

## **CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA O PROCESSO PRODUTIVO**

Delcio Joaquim de Almeida - [delcioja@oi.com.br](mailto:delcioja@oi.com.br) - Especialista em Engenharia da Qualidade - Black-Belts  
/ FEAMIG

Felipe Sehnem – [sehfel@gmail.com](mailto:sehfel@gmail.com) - Especialista em Gestão da Qualidade / UFPR e Engenharia da  
Qualidade - Black-Belts / FEAMIG

Resumo: Este trabalho tem como objetivo demonstrar como a Análise dos Sistemas de Medição (MSA) pode influenciar positivamente na melhoria de processos de fabricação. A concepção de um Sistema de Medição (SM) tem como ponto de partida a característica a ser medida, detalhada e descrita criticamente na PFMEA e conseqüentemente requerida no Plano de Controle. A tolerância da característica é o ponto de partida para definição do nível de precisão necessário. As propriedades Repetitividade e Estabilidade estabelecem o nível da robustez construtiva do conjunto SM. A MSA nos fornece informações para se configurar um Sistema de Medição mais apropriado à característica a ser medida assim como também a manutenibilidade durante o uso. Os resultados da MSA demonstram, por meio de suas técnicas e métodos de análise, o nível da confiança – incerteza – que podemos depositar em um Sistema de Medição e conseqüentemente nos produtos. Se não temos uma métrica de qualificação e quantificação de nossos Sistemas de Medição, não temos como afirmar que os valores extraídos do processo são confiáveis.

**Palavras-chave:** Sistemas de Medição, Análise de Sistemas de Medição, MSA, Concepção e Construção Sistema de Medição, Quebra de Paradigma, FMEA.

## 1 INTRODUÇÃO

A globalização da economia e a uniformização dos sistemas da qualidade adotados, impõe à indústria exigências superiores em termos de qualidade e normalização que no desdobramento traduz-se em conformidade, regularidade, estabilidade e confiabilidade dos produtos. Processos de medição confiável no chão de fábrica, com pequenas variações têm papel fundamental e determinante na garantia da qualidade e competitividade de modo a satisfazerem às práticas internacionais e conseqüentemente participar das redes globais de fornecedores.

Para que se tenha uma avaliação satisfatória do desempenho dos processos produtivos, a sistemática e os métodos de medição devem estar sob o domínio do contexto da gestão industrial e suas respostas devem apresentar resultados simples ao entendimento do usuário e ao mesmo tempo confiáveis na visão do cliente final.

Apesar do produto mola helicoidal não exigir um parque de máquinas com alta tecnologia e precisão, o processo de sua fabricação requer conhecimentos específicos da metalurgia do aço. A necessidade de modernização dos processos e redução nos custos de manutenção levou a empresa ABC a desenvolver uma nova máquina para medir Força versus Deslocamento de uma Mola Helicoidal com requisitos de ergonomia sensivelmente melhorados ao operador/alimentador sem a preocupação das técnicas atualizadas da Metrologia. Uma avaliação e critérios de qualidade da estrutura desta máquina foram baseados nos equipamentos já existentes para esta função.

### **1.1 Problemática**

Reconhecendo esta máquina ser um Sistema de Medição, os conceitos básicos de Metrologia como Calibração e Repetibilidade & Reprodutibilidade (R&R) têm se considerado como critérios de aceitação, porém sem a preocupação de se comparar estes dados à largura da tolerância exigida no processo atual. Baseado nestas informações pergunta-se, o processo de medição atual é confiável?

## 1.2 Justificativa

A justificativa deste trabalho está relacionada à necessidade de verificação do processo / sistema de medição atual e adequação do mesmo de modo a propiciar a confiabilidade e conseqüentemente o alcance do lucro desejado pela organização.

## 1.3 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo aplicar na prática os conhecimentos adquiridos das metodologias de MSA e FMEA de modo a alcançar a adequação do processo / sistema de medição atual e o tornar confiável e robusto suficiente para garantir o retorno almejado em termos de qualidade e lucratividade.

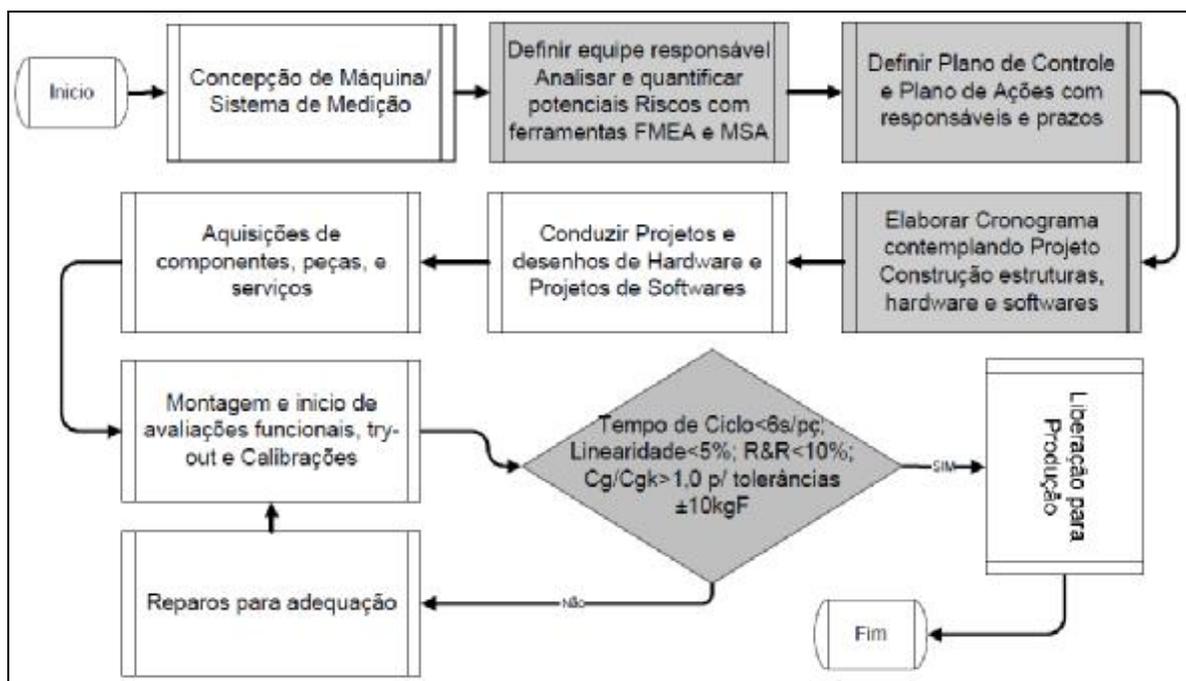


Figura 1 – Processo de Concepção e Construção de Máquina de Medir

Fonte: os autores (2009).

Para que sejam atingidas metas de confiabilidade e de credibilidade são indispensáveis sistemas de medição e padrões com rastreabilidade assegurada. Sabe-se que a qualidade principal de um sistema ou padrão de medição é a de medir com o mínimo erro, isto é, um sistema de medição de boa qualidade deve ser capaz de apresentar resultados com pequenos erros de medição e, para isto seus princípios construtivos e operacionais devem ser projetados para minimizar os erros de medição. Entretanto, por melhores que sejam suas características sempre

apresentará erros. A perfeita caracterização destes erros é de grande importância para que o resultado possa ser determinado de maneira segura. Embora, em alguns casos, os erros de um sistema de medição possam ser analítica ou numericamente calculados, na prática são utilizados procedimentos experimentais quase que exclusivamente. Com o desenvolvimento tecnológico, cada vez mais aumentam as exigências em termos de conhecer e melhorar a incerteza dos sistemas de medição, característica esta que é assegurada através da calibração dos instrumentos acrescida da avaliação de sua capacidade (Gage Capability). Atualmente podem-se caracterizar importantes tarefas de caráter técnico/científico que se fundamentam nos resultados de uma calibração e respectivas análises (MSA).

Um paradigma precisa ser mudado quando falamos de MSA - Análise do Sistema de Medição MAS (2004). Remanescente ainda da 2ª.Ed. do manual MSA existe o hábito de identificar os instrumentos, dividi-los por famílias e realizar os estudos. Todas as atividades claramente destinadas a passar pelas auditorias ISO TS 16949:2002. Na 3ª. Ed. este manual descreve já no capítulo I, seção A que, o sistema de medição é uma coleção de instrumentos ou dispositivos, padrões, operações, métodos, softwares, ambiente e premissas adotadas para quantificar a medida para a característica a ser estudada. Não é somente o instrumento ou dispositivo de medição. Pode ser, por que não, uma inspeção visual. Você já imaginou que, numa inspeção visual, os avaliadores podem estar utilizando critérios diferentes e, a empresa enviando ao seu Cliente ora produtos bons ora produtos ruins?

Na seção B, ainda no capítulo I, é apresentada uma figura que representa o sistema de medição como uma caixa preta (Black Box), ou seja, todos nós apenas queremos saber do que entra e do que sai num sistema de medição. Por isto que, tendemos a aceitar a idéia de que tudo se resume no instrumento ou dispositivo de medição. Os autores do manual reforçam a idéia de que não é bem assim e que, devemos estudar todos os sistemas de medição definidos para os seus produtos. Mas esta idéia contradiz com a prática de definir famílias. E o que fazer?

O próprio manual de MSA dá a solução. Ele recomenda analisar o Plano de Controle, que por seqüência é elaborado a partir do FMEA – Análise dos Efeitos e Modos de Falhas. Diante disto é possível estabelecer que apenas as características com risco alto ou severidade alta é que merecem ser estudadas. E, esta idéia vai de encontro às atividades de APQP - Planejamento Avançado da Qualidade do Produto

- que requerem a adoção de um Plano de MSA elaborado a partir da definição das chamadas características especiais. Ou seja, somente para aqueles casos que colocam em risco o produto ou o processo.

O paradigma muda exatamente aqui com o uso do Plano de Controle associado aos altos riscos do FMEA, quando você terá alguns poucos e efetivos estudos para fazer e, ainda mais, verdadeiros que proporcionam resultados e economia para a empresa. O Sistema da Qualidade e, os planejamentos da qualidade que são aplicáveis ao produto e processo se tornam mais eficazes.

Revedo este conceito as empresas estarão em condições de economizar recursos, pois as execuções de estudos de MSA demandam tempo e dinheiro que, são extremamente caros quando terceirizados. Por outro lado, e mais importante, estarão em condições de estudar aqueles sistemas de medição que efetivamente são impactantes para seu negócio e, passíveis de recuperação do investimento e aplicação adequada do corpo técnico e mão-de-obra.

Com esta nova forma de executar o MSA adotada pelo manual da edição 3, visa proporcionar resultados efetivos para o produto, processo e sistema da qualidade da empresa, direcionando-se para o desempenho dos mesmos e, proporcionando ganhos efetivos à empresa.

Em resumo, não é para passar em auditorias e sim para validar o dinheiro investido pela empresa. A alta administração e o seu cliente vão aprovar certamente esta nova postura com a adoção da nova edição do MSA na empresa.

Considerando a importância da concepção, da análise, da validação, da calibração de sistemas de medição e respectivos padrões de referência, sem esquecer as dificuldades financeiras encontradas nas diversas empresas brasileiras quando se trata deste assunto, o objetivo deste trabalho é o de discutir as questões de métodos e benefícios associados.

## **2 METODOLOGIA**

Segundo Andrade (2006), metodologia é um conjunto de caminhos a serem percorridos na busca do conhecimento.

## **2.1 Natureza da pesquisa**

Este trabalho caracteriza-se por ser uma pesquisa quantitativa, pois envolve uma abordagem interpretativa sobre os resultados numéricos a serem elencados como primordiais para a visualização do status atual do processo/sistema de medição.

Nesta fase quantitativa, serão definidos alguns métodos de verificação aplicáveis ao processo aos quais servirão de veículo para obtenção de dados a serem transformados em informação, baseado nas ferramentas de MSA E FMEA.

## **2.2 Tipo de pesquisa**

Segundo Vergara (1997) existem dois critérios básicos de definição de pesquisa, eles se distinguem quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins a pesquisa pode ser exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada ou intervencionista.

Quanto aos meios de investigação a pesquisa pode ser de campo, pesquisa laboratório, documental, bibliográfica, experimental, ex post facto, participante ou pesquisa ação.

Para realização desta pesquisa será utilizado quanto aos fins o método exploratório, onde serão obtidos dados já existentes do processo atual que serão avaliados e comparados após melhorias.

## **2.3 Tratamento dos dados**

Nesta pesquisa será adotado o método estatístico para tratamento dos dados, visto ao alto grau de confiabilidade ao qual pode gerar. A confiabilidade estatística a ser utilizada e também o erro amostral nos dará um grau de certeza e segurança dos dados os quais serão convertidos em informações.

Na análise de qualquer sistema de medição é conveniente observar que independente de qualquer método de avaliação deve-se verificar e definir, durante a concepção e construção, ou mesmo na solução de problemas de um processo de medição, alguns requisitos marginais como:

- Identificar a característica em questão;
- Estabelecer o método de avaliação;
- Determinar o campo de trabalho;

- Determinar a resolução do meio de medição;
- Observar velocidade máxima de medição;
- Observar indicação de exatidão;
- Considerar criticamente o local do trabalho quanto ao Meio Ambiente;
- Averiguar aptidão do local do trabalho.

Dependente do tipo de Sistema de Medição, diferentes métodos de análise podem ser utilizados. Neste caso temos um Sistema de Medição de operação automática comandado por CLP (Comando Lógico Programado) com saída de resultados de medição numérica variável, quando são requeridas as seguintes análises:

**Resolução** é a menor divisão da escala do sistema de medição. Para uma melhor discriminação dos dados medidos é recomendável uma resolução melhor que  $0,05 \times T$  (5% da Tolerância da característica). Exemplo: Especificação nominal  $\pm 10 \text{kgF}$ ;  $T = 20 \times 0,05 = 1,0 \text{kgF}$ .

**Cg/Cgk** (Gage Capability) – Processo de apuração da qualidade metrológica do Sistema de Medição, objetivando uma análise crítica construtiva do sistema de medição novo ou modificado ou reformado antes da liberação final do fornecedor. Esta avaliação contém as grandezas: repetitividade, exatidão e a tendência. (ver definições no Anexo 1 – itens 1.1; 1.2; 1.3; 1.6; 1.8; 1.9; 1.10; 1.11 e 1.13).

Ø Coleta de Dados: Operar o sistema medindo um Padrão (calibrado) com valor mediano a tolerância da característica. Repetir a medição 50x (mínimo 25x quando equipamento de ciclo automático) onde o Padrão deve ser retirado a cada ciclo. Registrar os valores para análise.

Ø Cálculo: **Cg =  $(0,2 \times T) / (4 \times s_g) > 1,0$** . Vinte por cento da Tolerância da característica dividido por quatro vezes o desvio padrão dos valores medidos sobre o Padrão deve ser maior que 1,0. (Método MSA 3a.Ed-ANOVA/Tolerância).

Ø Cálculo **Cgk =  $\{(0,1 \times T) - |\bar{X}_g - X_m|\} / \{(2 \times s_g)\} > 1,0$** . A divisão de dez por cento da Tolerância diminuída do módulo da Tendência por dois desvios padrão dos valores medidos deve ser maior que 1,0. (Método MSA 3a.Ed-ANOVA/Tolerância).

**Linearidade e Tendência** (ver definição no Anexo 1 – itens 1.14 e 1.6)

- Ø Referência: Selecionar  $n = 5$  pçs cujas medidas, devido a variação do processo, cubram o intervalo de operação do sistema de medição ou dispersão máxima do processo de fabricação. Determinar o valor real de cada peça com um sistema de medição de melhor resolução (rastreadável) para determinar o seu valor de referencia ou utilizar Peça de Referencia Calibrada.
- Ø Coleta de Dados: Medir cada peça ou padrão 10 vezes no sistema de medição em questão registrando os valores encontrados.
- Ø Cálculo: Regressão Linear conforme MSA 3a.Ed. quando o Intercepto (ponto de cruzamento com a Ordenada) e o Coeficiente angular devem ser menores 0,05 (5%).

**Gage R&R** (ver definição no Anexo 1 – item 1.11) – Repetitividade e dispersão total sem influencia de operador para Sistemas de Medição operados automaticamente.

- Ø Coleta de Dados: O sistema de medição é avaliado por medições com mínimo 25 peças do processo produtivo normal, preferencialmente que cubram a maior parte da amplitude da tolerância da característica em questão, com no mínimo uma replicação.
- Ø Cálculo conforme MSA 3a.Ed - ANOVA/Tolerância. Sugestão de software para avaliação “Minitab\ Stat\Quality Tools\Gage Study\Gage R&R Study (Crossed) \ Opções (indicar os limites de Tolerância)”.
- Ø Critério de aprovação recomendado pelo manual MSA:
  - ✚ Se R& R menor ou igual a 10%, Sistema de medição capaz, ou
  - ✚ Se R&R entre 10 a 30%, Sistema de medição condicionalmente capaz, ou
  - ✚ R&R maior que 30%, Sistema de medição não capaz.

### 3 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

Será descrito neste capítulo como ocorreu o desenvolvimento e a sistematização do estudo do sistema de medição e métodos auxiliares.

### 3.1 Avaliações funcionais e de Capacidade do Sistema de Medição.

A coleta de dados e respectivas avaliações seguindo instruções e métodos acima descritos e com ajuda de software, obteve-se os resultados abaixo em análise da Tendência e Linearidade, Cg/Cgk (Gage Capability) e R&R% (Repetitividade& Reprodutibilidade).

### 3.2 Avaliação da Linearidade e Tendência

Para a pré-avaliação do equipamento de medição de carga de molas utilizou-se um dinamômetro calibrado. A incerteza da calibração não está considerada nesta avaliação. Nos pontos 306,0; 611,8; 917,7; 1224,0; 1529,6 e 1835,5 kgF repetiu-se 10 medições, obtendo-se o resultado da Linearidade abaixo. A Tendência encontrada (Intercepto) -3,62 está distante do valor especificado de  $< \pm 0,05$  e a Linearidade (concordância com a linha 0,0 do gráfico), denominada Ajuste( $R^2$ ) igual a 0,315 (31,5%) também distante do limite especificado de máximo 0,05 (5,0%).

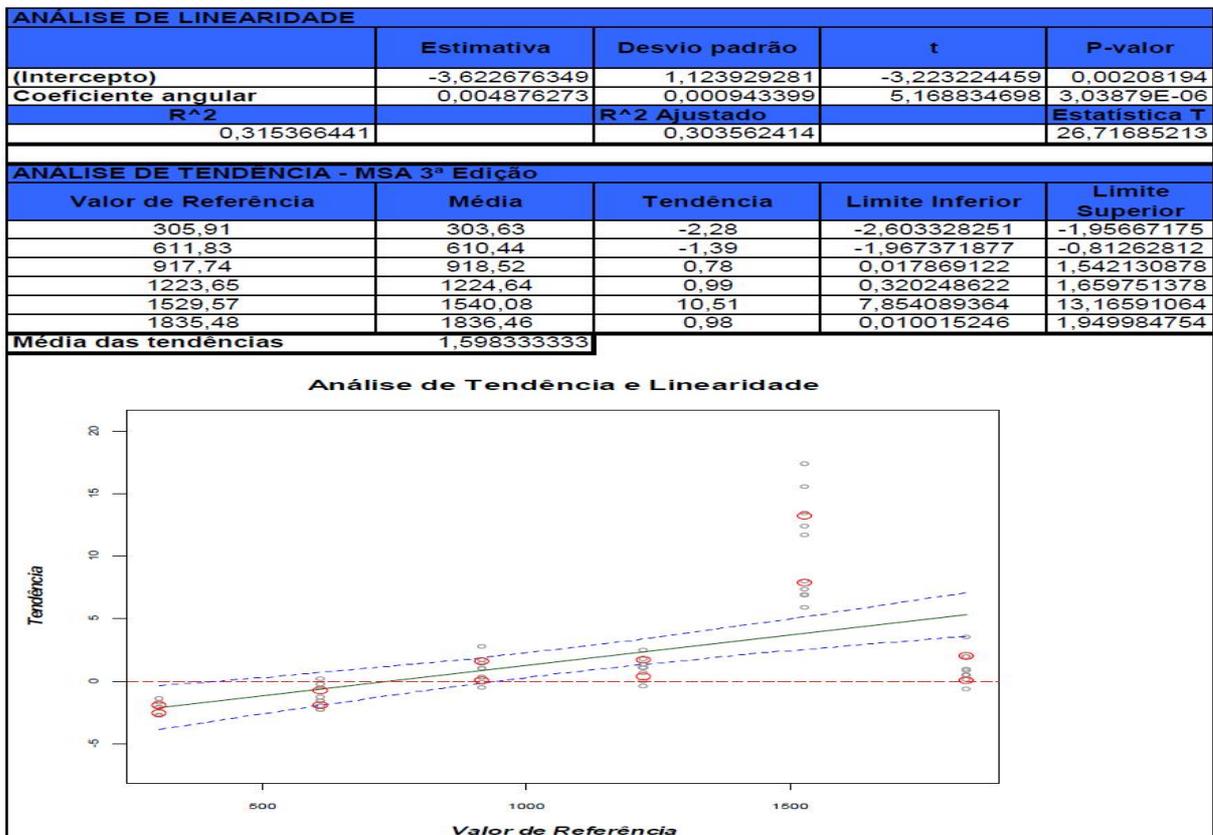


Figura 2 – Avaliação da Linearidade e Tendência por regressão linear.  
Fonte: os autores (2009).

Na avaliação dos dados conforme Figura 2, podemos observar que houve uma grande dispersão dos valores encontrados ao longo da escala sugerindo uma avaliação mais detalhada com auxílio de equipamentos e procedimentos adequados, assim como uma avaliação nas bases de fixação do conjunto, a rigidez da estrutura da máquina e também componentes mecânicos.

### 3.3 Avaliação da Capacidade de Sistemas de Medição Cg/Cgk

Estendendo a avaliação destes mesmos dados, mesmo sabendo que o equipamento está reprovado pelo método anterior, a variação das medições em relação aos Valores Referencia ver figura 3.

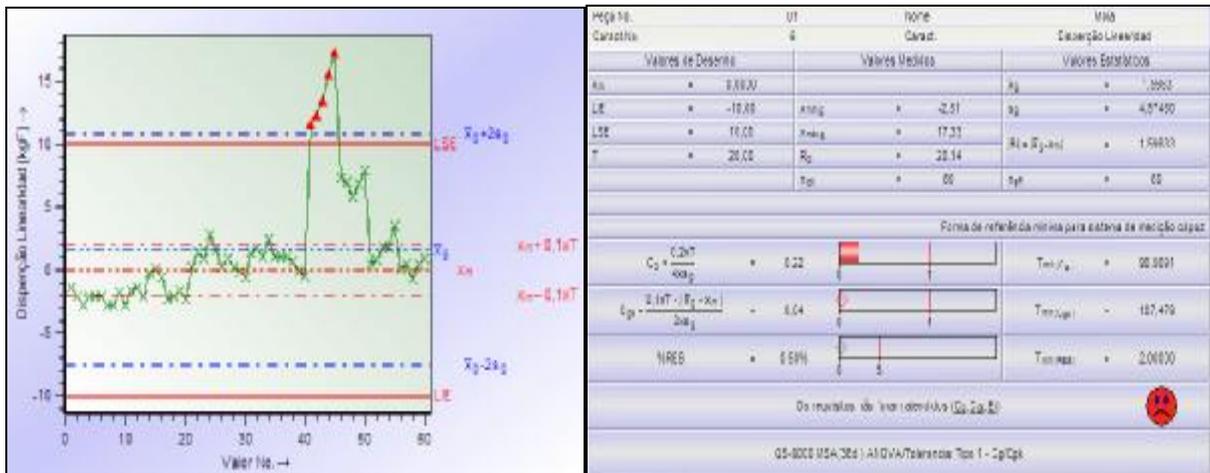


Figura 3 – Avaliação da Capacidade de Medição Cg/Cgk  
Fonte: os autores (2009).

Esta avaliação contém as grandezas: repetitividade, exatidão, e a tendência. Apuração de desvios sistemáticos do sistema de medição. Conforme orientação no manual MSA 3ª.Ed o fabricante de um Sistema de Medição deve considerar estas grandezas durante a concepção e a construção. Objetivo: Análise crítica construtiva e de utilização de sistemas novos ou modificados.

Na apresentação gráfica da Tendência e Linearidade, figura 2 percebe-se uma dispersão dos valores medidos em relação aos Padrões de Referência, porém não com a mesma intensidade como na figura 3. No gráfico da esquerda temos os valores individuais das diferenças das medições em relação aos valores de referência.

Limites de especificação considerados:

- Processo (LSE e LIE)  $T=\pm 10\text{kgF}$ ,
- $X_m$  Valor da Referência, ou a média de medições sobre o Padrão de Referência – no caso, reduzida a 0,00 para que se possa avaliar somente a dispersão das medições em relação aos Padrões de Referência,
- $\bar{X}_g$  e  $s_g$  respectivamente a média e o desvio padrão desta amostra.

A dispersão da amostra  $\bar{X}_g \pm 2s_g$ , considerada como amplitude da faixa de variação de 95,45%, é maior que  $X_m \pm 0,1T$ , logo este Sistema de Medição não é recomendado ao uso para esta Tolerância de Processo.

Na tabela a direita da figura 3 é apresentado cálculos de  $C_g$  e  $C_{gk}$  e os resultados da avaliação deste Sistema de Medição. Este método demonstra a capacidade do Sistema de Medição de medir a característica em questão aceitando uma Dispersão de até 20% ( $\pm 0,1xT$ ) da Tolerância da característica com um nível de confiança de 95,45%. Ou seja, se os valores  $C_g$  e  $C_{gk}$  forem maiores que 1,0, significa que a dispersão própria deste Sistema de Medição é menor que 20% da tolerância da característica em questão. Nesta tabela também está calculada a tolerância mínima que este Sistema de Medição atualmente é capaz de medir, ou seja, Tolerâncias  $> \pm 53,74\text{kgF}$   $\{T_{min}(C_{gk}) = 107,479 \div 2 = 53,7395\}$ .

### 3.4 Avaliação R&R - Repetitividade e Reprodutibilidade

O objetivo do R&R é comprovar a aptidão de utilização rotineira do equipamento de medição no processo produtivo. Em princípio só faz sentido executar o R&R, quando a capacidade de medição conforme acima demonstrado estiver atendida.

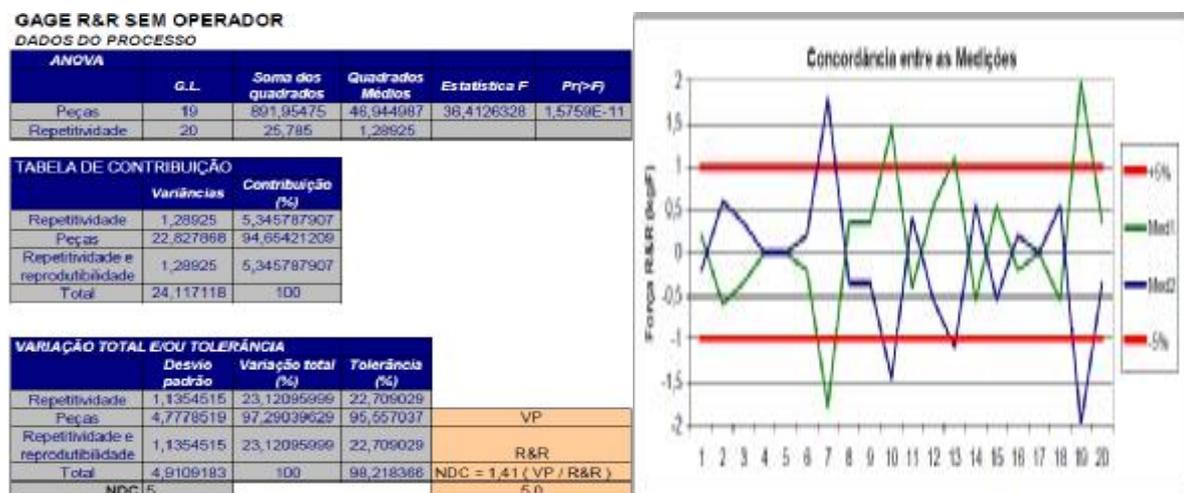


Figura 4: Avaliação R&R e avaliação da divergência entre as medições

Fonte: os autores (2009).

Com o resultado da avaliação demonstrado na figura 4 temos R&R igual a 22,71% e NDC igual a 5, e com isto confirma-se outra vez que este sistema de medição não é recomendado ao uso, apesar de estar indicando NDC = 5 e a Resolução 0,5%. Os resultados de NDC e Resolução acusam aprovação da discriminação dos valores medidos.

O gráfico à direita na figura 4 demonstra que a mesma peça medida pela segunda vez apresentou divergência maior que os  $\pm 5\%$  da Tolerância, ou seja, R&R maior que os 10% especificado, confirmando também não ser adequado ao uso.

Em resumo este Sistema de Medição apresenta:

	<b>Resolução</b>	<b>Linearidade</b>	<b>Tendência</b>	<b>Cg/Cgk</b>	<b>R&amp;R</b>
Especificado	< 1,0	< 5%	< $\pm 0,05$	> 1,0	< 10%
Verificado	<b>0,1</b>	<b>31,5%</b>	<b>-3,62</b>	<b>0,04</b>	<b>22,71%</b>

Quadro 1: resumo dos dados

Fonte: os autores (2009).

### **3.5 Como resolver o Problema?**

Diante da problemática estabelecida (quadro 1) após a verificação do sistema de medição e, observado o não atendimento aos critérios exigidos na metodologia MSA (resolução, R&R, Cg&Cgk, linearidade), serão apresentadas algumas alternativas para viabilização do sistema de forma macro.

Baseado nos resultados negativos apresentados no quadro 1, a sugestão é buscar melhorias com ajuda de ferramentas que facilitem a identificação da causa do problema em questão. Dentre as diversas ferramentas disponíveis e consagradas ao longo do tempo, optou-se pelo Método da Análise do Efeito e do Modo da Falha (FMEA). Este método tem como objetivo principal, discutir preventivamente as possíveis causas de falha, focado na função do processo, considerando os requisitos exigidos pelo produto. Além deste objetivo o FMEA busca um trabalho em equipe, melhoria nas comunicações e nas relações no trabalho incentivo a participação e o envolvimento das pessoas na solução de problemas de forma preventivamente, promove maior conscientização quanto à qualidade e segurança.

Sendo FMEA uma ferramenta preventiva, teria efeitos mais eficazes se tivesse sido utilizada antes. No caso, não iremos estender a análise e sim usar dos efeitos e falhas aqui identificadas e usar da técnica para facilitar a solução destes problemas.

É conveniente destacar que o equipamento deve atender requisitos construtivos baseados nas especificações dos Produtos.

### 3.6 Método FMEA simplificado para ajudar a resolver problema de Processo.

<b>Função do Processo</b>	Máquina automática de Medir Força de Molas Helicoidais	
<b>Requisitos do Produto</b>	Tolerância de aceitação LSE - LIE = 20kgF na altura indicada	
<b>Modo Falha Potencial</b>	Linearidade da escala de indicação da Força maior que 5,0% com 95% de confiança	
<b>Efeito Potencial da Falha</b>	Os valores medidos não correspondem aos padrões de referencia; reclamação do cliente	
<b>Causa / Mecanismo Potencial da Falha</b>	<b>Ação Corretiva/ Preventiva</b>	<b>Resultados obtidos após implementação das Ações</b>
Método de Calibração e Linearização não considera critérios requeridos pelo produto,	Executar nova Calibração e linearização com equipamento e padrões de referencia com incertezas menores que 5% (0,05xT) da Tolerancia do produto	Após o término das ações corretivas na estrutura da máquina e no piso fabril seguiu a ajustagem e a linearização com acompanhamento do fabricante da célula de carga e nova verificação da calibração executado com empresa acreditada, utilizando equipamentos e referencias compatíveis.
Equipamento de referencia na calibração contem incertezas maiores e não compatíveis com o requerido no processo/produto.		
Calibração da escala de indicação fora do campo de uso da mesma.		
<b>Função do Processo</b>	Máquina automática de Medir Força de Molas Helicoidais	
<b>Requisitos do Produto</b>	Tolerância de aceitação LSE - LIE = 20kgF na altura indicada	
<b>Modo Falha Potencial</b>	Capabilidade de medição Cg/Cgk < 1,0 para 20%Tolerancia e 95% confiança	
<b>Efeito Potencial da Falha</b>	Peças medidas e aprovadas e/ou reprovadas indevidamente; Elevados Custos de Nãoconformidades Internas e Externas	
<b>Causa / Mecanismo Potencial da Falha</b>	<b>Ação Corretiva/ Preventiva</b>	<b>Resultados obtidos após implementação das Ações</b>
Resolução da escala de indicação com discriminação não suficiente para a tolerância do produto e dispersão do processo.	Rever e ajustar resolução e discriminação da escala para no máx. 5% (0,05xT) da Tolerância do Produto.	O equipamento de medição/indicação da Força (Célula de Carga) foi reconfigurada pelo fabricante para medição na faixa de 100 a 2000kgF e menor divisão de 0,1kgF. O equipamento continua indicando valores acima porem somente como orientação.
Equipamento de indicação da Força superdimensionado apresenta erros sistemáticos desproporcionais na região de uso da escala.	Ajustar equipamento de indicação da Força para cobrir a região de uso da escala (até 2000kgF)	
<b>Função do Processo</b>	Máquina automática de Medir Força de Molas Helicoidais	
<b>Requisitos do Produto</b>	Tolerância de aceitação LSE - LIE = 20kgF na altura indicada	
<b>Modo Falha Potencial</b>	Instabilidade na repetição de medições sobre padrão de referencia e com peças (R&R) > 10%	
<b>Efeito Potencial da Falha</b>	Peças medidas e aprovadas e/ou reprovadas indevidamente; Elevados Custos de Nãoconformidades Internas e Externas	
<b>Causa / Mecanismo Potencial da Falha</b>	<b>Ação Corretiva/ Preventiva</b>	<b>Resultados obtidos após implementação das Ações</b>
Nível de vibração a partir do solo.	Confirmar nível de vibração recebida pela máquina a partir do solo. Buscar uma forma de isolamento e reavaliar.	A estrutura da máquina recebeu reforços em formato treliçado reduzindo sensivelmente a deformação elástica com o esforço de trabalho, e o piso recortado recebendo uma fundação exclusiva para a base da máquina. Reduziu assim a possibilidade de influencias dinâmicas prejudiciais provenientes do piso fabril.
Rigidez da estrutura da máquina;	Simular esforço de trabalho em toda a escala de operação e medir o nível de deformação elástica da estrutura da máquina.	
Nivelamento, forma de fixação e local de assentamento no solo.	Fixar e assentar base da máquina ao solo de forma que minimize vibrações externas e melhore a rigidez.	

Quadro 2 – Formulário de Resolução de Problema (FMEA).

Fonte: os autores (2009).

### 3.7 Novas avaliações funcionais e de Capacidade do Sistema de Medição após implementação das correções

A coleta de dados e respectivas avaliações seguindo as mesmas instruções e métodos anteriores, porém não nos mesmos pontos da escala, obtendo-se os resultados.

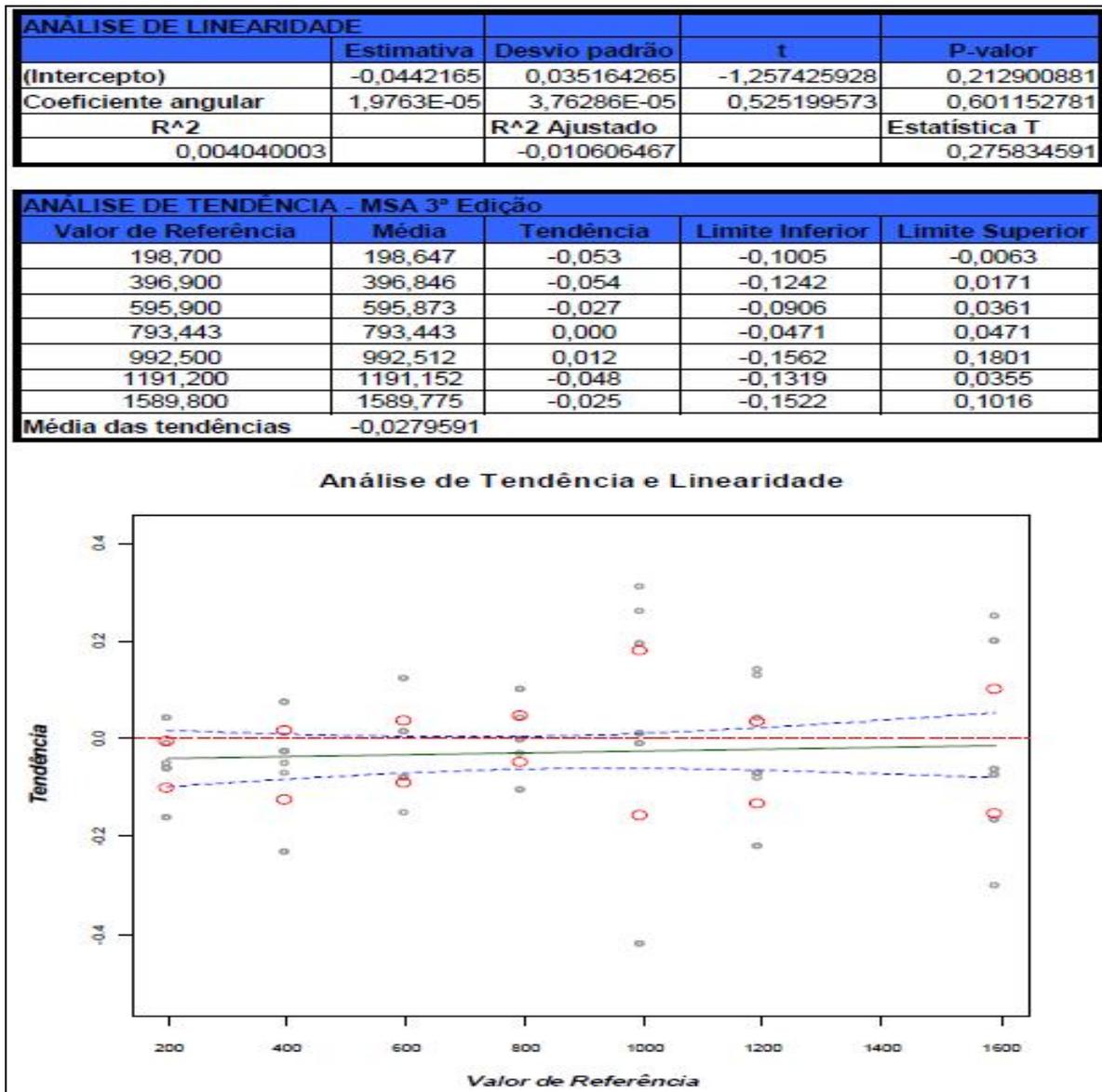


Figura 5 – Avaliação da Linearidade e Tendência por regressão linear após correções  
Fonte: os autores (2009).

A avaliação apresenta resultados de Linearidade  $R^2 = 0,00404$  (0,4%) e Tendência apresenta (Intercepto) -0,044 (4,4%). O valor da Tendência encontra-se próximo do limite, porém ainda atende a especificação.

### 3.8 Capabilidade de Sistemas de Medição Cg/Cgk – Após intervenções

Aprovada a avaliação anterior – linearidade e a tendência – o próximo passo avalia nestes mesmos dados, a variação das medições em relação aos Valores Referência ver figura 6.

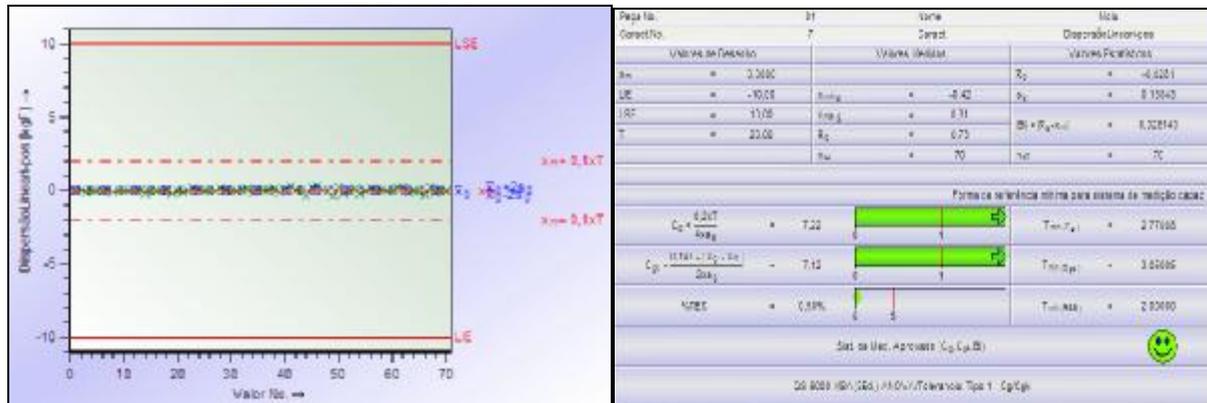


Figura 6 – Avaliação da dispersão das medições em relação Padrões de Referência  
Fonte: os autores (2009).

### 3.9 Repetitividade e Reprodutibilidade R&R – Após intervenções

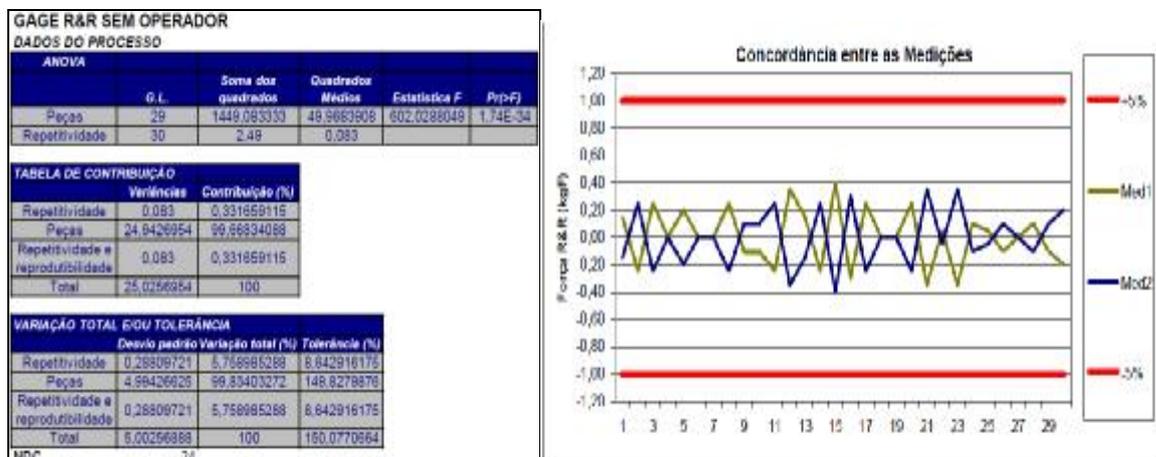


Figura 7: Avaliação R&R e avaliação da divergência entre as medições após correções  
Fonte: os autores, 24 agosto (2009)

	Resolução	Linearidade	Tendência	Cg/Cgk	R&R
Especificado	< 1,0	< 5%	< ±0,05	> 1,0	< 10%
Verificado	0,1	0,4%	0,044	7,12	8,64%

Quadro 3: resumo dos dados  
Fonte: os autores (2009).

#### **4 CONCLUSÃO**

Em qualquer processo de decisão é recomendável que se use um Sistema de Medição confiável para que o gestor possa se focar no problema que deverá resolver. Se não podemos localizar e dimensionar o nosso problema, como vamos resolvê-lo da melhor forma? A Metodologia MSA (Análise de Sistemas de Medição) nos direciona para avaliações das propriedades Resolução, Linearidade, Tendência, Cg/Cgk e R&R com apresentação dos dados de forma gráfica e de fácil interpretação.

Este sistema de Medição em análise apresentou já nos primeiros passos, dados que o reprovaram perante a especificação do cliente, e mesmo assim foi insistido nos demais passos, confirmando a necessidade de reavaliação do problema.

Com auxílio da ferramenta FMEA de forma corretiva, possibilitou o levantamento das reais causas dos problemas da Linearidade, Tendência, Cg/Cgk e R&R identificados. A implementação do Plano de Ações resultante deste FMEA propiciou melhora significativa no Sistema de Medição comprovados pelos novos dados coletados e avaliados, concluindo com a Adequação ao Uso para a atividade proposta.

Diante dos dados apresentados podemos confirmar que uma averiguação mais detalhada da função deste sistema de medição, já antes de sua concepção, poderá economizar alguns recursos financeiros e principalmente tempo, sem mencionar na economia que podemos ter ao evitar enviar ao cliente produtos duvidosos, ou mesmo sucatear produtos bons inconscientemente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalho na graduação**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023 – **Informação e documentação** – Referências – Elaboração, Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC 17.025 – **Requisitos Gerais para a Competência de laboratórios de Calibração e Ensaio**, Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10012-1 – **Requisitos de garantia da qualidade para equipamento de medição** – Parte 1: Sistema de comprovação metrológica para equipamento de medição, Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001 – **Sistemas de gestão da qualidade** – Requisitos, Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

DIETRICH, Edgar u. Schulze, Alfred – **Statistische Verfahren zur qualifikation von messmitteln u. Prozessen**, 3.Auflage. Hanser: 1998.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES JÚNIOR, Armando Albertazzi. **Fundamentos de Metrologia científica e industrial** – Manole; 2001.

**Guia Para Expressão da Incerteza de Medição**, 2.ed., Immetro, ABNT, 1998

ISO/TS 16949:2002 – **Especificação Técnica de Gestão da Qualidade da Indústria Automobilística** – IATF 2002

**Leitfaden zum Fähigkeitsnachweis - von Mess-Systemen** – Versão/Status: 22. Dezember 1999 Version 2.1 D/E.

MSA, Análise dos sistemas de medição – **Manual de referência**, 3. ed brasileira, junho 1994.

QS 9000 / CEP, **Fundamentos de controle estatístico do processo**: manual de referência. São Paulo, 168p. junho 1995.

SALGADO, João Vicente Falleiro - **Sistemática de Avaliação e Melhoria do Processo de Medição com Suporte de um Laboratório de Serviços e Assessoramento Remoto** – Dissertação de Mestrado 2004 – UFSC.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatório de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 1997

## **Anexo 1**

### **Definições de sistemas de medição**

**1.1 Medição** – Processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza. A medição não se aplica à propriedades qualitativas. A medição implica na comparação de grandezas e engloba contagem de entidades. A medição pressupõe uma descrição da grandeza que seja compatível com o uso pretendido de um resultado, de um procedimento e de uma referencia calibrada que opera de acordo com um procedimento de medição especificado, incluindo as condições de medição. *(V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)*

**1.2 Procedimento de medição** – Descrição detalhada de acordo com um ou mais princípios de medição e com um dado método, baseada em um modelo de medição e incluindo todo calculo destinado à obtenção de um resultado de medição. Um procedimento de medição é geralmente documentado em detalhes suficientes para permitir que um operador realize uma medição. Um procedimento de medição pode incluir uma declaração referente à incerteza-alvo. Um procedimento de medição é algumas vezes chamado de “procedimento operacional padrão”, abreviado como POP. *(V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)*

**1.3 Sistema de medição** – Conjunto de um ou mais instrumentos de medição e freqüentemente outros dispositivos, compreendendo, se necessário, reagentes e insumos, montado e adaptado para fornecer informações destinadas à obtenção dos valores medidos, dentro de intervalos especificados para grandezas de tipos especificados. Um sistema de medição pode consistir de apenas um instrumento de medição. *(V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)*

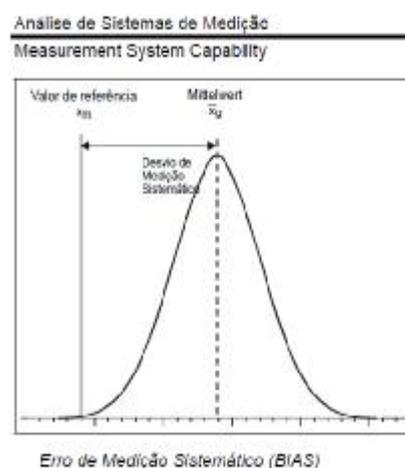
**1.4 Padrão** – Peça de referência utilizada para ajustagem do Sistema de Medição. O valor real de referência indicado no padrão deve estar certificado e passível de rastreabilidade a padrões reconhecidos nacional e internacionalmente. O padrão é utilizado na determinação da capacidade do Sistema de Medição. *(V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)*

**1.5 Cadeia de medição** – Série de elementos de um sistema de medição que constitui um único caminho para o sinal, do sensor até o elemento de saída. Exemplos: Cadeia de medição eletroacústica composta por um microfone, um atenuador, um filtro, um amplificador e um voltímetro. Cadeia de medição mecânica composta por um tubo de Bourdon, um sistema de alavancas, engrenagens e um mostrador mecânico. (V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)

**1.6 Tendência** – Estimativa de um erro sistemático. É definida como o desvio entre o valor médio indicado pelo sistema de medição ao se medir repetidamente uma mesma característica e o valor real deste. (V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)

**1.7 Erro aleatório** – Componente do erro de medição que, em medições repetidas, varia de maneira imprevisível. O valor de referência para um erro aleatório é a média que resultaria de um número infinito de medições repetidas do mesmo mensurando. Os erros aleatórios de um conjunto de medições repetidas formam uma distribuição que pode ser resumida por sua esperança matemática ou valor esperado, o qual é geralmente assumido como sendo zero, e por sua variância. O erro aleatório é igual à diferença entre o erro de medição e o erro sistemático. (V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)

**1.8 Erro sistemático** – Componente do erro de medição que, em medições repetidas, permanece constante ou varia de maneira previsível. Um valor de referência para um erro sistemático é um valor verdadeiro, ou um valor medido de um padrão com incerteza de medição desprezível, ou um valor convencional. O erro sistemático e suas causas podem ser conhecidos ou desconhecidos. Pode-se aplicar uma correção para compensar um erro sistemático conhecido. O erro sistemático é igual à diferença entre o erro de medição e o erro aleatório. (V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)



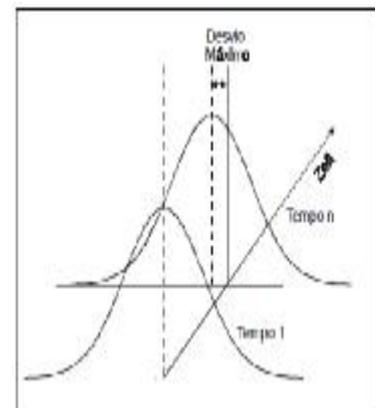
**1.9 Exatidão de medição** – Grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de um mensurando. A “exatidão de medição” não é uma grandeza e não lhe é atribuído um valor numérico. Uma medição é dita mais exata quando é caracterizada por um erro de medição menor. O termo “exatidão de medição” não deve ser utilizado no lugar de veracidade, assim como o termo precisão de medição não deve ser utilizado para expressar “exatidão de medição”, o qual, entretanto, está relacionado a ambos os conceitos. A “exatidão de medição” é algumas vezes entendida como o grau de concordância entre valores medidos que são atribuídos ao mensurando. (V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)

**1.10 Precisão de medição** – Grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas. A precisão de medição é geralmente expressa na forma numérica por meio de medidas de dispersão como o desvio-padrão, a variância ou o coeficiente de variação, sob condições de medição especificadas. As “condições especificadas” podem ser, por exemplo, condições de repetitividade, condições de precisão intermediária ou condições de reprodutibilidade. A precisão de medição é utilizada para definir a repetitividade de medição, a precisão intermediária de medição e a reprodutibilidade de medição. O termo “precisão de medição” é algumas vezes utilizado, erroneamente, para designar a exatidão de medição. (V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)

**1.11 Repetitividade de medição** – Precisão de medição sob um conjunto de condições de repetitividade. Condição de medição num conjunto de condições, as quais compreendem o mesmo procedimento de medição, os mesmos operadores, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante um curto período de tempo. Uma condição de medição é uma condição de repetitividade apenas com respeito a um conjunto especificado de condições de repetitividade. Em química, o termo “condição de precisão intra-serial” é algumas vezes utilizado para designar este conceito. (V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)

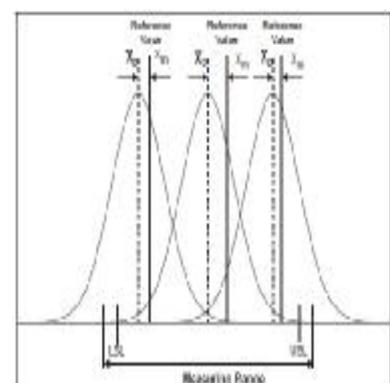
**1.12 Reprodutibilidade de medição** - Precisão de medição sob um conjunto de condições de reprodutibilidade. Os termos estatísticos pertinentes são apresentados na ISO 5725-1:1994 e na ISO 5725-2:1994. Condição de reprodutibilidade. Condição de medição num conjunto de condições, as quais compreendem diferentes locais, diferentes operadores, diferentes sistemas de medição e medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares. Os diferentes sistemas de medição podem utilizar procedimentos de medição diferentes. Na medida do possível, é conveniente que sejam especificadas as condições que mudaram e aquelas que não. (V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)

**1.13 Estabilidade** – Propriedade de um instrumento de medição segundo a qual este mantém as suas propriedades metrológicas constantes ao longo do tempo. A estabilidade pode ser expressa quantitativamente de diversas maneiras. Exemplos: Pela duração de um intervalo de tempo ao longo do qual uma propriedade metrológica varia numa quantidade definida. Pela variação de uma propriedade ao longo de um intervalo de tempo definido. (V.I.M – Vocabulário Internacional da Metrologia)



Estabilidade

**1.14 Linearidade (LI%)** – diferença relativa esperada nos valores apurados em um dispositivo de medição ao longo de sua faixa de uso. Com o auxílio de padrões que cobrem todo o campo de medição do Sistema de Medição, o operador irá realizar uma determinada quantidade de medições, seguindo um método previamente determinado. Comparar o valor real do padrão com o resultado de uma série de medições realizadas contra este padrão. Os desvios irão resultar em erro de linearidade. "Measurement System Capability" Reference Manual.



Linearidade

**1.15 MSA (Análise de Sistemas de Medição)** – Tem por objetivo tratar das influências do processo de medição que envolve tanto o equipamento de medição utilizado em um determinado processo, como a influência da pessoa que está medindo os produtos com o referido equipamento. Nem toda característica do processo ou produto requer um sistema de medição com uma análise detalhada. A regra básica para escolher o sistema a ser avaliado é se este é identificado no plano de controle ou é importante para determinar a rejeição ou não do processo ou produto. Outro indicativo é o nível de tolerância determinado para a dimensão específica e a criticidade perante o cliente. Porém, o bom senso é o guia em qualquer caso. (Manual MSA-3ª. Ed.pag.23).