



COMPLEMENTAÇÃO NO ATENDIMENTO AOS REQUISITOS METROLÓGICOS LEGAIS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Francisco Javier Aguilera Camacho ¹, Walace Ferreira de Arantes²

¹ Mentor Metrologia, paco@mentormetrologia.com.br

² Profissional da indústria do petróleo, wfarantes@gmail.com

Resumo: Os bons resultados dos sistemas de medição não se garantem unicamente mediante um projeto adequado e um controle metrológico legal, mas resultam também de um acompanhamento permanente das grandezas associadas ao mensurando. Este artigo apresenta como este desafio pode ser superado mediante a aplicação de práticas de gestão, demonstrando alguns casos relevantes sobre a análise de resultados de uma medição.

Palavras chave: controle metrológico legal, rastreabilidade metrológica, sistema de gestão de medição.

1. INTRODUÇÃO

A finalidade de um sistema de medição é medir de maneira correta, seja para garantir a justa arrecadação de impostos, o atendimento a requisitos legais, a equidade nas transações comerciais, o faturamento da empresa ou na segurança das instalações. Os resultados emitidos pelos sistemas de medição quando corretamente validados proporcionam informações valiosas que auxiliam na tomada de decisões.

A tomada de decisões para intervenção do processo, análise de periodicidade de calibração, necessidade de ajuste, ou num caso extremo, modificação do sistema de medição deve estar baseada na análise de informações integradas e consistentes que só podem ser alcançadas com um sistema de gestão eficiente.

Todos os sistemas de medição são projetados, construídos e operados visando obter resultados confiáveis. Em outras palavras, sem erro, quando possível, ou com ele conhecido, e sempre dentro dos limites estabelecidos conforme os Requisitos Metrológicos do Cliente (RMC).

Os resultados dos sistemas de medição só podem ser considerados confiáveis, quando ocorre uma exaustiva busca pelo conhecimento das variáveis envolvidas e, conseqüentemente, de seu monitoramento contínuo.

Os objetivos do sistema de gestão de medição devem estar definidos claramente, sendo comunicados a todos os envolvidos no processo de medição. Os objetivos devem ser mensuráveis, possibilitando a geração e monitoramento por indicadores de desempenho.

2. OBJETIVOS.

- Mostrar o gerenciamento metrológico em sistemas de medição.
- Evidenciar a necessidade do gerenciamento de sistemas de medição para o atendimento integral das especificações do cliente, estabelecidos em requisitos de normas técnicas, de contratos ou de regulamentações legais.

3. CONCEITOS E DEFINIÇÕES.

3.1. Controle metrológico legal.

Conjunto de atividades de metrologia legal, visando a garantia metrológica. Nota: *O controle metrológico legal compreende: controle legal dos instrumentos de medição; a supervisão metrológica; a perícia metrológica.*

3.2. Sistema de gestão de medição.

Conjunto de elementos inter-relacionados e interativos, necessários para obter a comprovação metrológica e o controle contínuo dos processos de medição.

3.3. Processo de medição.

Conjunto de operações para determinar o valor de uma grandeza.

3.4. Rastreabilidade metrológica.

Propriedade de um resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.

3.5. Comprovação metrológica:

Conjunto de operações necessárias para assegurar que um equipamento de medição atende aos requisitos do seu uso pretendido.

3.6. Função metrológica:

Função com responsabilidade técnica e administrativa para definir e implementar o sistema de gestão de medição.

4. CONHECIMENTO DO PROCESSO.

A medição de vazão é considerada uma operação complexa, devido à grande diversidade de fluidos que podem ser medidos, assim como pela grande quantidade de condições operacionais (pressão, temperatura, tipo de escoamento) ou ainda pela variedade de normas de referência de distintas origens, que podem ser aplicadas a um mesmo processo utilizando diferentes tecnologias de medição.

Além do exposto anteriormente, a maior dificuldade na realização da medição de vazão é, de fato, o grande número de grandezas de influência envolvidas, tornando complexos os modelos matemáticos de medição. A figura 1 ilustra de forma simplificada os fatores que afetam a medição de vazão.

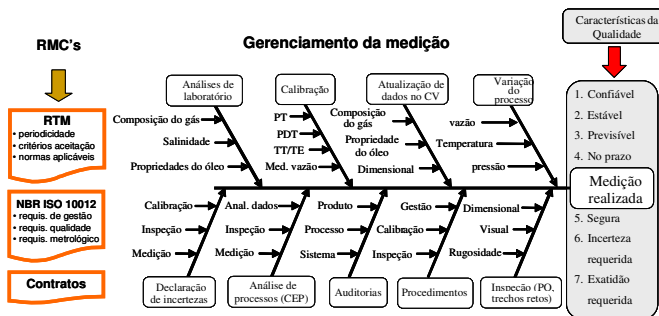


Figura 1. Sistema de Gestão da Medição e seus fatores relevantes.

4.1. Incertezas de medição.

Cabe mencionar que com grande frequência as condições de processo têm um papel muito importante no resultado de uma medição e quando estes fatores não são considerados, os resultados obtidos podem apresentar desvios importantes.

Ao deixar de considerar o comportamento de uma grandeza no processo de medição o resultado pode ser modificado de maneira significativa e as incertezas de medição envolvidas estarão subestimadas.

Uma estimativa de incerteza de medição consistente deve considerar tipicamente as seguintes fontes: a calibração e a resolução dos instrumentos, as condições ambientais e a reprodutibilidade. Outras fontes não menos importantes, mas quase sempre desprezadas, são: as contribuições pelas variações das grandezas medidas (temperatura, pressão, etc.), os residuais dos ajustes das calibrações, a incerteza dos próprios modelos matemáticos, e a utilização dos instrumentos em condições diferentes às de calibração.

4.1.1. Exemplo 1 - medição de volume em tanque vertical.

A medição de volume contido num tanque vertical nas condições de base de líquido pode ser considerada uma medição simples e corriqueira, executada mediante a medição do nível do líquido contido no interior do tanque, a medição de temperatura e massa específica do líquido mediante amostragem.

Tipicamente a medição de temperatura do líquido no interior do tanque (figura 2) é feita utilizando termômetros de líquido em vidro acoplados em cubas, as quais são lançadas no interior do tanque desde a boca de medição, e posteriormente elevadas novamente para registrar a temperatura, tomando no máximo três temperaturas correspondentes ao nível baixo, médio e alto no tanque.

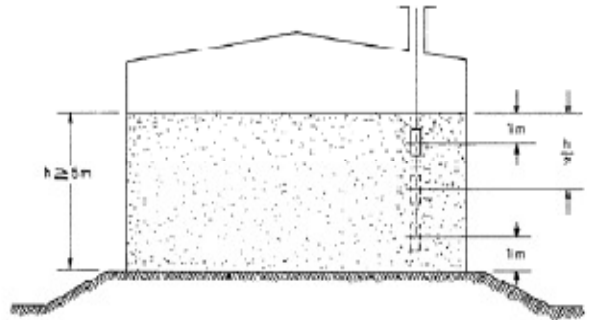


Figura 2. Medição de temperatura em tanques verticais.

No melhor dos casos será conhecida a temperatura média das amostras coletadas e o gradiente de temperatura na vertical. O problema é que não se conhece a temperatura em outros locais ao interior do tanque, nem o gradiente radial de temperatura, ou seja, o fluido pode não ser estável termicamente o suficiente. Este fenômeno também ocorre durante a amostragem do líquido para a determinação da massa específica.

Um erro de 10 °C na medição da temperatura do líquido no tanque pode ocasionar um erro no volume nas condições de base (20 °C) de até 1,5 %, dependendo do fluido medido.

4.1.2. Exemplo 2 - Medição vazão de gás natural.

Na medição de vazão de gás natural pelo princípio de pressão diferencial utilizando como elementos primários a placa de orifício e os trechos retos de medição são contabilizados mais de 10 variáveis envolvidas, em sua grande maioria dinâmicas.

Em função do modelo matemático utilizado para o cálculo desta vazão, o qual está proposto na norma *API-MPMS, Chapter 14- Natural Gas Fluids Measurement, Section 3 - Concentric, Square-Edged Orifice Meters, Part 2-Specification and Instalation Requirements*, a omissão da contribuição de incerteza pelo desconhecimento no comportamento de uma das variáveis pode invalidar a estimativa de incertezas.

$$Q_b = C \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot Y \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho_o} \cdot \frac{1}{\rho_b}$$

Por exemplo, uma oscilação de 5 % na pressão diferencial (Δp) devida a um processo de operação não estável, pode duplicar a incerteza da medição ($U[Q_b]$) de vazão nas condições de base de 20 °C e 101325 Pa.

Tabela 1. Influência do processo na incerteza de vazão de gás por placa de orifício.

Oscilação ΔP	$U(Q_b)$ k=2	Oscilação ΔP	$U(Q_b)$ k=2
0%	0,81%	4%	1,39%
1%	0,86%	5%	1,63%
2%	0,99%	6%	1,89%
3%	1,17%	7%	2,15%

As figuras 3, 4 e 5 mostram a contribuição das fontes de incerteza no resultado final.

Na figura 3 não são consideradas as contribuições devidas ao processo.

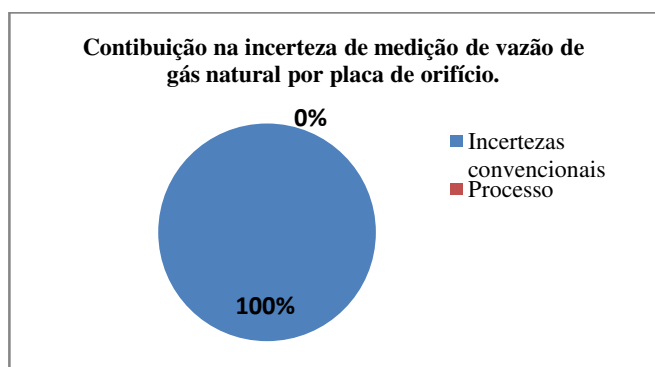


Figura 3. Contribuição das fontes de incerteza sem considerar o processo.

Na figura 4 é considerada uma contribuição de 5 % devida à instabilidade da temperatura no processo.

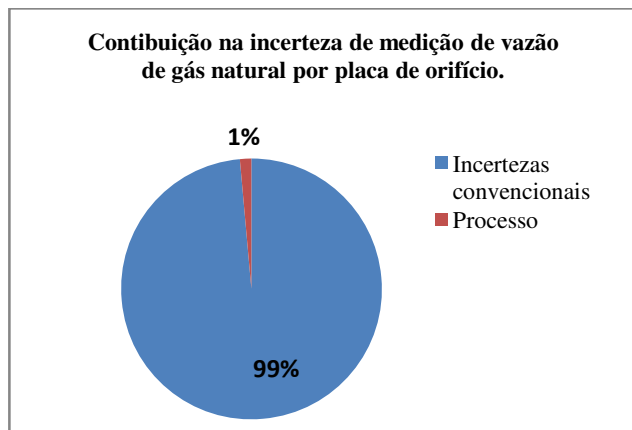


Figura 4. Contribuição das fontes de incerteza considerando apenas a instabilidade de uma variável no processo.

Na figura 5 são consideradas contribuições de 5% devidas à instabilidade na pressão diferencial, pressão e temperatura no processo.

O fato de se não considerar a influência das condições operacionais nos processos de medição pode levar a subestimar as incertezas de medição influenciando diretamente o resultado da avaliação de conformidade.

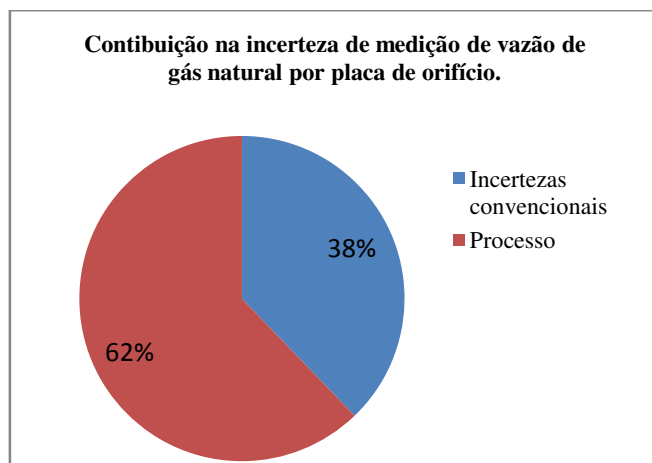


Figura 5. Contribuição das fontes de incerteza considerando um efeito combinado em três variáveis devidas a instabilidade do processo.

5. SISTEMA DE GESTÃO.

Por muito tempo a gestão de sistemas de medição foi encarada como a calibração de instrumentos seu controle de periodicidade mediante certificados e etiquetas de calibração.

O gerenciamento da medição não se limita a calibração dos instrumentos individualmente ou de um sistema. Considera ainda:

- O comportamento das variáveis que influenciam o processo de medição;
- Se os equipamentos operam dentro dos limites especificados e,
- Se os resultados da medição são compatíveis com o processo de medição.

A norma NBR ISO 10012 - Sistemas de Gestão de Medição – Requisitos para os processos de medição e equipamento de medição, estabelece que “*um sistema de gestão de medição eficaz assegura que o equipamento de medição e os processos de medição são adequados para seu uso pretendido e é importante para atingir os objetivos da qualidade do produto e gerenciar o risco de resultado de medição incorreta*”.

O texto anterior em destaque estabelece de forma clara o caminho para se alcançar os resultados que satisfaçam os Requisitos Metrológicos do Cliente (RMC)¹. Assegurar que processos de medição sejam corretamente especificados para atender às necessidades do cliente carece de certa forma, de uma visão geral da referida norma. Isso é possível através da análise dos elementos ou fatores essenciais de um sistema de gerenciamento aplicável a qualquer atividade industrial, como mostra a figura 6.

¹ São as características da qualidade de um produto expressos em grandezas mensuráveis, definidas no item A-2 da NBR ISO 10012:2004.

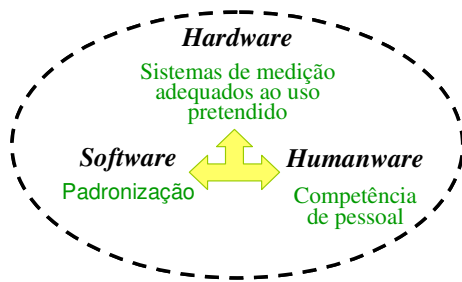


Figura 6. Sistema gerencial genérico

Para cada elemento (ou fator) do sistema, existe uma abordagem específica na norma.

- **Hardware** - Equipamentos e instrumentos do sistema de medição: O item 4 “Requisitos gerais” da norma [5] descreve a responsabilidade da organização na especificação dos equipamentos dos sistemas de medição: “A organização deve especificar os processos de medição e o equipamento de medição”.
- **Software** - Documentos (procedimentos e registros) do sistema de medição: O item 6.2.1 “Procedimentos” da norma [5] descreve: “Os procedimentos do sistema de gestão de medição devem ser documentados na extensão necessária e validados para assegurar a implementação adequada, sua consistência de aplicação e a validade dos resultados de medição”.
- **Humanware** - Profissional com competência para o gerenciamento e a execução das tarefas de rotina do sistema de medição: O item 6.1 “Recursos humanos” da respectiva norma [5] apresenta de forma clara e objetiva os requisitos para assegurar a competência dos envolvidos nas atividades de medição (gestão e execução).

Desta maneira, observa-se que há uma semelhança da Gestão da Medição com os demais sistemas tradicionais de gestão. Com isso, o elemento humano torna-se fundamental para assegurar o atendimento dos objetivos da norma. Deste modo, é de vital importância o investimento na qualificação e a contínua avaliação da competência dos profissionais que irão manter, controlar e analisar os processos de medição.

Este investimento também produzirá o desenvolvimento de know-how (procedimentos; técnicas inovadoras) garantindo assim o domínio tecnológico de todo o sistema de medição.

5.1. Comprovação metrológica.

Os critérios para a avaliação da conformidade metrológica devem estar definidos no sistema de gestão e ser claros para os envolvidos no processo de medição. O erro, a incerteza, a linearidade, a deriva, a tendência e o uso pretendido são algumas das características (ou parâmetros) utilizadas para auxiliar na avaliação e definição da comprovação metrológica de instrumentos ou sistemas de medição (ver figura 7).

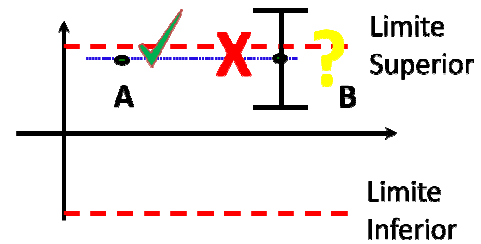


Figura 7. Avaliação de conformidade.

Para que uma “medida tenha significado comunicável”, o resultado de uma medição (pode ser expresso em erro absoluto ou relativo, por exemplo) deve ter associado a ele uma informação de dúvida sobre o valor declarado.

Na Metrologia, esta dúvida é chamada de incerteza da medição. A análise de conformidade ao RMC, considerando essas duas informações (erro +/- incerteza) pode ser realizada utilizando um método recomendado pela norma ISO 14253 [8] e demonstrado na figura 8.

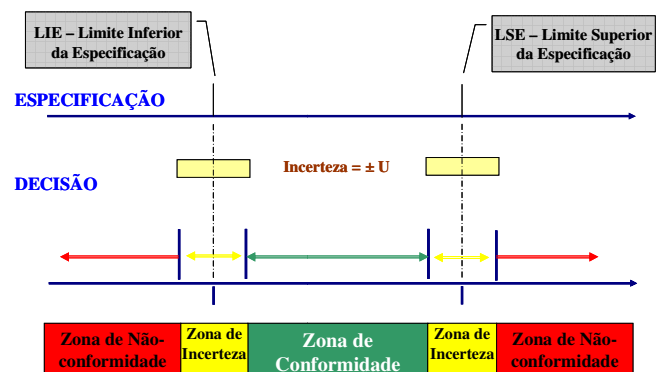


Figura 8. Avaliação de conformidade.

5.2. Validação dos resultados.

Os resultados de medição emitidos através de planilhas de cálculo ou por um software específico, sejam eles na forma de certificados de calibração, relatórios de incertezas, análises de conformidade ou balanços de massa devem ser validados antes de sua liberação para uso e periodicamente após sua implementação, pois estes resultados influem de maneira direta na tomada de decisões.

O grau de investimento de recursos na validação dos resultados deve ser proporcional ao risco envolvido.

Atenção especial deve ser dada à ocorrência de mudanças significativas no processo que está sendo medido. Existem ocasiões que tais mudanças podem ocasionar resultados já validados anteriormente e não correspondam a nova realidade.

6. GERENCIAMENTO DA INFORMAÇÃO.

O sistema de gestão deve estar sustentado em procedimentos documentados e registros, devidamente controlados, protegidos, armazenados, e acessíveis para consultas do usuário, ou ainda nos casos de auditorias e inspeções compulsórias.

Em função da grande massa de dados e volume de informações (ver figura 9) gerados pelos sistemas de medição é indispensável a utilização de *softwares* de gestão de medição.

É desejável que o *software* para gerenciar os sistemas de medição seja flexível, permitindo a caracterização dos modelos de cálculo de cada processo de medição em particular, considerando no mínimo as tecnologias de medição envolvidas, normas de referência, instrumentos que compõem o sistema de medição e as condições do processo que influem nos resultados.

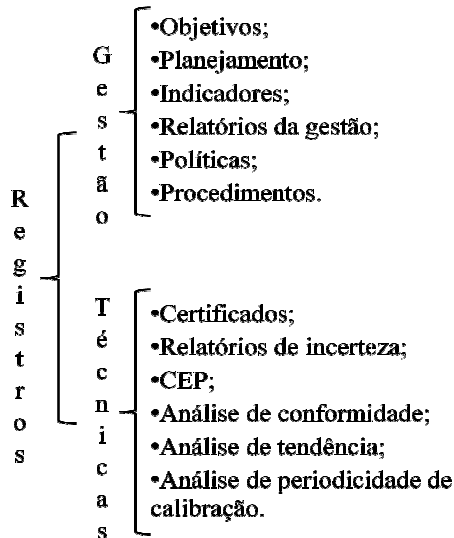


Figura 9. Informações no software de gestão.

Por exemplo, para calcular a vazão de um sistema de medição de gás por pressão diferencial utilizando placa de orifício, é necessário medir mais de dez variáveis. Desta forma, o volume de informações geradas por um único sistema de medição é consideravelmente grande.

Se multiplicarmos estas dez variáveis de cada sistema de medição pelo número de sistemas de medição instalados numa refinaria, num terminal de distribuição ou numa plataforma de produção de petróleo teremos um volume enorme de dados para serem processados, sendo indispensável contar com um *software* de gestão adequado.

7. FERRAMENTAS.

Na rotina de gerenciamento de um sistema de gestão da medição os métodos e ferramentas estatísticas (ou da qualidade) são largamente aplicados, auxiliando e agilizando a tomada de decisão e fornecendo credibilidade dos resultados das medições. Alguns patrocinadores e ícones da propagação desses métodos e ferramentas deixaram registrados discursos semelhantes sobre a importância da utilização desses recursos:

- Werkema [9] - “a avaliação estatística da qualidade das medidas deve ser parte integrante do gerenciamento de processos”;

- Dr. William Edwards Deming [10] - “o que se registra ao final de uma determinada operação de medição é o último produto de uma longa série de operações, desde a matéria-prima até a operação de medição propriamente dita. A medição é, pois, a parte final deste processo. Assim, do mesmo modo como é vital controlar estatisticamente as outras partes deste processo, é vital controlar-se estatisticamente o processo de medição; caso contrário, não há medida que tenha significado comunicável”;

- Helman, Horácio [11] - “os métodos de Análise de Árvore de Falhas e Análise do Modo e Efeitos das Falhas permitem uma avaliação sistemática e padronizada de possíveis falhas, estabelecendo suas conseqüências e orientando a adoção de medidas corretivas e preventivas”;

- Feigenbaum, Armand V. [12] - “O “ponto de vista estatístico” resume-se, essencialmente, nisto: a variabilidade na qualidade do produto deve ser constantemente estudada em equipamentos de processo e em características críticas”.

Seja qual for a ferramenta utilizada no gerenciamento da medição, ela deve prover ao usuário e ao gestor do sistema, clareza suficiente para interpretar e analisar resultados. O método PDCA para controle de processos tem sido utilizado nas tradicionais normas afins para definição do modelo de sistema de gestão. A aplicação deste método pressupõe o uso de ferramentas da qualidade, como por exemplo: a análise de correlação, a análise de tendência; a análise de conformidade; a análise de causas e efeitos, o controle estatístico de processo, entre outras.

Uma dessas ferramentas vitais no gerenciamento de processos é CEP (Controle Estatístico de Processo), que promove uma estreita relação entre o usuário e processo. O fruto desta relação resulta em que o usuário desta ferramenta torna-se capaz de analisar e responder com rapidez os motivos de não conformidades num sistema de medição. Segundo Feigenbaum [12] os motivos estão sempre relacionados com causas usuais e não usuais. Por isso, é fundamental no gerenciamento da medição o uso de métodos e técnicas estatísticas que auxiliem na descoberta dessas causas.

A figura 10 mostra um exemplo de monitoramento de um sistema de medição utilizando o CEP.

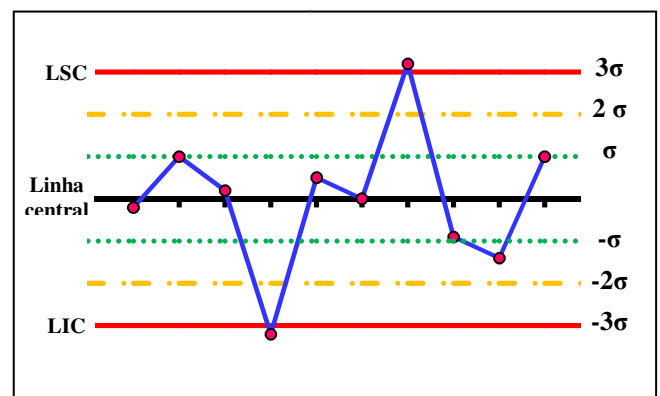


Figura 10. Exemplo de um gráfico X_{barra}

8. AUDITORIAS E MONITORAMENTO.

A auditoria do sistema, seja ela de primeira, segunda ou de terceira parte, é um processo indispensável dentro da gestão da medição. Nesse processo é possível conhecer o desempenho da gestão implantada, identificando em cada processo suas vulnerabilidades em relação aos RMC e demais requisitos previstos em outras especificações do cliente ou regulamentações.

As auditorias têm papel fundamental no gerenciamento, fornecendo os insumos para corrigir e melhorar o sistema de gestão da medição. As diretrizes descritas na norma ABNT NBR ISO 19011 apontam para a necessidade de se estabelecer um programa de auditorias, capacitar e avaliar a competência de auditores e, sobretudo, estabelecer uma independência entre as áreas auditadas e as equipes de auditores.

9. INDICADORES.

Através das auditorias e análises críticas periódicas é possível mensurar objetivos e criar indicadores de desempenho que possibilitam a prevenção de falhas e a correção destas, caso tenham ocorrido.

Estes indicadores devem ser claros na sua interpretação, visando sempre expor aos envolvidos o real estágio do sistema de gestão de medição.

Exemplos de indicadores pode ser a pontualidade na entrega dos serviços, redução de produtos não conformes, melhoria no controle dos processos de medição.

10. CONCLUSÕES.

A gestão de processos de medição é uma atividade indispensável para garantir os resultados de um sistema de medição, sendo hoje facultativa, porém compulsória num futuro próximo, conforme expresso na minuta da consulta pública da Portaria Conjunta N° 1 ANP/INMETRO de junho/2010.

A gestão dos sistemas de medição não é exclusiva da função metrológica nem do setor da qualidade da empresa, pois todos os envolvidos nos processos de medição devem estar cientes de suas contribuições para os resultados, e suas conseqüências, sejam elas técnicas, legais ou econômicas.

O correto monitoramento do sistema de gestão proporciona informação valiosa para evitar falhas sistemáticas, corrigir problemas identificados e prevenir futuros desvios.

A aplicação de métodos e ferramentas da qualidade na gestão dos sistemas de medição proporciona informações indispensáveis para agilizar a tomada de decisões.

O impacto nas melhorias nos resultados dos sistemas de medição é diretamente proporcional ao entendimento dos processos envolvidos direta ou indiretamente na medição. Ações isoladas só geram melhorias localizadas sem impacto efetivo.

REFERÊNCIAS

1. Portaria Conjunta N° 1 ANP/INMETRO, de 19 de junho de 2000 - Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural.
2. Portaria Inmetro n° 64 de 11 de abril de 2003. 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.
3. Aprimoramentos da minuta da consulta pública. Anexo: Portaria ANP/Inmetro 2010.
4. Portaria n.º 15/67 do INPM.
5. Norma ABNT NBR ISO 10012:2004 Sistemas de gestão de medição – Requisitos para os processos de medição e equipamento de medição.
6. VIM: 2009 – Vocabulário Internacional de Termos e Definições em Metrologia (Portaria 369 do INMETRO).
7. API-MPMS, Chapter 14 – *Natural Gas Fluids Measurement, Section 3 – Concentric, Square-Edged Orifice Meters.*
8. Norma ISO 14253-1 - Especificações Geométricas de Produtos (GPS) – Inspeção por meio de medição de peças e equipamentos de medição. Parte 1: Regras decisórias para avaliar a conformidade ou a não conformidade com as especificações. 1a ed. Suíça, 1998.
9. Werkema, M.C.C. 1996 - *Avaliação da Qualidade de Medidas - Vol. 13 da Série Ferramentas da Qualidade*, FCO, Escola de Engenharia da UFMG.
10. Bissel, D. (1994). *Statistical Methods for SPC and TQM*, Champman & Hall. London.
11. Helman, Horácio 1995 - *Análise de falhas (aplicação dos métodos de FMEA - FTA) - Vol. 11 da Série Ferramentas da Qualidade*, FCO, Escola de Engenharia da UFMG.
12. Feigenbaum, Armand V., Controle da qualidade total, v.3, Métodos Estatísticos Aplicados à Qualidade, 1994.
13. www.inmetro.gov.br
14. www.anp.gov.br
15. www.oiml.org
16. www.ilac.org