os resultados demonstraram que o medidor Altosonic V, fabricante Krohne, pode ser verificado periodicamente com água.

Por fim, estudo realizado por outro fabricante de medidor ultra-sônico, a Caldon Measurement Solutions, apresenta em seu material [10] os seguintes resultados sobre os efeitos provocados por acidentes à montante do trecho de medição ou por obstruções no retificador de fluxo em medidores ultra-sônicos:

1º) A Fig. 9 mostra como a repetitividade variou com o volume provado e o diâmetro nominal do medidor;

Volume provado versus Diâmetro nominal do medidor				
Diâmetro nominal do medidor (polegadas)	5 corridas	8 corridas	10 corridas	15 corridas
	0,05%	0,09%	0,12%	0,17%
Volume provado (bbl)				
4	33	15	10	6
6	73	34	22	14
8	130	60	40	25
10	203	94	62	39
12	293	135	89	56
14	399	184	121	77
16	521	241	158	100

Figura 9 — Volume provado x tamanho do medidor

2º) O relatório técnico [10] demonstra ainda, que uma assimetria no perfil de escoamento pode ser causada por uma pequena obstrução após montagem do

tubo à montante do trecho reto de medição ou por obstruções no retificador de fluxo, conforme indicado na Fig 10.

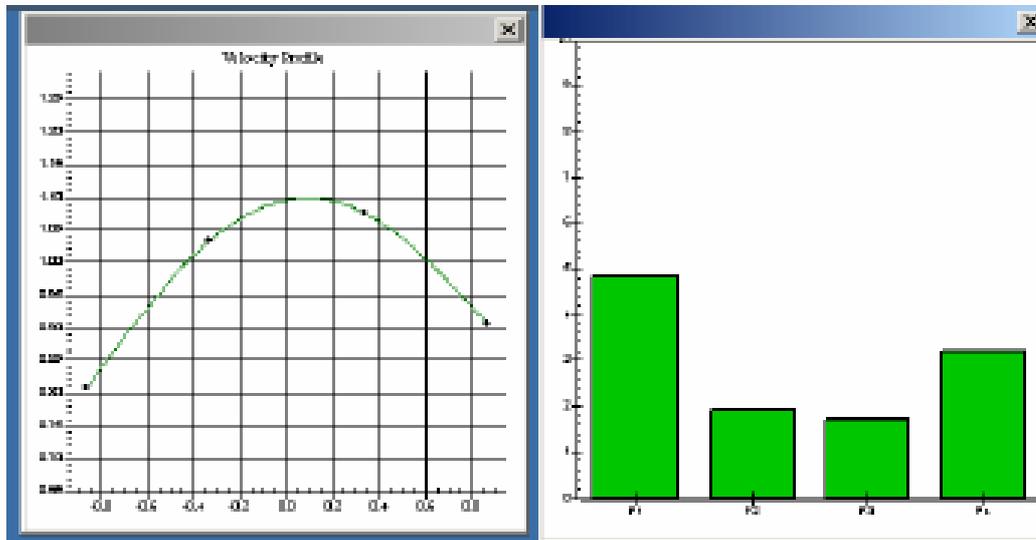


Figura 10 — Perfil de fluxo e desvio padrão da velocidade de cada trajetória

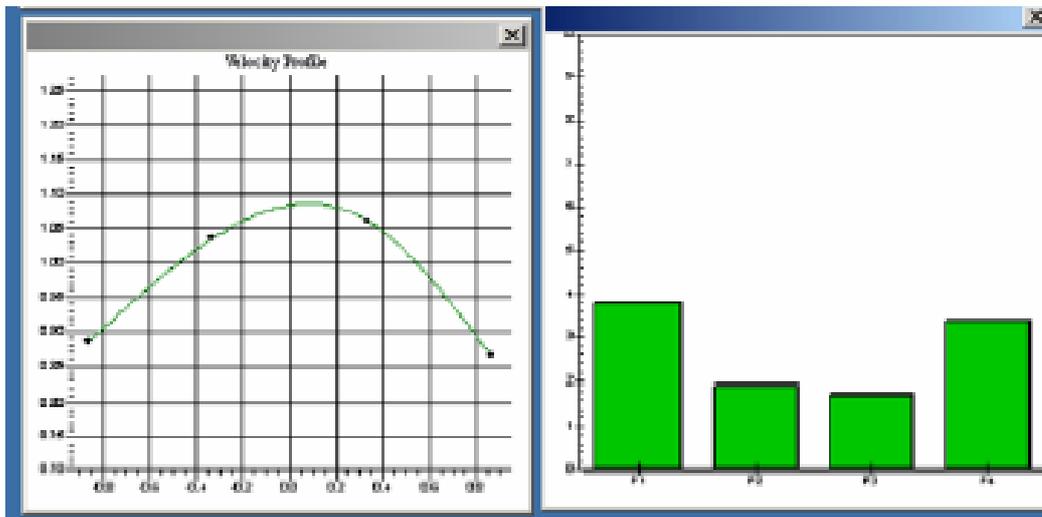


Figura 11 — Perfil de fluxo após a remoção da obstrução

3º) Outro fator apresentado pelo estudo [10] foi o de partida de calibração (*prover take-off*). Neste caso, são mostrados na Fig. 12 os efeitos no perfil de escoamento devido ao uso de provadores à montante de medidores ultra-sônicos, apesar do uso de condicionadores de fluxo. Ele evidencia que quanto menor a velocidade maior é o efeito do *swirl* (redemoinhos).

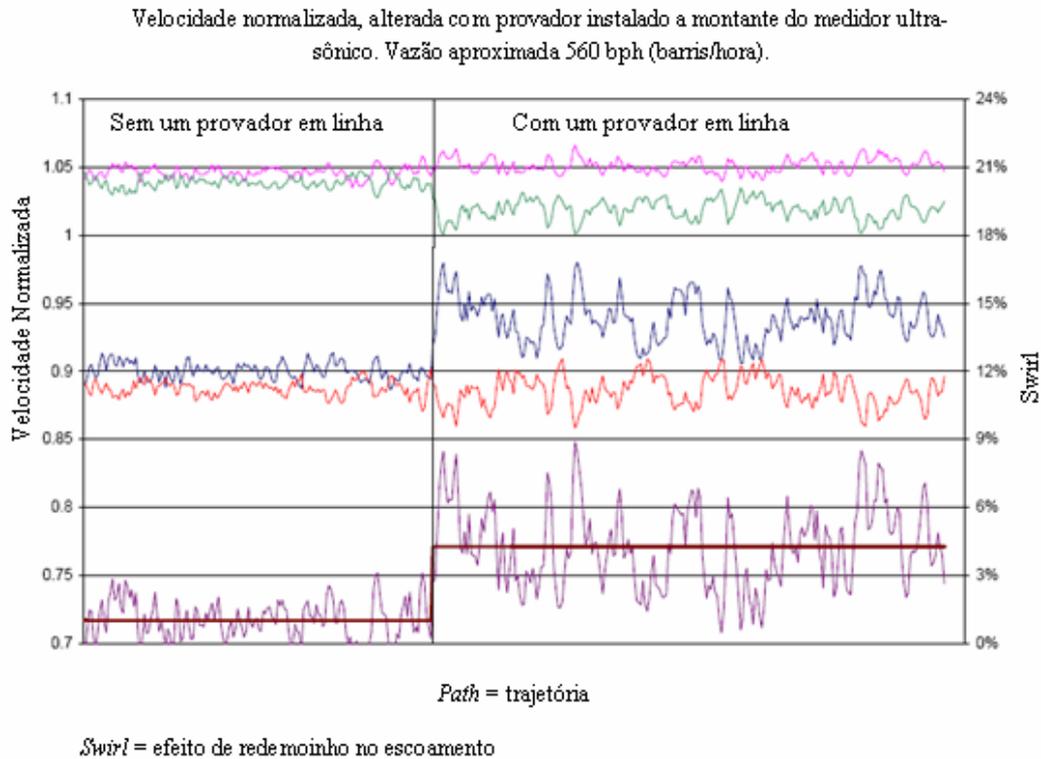


Figura 12 — Efeitos da partida (início) de calibração - antes e depois do provador instalado à montante do trecho reto de medição.

Este resumo sobre sistemas de calibração serviu para a definição do tema deste trabalho e para motivar a pesquisa sobre os efeitos de instalação na calibração de medidores ultra-sônicos.

1.6

Motivação para desenvolvimento do presente trabalho

Embora a norma API MPMS 4.5 [11] e a norma API MPMS 4.8 [12] recomendem o uso de medidores padrão do tipo turbina ou deslocamento positivo, medidores padrão do tipo ultra-sônico têm sido utilizados em alguns projetos da UN-BC. Essa tecnologia de medição tem sido adotada como padrão por se tratar de um medidor que não promove perdas de carga (diferencial de pressão) ao sistema de escoamento. Estes medidores operam pelo princípio de tempo de trânsito, com transdutores multi-trajetória. O modelo utilizado, conforme informação do fabricante, possui classe de exatidão de 0,2%, para a relação entre faixas de operação de 10:1, o que atende aos requisitos da OIML R-117. A recente discussão da adoção da ISO/TR-12765 em norma ABNT (ou NBR), por meio do Comitê Brasileiro-04 (CB-04) da ABNT, demonstra o interesse dos técnicos da

atividade de medição de fluidos e a importância que a tecnologia ultra-sônica para medição de vazão de líquidos vem ganhando no cenário brasileiro. Conhecer a tecnologia utilizada para medir a produção é fundamental em qualquer atividade industrial, seja por força de uma regulamentação para medição de petróleo, ou seja, pela maturidade metrológica, sendo esta fundamental para obtenção de melhores resultados.

Outro fato é que o modelo de controle metrológico proposto pelo Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural (RTM) prevê a calibração de medidores em linha contra provadores ou medidores padrão (*master meter*) ou ainda, por meio de calibração em laboratório. Em alguns casos, na Unidade de Negócios da Bacia de Campos (UN-BC), foram adotados o segundo modelo.

Conforme documentado na norma API MPMS 5.8, que trata da medição de líquidos hidrocarbonetos por meio de medidores ultra-sônicos do tipo tempo de trânsito, o uso deste tipo de medidor em condições diferentes (por exemplo: instalações) às de calibração podem gerar diferenças entre resultados.

Pode-se observar, conforme ilustrado na Fig. 13, extraída dos resultados de calibrações de um mesmo medidor, num mesmo período, em laboratórios diferentes, com sistemas de calibração diferentes e com fluidos diferentes, que o desempenho do medidor foi afetado, apesar dos dois laboratórios atenderem aos requisitos de instalação descritos na norma API MPMS 5.8 para os comprimentos de trecho reto de medição à montante e à jusante do medidor.

As diferenças nos resultados indicados na Fig. 13 motivaram o presente estudo sobre os efeitos no desempenho de medidores ultra-sônicos do tipo tempo de trânsito, considerando diferentes instalações sem ferir as recomendações normativas.

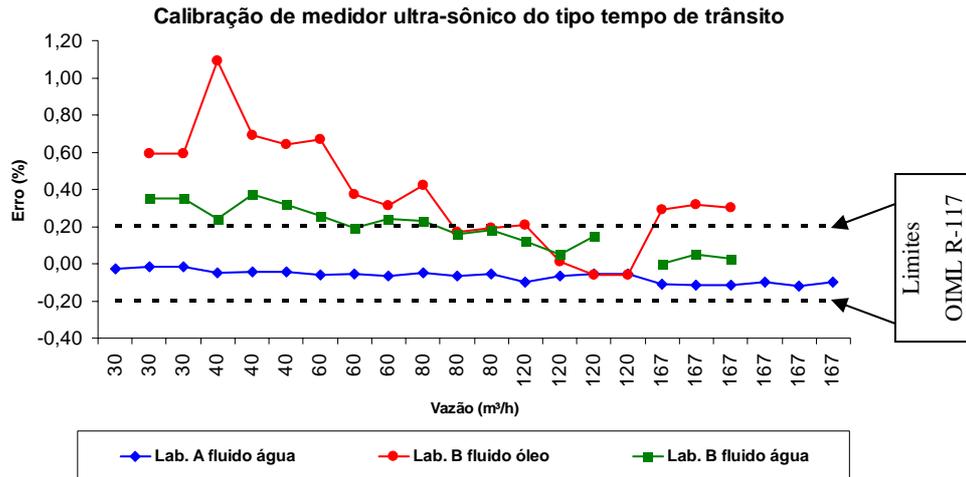


Figura 13 — Diferenças de erros relativos entre laboratórios

Este trabalho encontrou motivação nas seguintes questões:

1^a) existem laboratórios acreditados para calibração volumétrica no Brasil, mas que possuem instalações diferentes e que podem gerar resultados diferentes em termos de erro e repetitividade;

2^a) nem sempre as instalações de laboratório reproduzem as condições de operação no campo;

3^a) que tanto as recomendações do fabricante e as recomendações do API MPMS 5.8 [13] não tratam de efeitos causados por acidentes imediatamente a montante do trecho de medição;

4^a) o estudo pode contribuir com informações relevantes se considerarmos que a recomendação API MPMS 5.8 é recente (1^a Edição em Fevereiro de 2005) e que a ISO/TR-12765 [14], de 15 de novembro de 1998, está em fase avançada de nacionalização pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);

5^a) por fim, este trabalho presta uma importante contribuição ao INMETRO, no processo de acreditação de laboratórios na área de vazão, para que façam parte da Rede Brasileira de Calibração (RBC).

1.7 Objetivos

Este trabalho se propõe a apresentar uma análise para aprovação de um medidor ultra-sônico do tipo tempo de trânsito, considerando os requisitos metrológicos da Recomendação OIML-R117 [5], e ainda contribuir:

- a) Para o avanço da normalização no setor;
- b) Para o aprimoramento dos critérios de acreditação de laboratórios que realizam a calibração de medidores de vazão e,
- c) Para a capacitação profissional do autor, diretamente envolvido com diferentes aspectos da medição no setor de petróleo e gás na Petrobrás e,
- d) Para o melhor entendimento da tecnologia de medição e do processo de calibração de vazão de líquidos por ultra-som.

Adicionalmente às questões já citadas no item 1.6, os seguintes fatores também motivaram o desenvolvimento do presente trabalho:

1ª) O erro relativo e a repetitividade na calibração de medidores ultra-sônicos do tipo tempo de trânsito são afetados pelas condições de instalação, pelo sistema de calibração, pelo volume provado e pelo atraso no sistema de aquisição de dados do medidor (atraso na contagem de pulsos);

2º) Que os requisitos de instalação definidos pelos fabricantes e pelas normas [13] não são suficientes para garantir o atendimento aos requisitos de erro relativo e da repetitividade definidos na OIML R-117 [5], na calibração de medidores ultra-sônicos.

1.8 Estruturação

O Capítulo 2 resume sobre os princípios teóricos que fundamentam a medição por ultra-som, com o objetivo de subsidiar as análises desenvolvidas, as conclusões da pesquisa e as recomendações propostas neste trabalho. O Capítulo 3 desenvolve os procedimentos experimentais aplicados no estudo, descrevendo as características dos ensaios realizados e as instalações de cada laboratório. No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios em condições distintas em cada laboratório. Por fim, o Capítulo 5 descreve as conclusões e recomendações sobre os resultados obtidos nas condições de ensaio estabelecida nesta pesquisa.