

Capítulo 10

CONFIABILIDADE DE PROCESSOS DE MEDIÇÃO NA INDÚSTRIA

10.1 – Introdução:

O termo ***Metrologia*** é definido, no Vocabulário Internacional de Termos Gerais e Fundamentais de Metrologia (VIM) [3], como “***a ciência da medição***”, a qual se atribui a abrangência de todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, e em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia. Assim como a biologia está para a medicina e a matemática está para a engenharia, a metrologia está para o controle produtivo, funcionando como uma ferramenta indispensável ao controle da produção. Atualmente, resultados de medições estão sendo cada vez mais usados e em um número maior de modos. A decisão de ajustar ou não um processo de manufatura é comumente baseado numa análise de resultados de medições, isto é, eles são comparados através de uma estatística apropriada com os limites de controle estatístico do processo e se houver alguma indicação de descontrole, ações de ajuste são empregadas, para que o processo se mantenha sob controle. Para que estas ações sejam confiáveis, sistemas de medição eficientes e confiáveis devem ser utilizados, pois caso ocorra uma falha ou até mesmo uma ineficiência dos sistemas de medição empregados, inúmeros problemas de montagens e de funcionamento, além de inúmeros recalls poderão ocorrer e que se constituem em perda da qualidade, da confiabilidade com reflexos também na perda da concorrência, fator relacionado com a própria sobrevivência da indústria responsável.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar os principais tipos de características requeridas de um sistema de medição eficiente, bem como as técnicas para a análise dos sistemas de medição empregados na indústria automobilística, preconizados pelas normas internacionais QS 9000 [1] e ISO - TS 16949 [2], as quais apresentam as diretrizes gerais para a seleção de procedimentos para avaliar a qualidade de um sistema de medição voltada para ambientes industriais.

10.2 – Propriedades Estatísticas dos Sistemas de Medição:

O Sistema de Medição (SM) é definido de acordo com [1], como o conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição e outros equipamentos, software e pessoal usado para atribuir um número à característica que está sendo medida; isto é, o processo completo usado para obter medidas. As propriedades estatísticas de um sistema de medição podem ser enquadradas em duas categorias: 1ª) as medidas de Localização(ou de proximidade com o valor correto), que são a Tendência, a Estabilidade e a Linearidade; 2ª) as medidas de Dispersão (largura) que são a Repetitividade e a Reprodutibilidade.

Um sistema de medição ideal seria aquele que produziria somente medidas corretas todas as vezes que ele fosse utilizado. Caso isso fosse possível dir-se-ia que este sistema possuiria propriedades estatísticas com variância zero, tendência zero e probabilidade zero de classificação errônea de qualquer produto que ele medisse. Infelizmente eles não existem, o que nos leva a concluir que em nossa realidade prática devemos escolher sistemas com propriedades convenientes. Algumas questões básicas então devem ser colocadas, como por exemplo:

- a).O sistema tem resolução apropriada?
- b).O sistema é estável?
- c).O sistema possui características estatísticas consistentes e/ou aceitáveis?

Para que possamos responder de forma consistente a estas questões devemos considerar as seguintes condições de contorno:

- ✓ A caracterização dos equipamentos deve ser realizada com padrões rastreáveis, caso contrário só será possível avaliar a repetitividade, ficando a exatidão comprometida;
- ✓ O técnico não deve saber que o estudo está em marcha;
- ✓ Custo do estudo;
- ✓ Tempo gasto para realizar as medições;
- ✓ Frequência de realização dos estudos.

A indústria automotiva, em particular, usa os seguintes parâmetros para a avaliação de um sistema de medição: Tendência; Repetitividade; Reprodutibilidade; Estabilidade; Linearidade. Além destes, deve-se considerar também a Resolução e a Variabilidade da própria peça.

Apesar de poder ser exigido que cada sistema de medição tenha diferentes propriedades estatísticas, existem algumas que todos devem possuir. Elas incluem que, as variações do sistema de medição devem estar associadas somente a causas comuns e não a causas especiais (sob controle estatístico); sua variabilidade deve ser pequena quando comparada a variabilidade do processo de manufatura e com os limites de especificação; os incrementos de medida devem ser pequenos em relação ao que for menor, entre a variabilidade do processo ou os limites de especificação e elas não devem ser estáticas, isto é, podem mudar à medida em que variem os itens que estão sendo medidos.

10.3 – Procedimentos para a avaliação dos SM:

Para avaliar um SM é necessário verificar se a variável correta está sendo medida e determinar também quais as propriedades estatísticas que o SM deve ter para ser aceitável. Isto é desenvolvido em duas fases. Na 1ª fase queremos compreender o processo de medição e determinarmos se ele irá satisfazer nossas exigências e na 2ª fase uma vez considerado aceitável, verificamos se o SM continua a apresentar as propriedades estatísticas apropriadas.

10.3.1) Tendência (ou desvio): é o “afastamento da média dos valores medidos de um valor de referência”. O valor de referência é um valor atribuído a um padrão, com o qual o equipamento foi calibrado. Na Análise do Sistema de Medição (M.S.A), usar uma peça padrão ao invés de um padrão aproxima a medição mais da realidade em termos da geometria a controlar. Uma peça padrão representa melhor a geometria do que por exemplo um bloco padrão retangular. $U95\% \text{ do S.M} \leq (R\&R \text{ do instrumento}) / 10$ é o critério para a seleção do SM para medir a peça padrão.

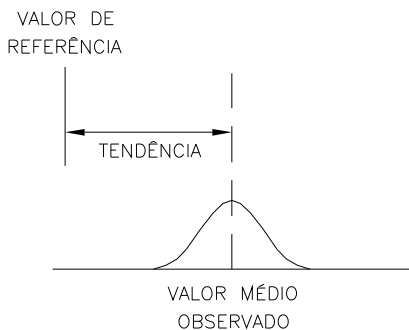


Figura 10.1 - Tendência

A avaliação da tendência é feita na seguinte ordem:

- 1º) selecionar uma peça (com a medida próxima ao valor nominal) ou um padrão;

- 2º) medir a peça várias vezes utilizando um instrumento mais exato do que o que está sendo estudado, para determinar o valor de referência (VR);
- 3º) um operador qualificado deve medir a peça pelo menos 10 vezes;
- 4º) calcular a média das indicações (MI) e a tendência (T) pela seguinte expressão $T = MI - VR$;
- 5º) calcular a porcentagem consumida (%T) da tolerância (Tol) ou da Variação do Processo (VP) pela tendência através das seguintes expressões:

$$\%T = T / VP = T / Tol.$$

Considerar:

$\%T \leq 10 \% =$ Aprovado; $\%T > 10 \% \text{ e } \leq 30 \% =$ Aceitável; e $\%T > 30 \% =$ Reprovado.

As possíveis causas para a Tendência alta são: erro no valor de referência adotado; equipamento de medição com folga ou danificado; equipamento sem rastreabilidade; mau uso por parte do operador.

10.3.2) Estabilidade: “é a variação total nas medições obtidas com o sistema de medição medindo uma única característica na mesma peça ou padrão ao longo de um extenso período de tempo”.

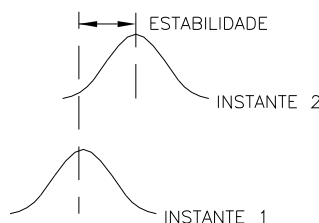


Figura 10.2 - Estabilidade

A estabilidade é um estágio atingido quando reunimos três condições:

- 1ª) o fenômeno se comporta com distribuição normal;
- 2ª) a dispersão do fenômeno é constante ao longo do tempo;
- 3ª) o fenômeno ocorre constantemente sobre a mesma média.

Num estudo para a análise da estabilidade devemos considerar: a) se o processo de medição não é estável qualquer resultado será apenas uma “fotografia momentânea”; b) não é possível tomar decisões confiáveis, mesmo com base em estudos, se o processo não é estável;

c) sem estabilidade não há previsibilidade; d) há muitos fatores que causam instabilidade e os processos devem ser robustos a estes fatores, porém algumas vezes não é possível ou não é economicamente viável; e) priorizar os fatores que mais afetam o processo de medição. A estabilidade estatística é determinada através de gráficos de controle.

Como diretrizes para o estudo da estabilidade devemos obter uma amostra de peças da produção, em intervalos de tempo pré-estabelecidos medir a amostra de três à cinco vezes (em horários diversos, no local utilizado para ser o mais real possível), plotar os dados em uma carta de controle (X e R ou s), e verificar a existência de pontos fora dos limites e sinais de instabilidade.

10.3.3) Linearidade: “é a diferença nos valores da tendência ao longo da faixa de operação esperada no dispositivo de medição”.

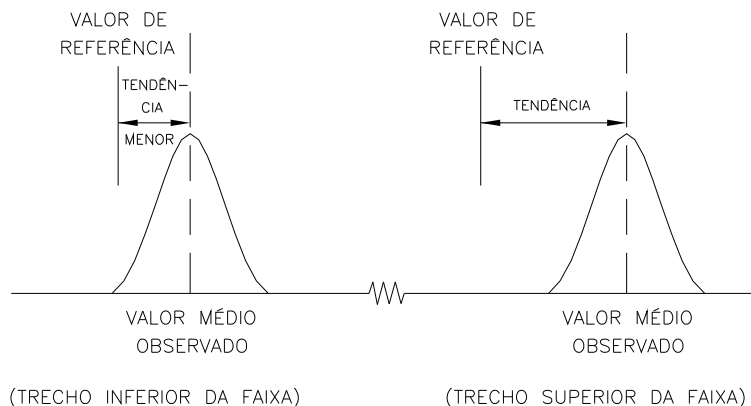


Figura 10.3 - Linearidade

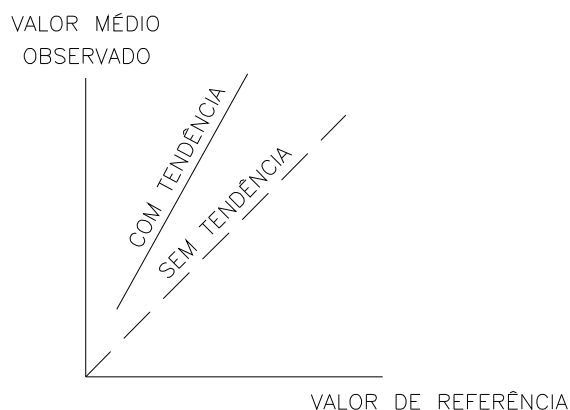


Figura 10.4 – Variação Linear da Tendência

Quanto menor a declividade → melhor a linearidade do instrumento;

Quanto maior a declividade → pior a linearidade do instrumento.

Avaliação da Linearidade: 1ª Fase) selecionar 5 peças padrões de maneira a varrer toda a faixa de operação do instrumento; medir as peças utilizando um instrumento superior ao que está sendo estudado e determinar o VR; selecionar um operador que deverá realizar de 10 a 15 medições de cada peça; calcular a média das indicações para cada peça; calcular a tendência para cada peça e elaborar um gráfico da reta que expressa a relação entre as tendências x os valores indicados. 2ª Fase) calcular a reta de regressão linear que melhor ajusta os pontos do gráfico; calcular o grau de ajuste da reta (R^2); calcular o valor da linearidade $L = \text{Indicação} \times V.\text{Processo ou Tolerância}$; calcular o valor percentual da linearidade $\% L = 100 \times (L / VP \text{ ou Tol})$.

As causas prováveis de má linearidade são: Instrumento não está calibrado adequadamente; Instrumento desgastado; Revisão nas partes internas e Erros nos valores dos padrões.

10.3.4) Repetitividade: 'é a variação nas medidas obtidas com um dispositivo de medição quando usado várias vezes por um operador medindo a mesma característica na mesma peça.



Caracteriza a variabilidade do sistema de medição, isto é, a capacidade que o processo de medição tem de “repetir” as medidas. Pode ser expressa em termos da dispersão dos resultados. Aponta fontes de erro em decorrência de falhas do equipamento e de erros geométricos da peça. Pode ser representada pela carta de amplitudes (R).

Determinação da Repetitividade: Aplicar a metodologia do CEP (Controle Estatístico do Processo); Analisar a partir da carta de amplitudes (R); Calcular o desvio padrão (s_e); Calcular a repetitividade para um nível de confiança de 99% Para distribuição normal (5,15. s_e) (adotado como referência pelo MSA para um processo em que $m = 0$ e $s = 1$ e $P = 99\%$).

10.3.5) Reprodutibilidade: “é a variação na média das medidas feitas por diferentes operadores utilizando o mesmo dispositivo de medição medindo característica idêntica nas mesmas peças”.

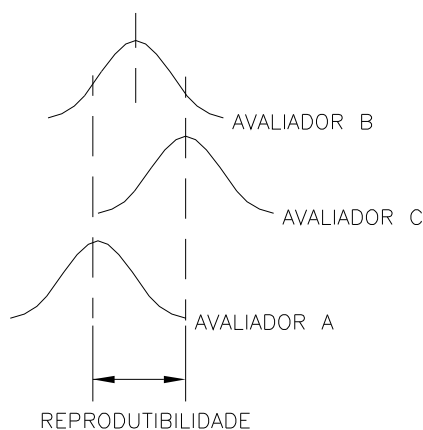


Figura 10.6 - Reprodutibilidade

São objetivos do estudo da Reprodutibilidade: Detectar a variabilidade entre operadores; Apontar fontes adicionais de erros (desvios causados pelo operador indicado pela diferença das médias).

Determinação: Aplicar a metodologia do CEP (Controle Estatístico do Processo); Analisar a partir da carta das médias ($\bar{x}$); Calcular o desvio padrão (s_o); Calcular a reprodutibilidade para um nível de confiança de 99% para distribuição normal ($5,5 \times s_o$). Através da variação das peças (mediante a troca dos operadores) ela pode ser detectada a partir da carta de médias. A partir dos limites da carta das médias, determinados pela repetitividade, verificar as médias que estão fora destes limites. Se não houver variação entre peças e se representarem o processo, então o sistema de medição é inaceitável para sua análise. Pela variabilidade das peças um sistema de medição é apropriado quando a maioria das médias das peças ficar fora dos limites.

10.3.6) Resolução: “capacidade do sistema de medição detectar e indicar pequenas alterações na característica medida”. Para uma boa análise é necessário que: se detecte a variação do processo; quanto mais dígitos significativos ela apresentar é melhor; no gráfico das amplitudes

deve haver, no mínimo, 3 valores dentro dos limites, porém 1 / 4 dos valores obtidos não devem ser iguais a zero; no M.S.A (Análise do Sistema de Medição) $5 < n < 15$; é determinada a partir da variabilidade da peça, baseado no estudo da reprodutibilidade e o número de categorias é dado por $(PV / R\&R) \times d_2$ onde PV = variação devida às peças; R & R = variação devida ao equipamento e ao operador e d_2 = constante em função do número de repetições, peças e operadores. Vários estudos de resolução mostraram que a resolução desejável deve ser, de no mínimo, 10 % da variação do processo (6s) e não de 10 % da tolerância do processo.

10.3.7) Variabilidade da própria peça: Um Sistema de Medição, mesmo utilizado corretamente, pode não obter um mesmo valor na medição de uma peça. Este desvio σ_{MED} é atribuído ao operador e instrumento. A variação observada ocorre devido à variação no Sistema de Medição e a variação do produto a ser medido. Estatisticamente :

$$\sigma^2_{obs} = \sigma^2_{med} + \sigma^2_{prod}$$

onde: σ_{obs} = desvio-padrão observado; σ_{med} = desvio-padrão de medição; σ_{prod} = desvio-padrão do produto. A variação do produto depende do processo produtivo e o desvio padrão de peça-a-peça pode ser determinado através dos dados do estudo do sistema de medição ou de um estudo independente de capacidade do processo.

10.4 – Discussão:

Sistemas de Medição são utilizados, em contato direto ou não com os controles das máquinas, para monitorar, rastrear, comparar e analisar parâmetros da produção. Isso possibilita também que se descubram oportunidades de melhorias, que mantendo a produção dentro dos limites das especificações, garantindo a eficiência da operação de produção industrial.

O monitoramento contínuo do sistema de controle feito através dos sistemas de medição pode gerar uma economia significativa. A habilidade de monitorar inúmeros parâmetros do processo aliado a detecção de problemas pode também diminuir o tempo ocioso dos funcionários provocados por paradas imprevisíveis. As questões do monitoramento e da análise dos sistemas de medição são destacadas nas principais normas voltadas a implantação de sistemas da qualidade:

109.4.1 - Norma QS-9000: 1998 [1]:

4.11.4 – Análise do Sistema de Medição

Estudos estatísticos apropriados devem ser conduzidos para analisar a variação presente nos resultados de cada tipo de sistema de equipamento de medição e ensaio. Este requisito deve aplicar-se aos sistemas de medição referenciados no Plano de Controle (ver 4.2.3.7 da referência [1]). Os métodos analíticos e critérios de aceitação utilizados devem estar conforme àqueles definidos no manual de referência. Análise do Sistema de Medição – MSA (exatidão, linearidade, estabilidade, estudos de repetitividade e reprodutibilidade). Outros métodos analíticos e critérios de aceitação podem ser utilizados se aprovados pelo cliente.

10.4.2 - Norma ISO/TS 16949: 1999 [2]:

4.11.12 – Análise do Sistema de Medição

Estudos estatísticos apropriados devem ser conduzidos para analisar a variação presente nos resultados de cada tipo de medição e equipamento de ensaio. Este requisito deve aplicar-se aos sistemas de medição, referenciados no Plano de Controle (ver 4.2.4.10 da referência [2]). Os métodos analíticos e critérios de aceitação usados devem estar conformes aos citados no manual de referência do cliente sobre análise de sistemas de medição como apropriado, incluindo

estudos de tendências, linearidade, estabilidade, repetitividade e reprodutividade. Outros métodos analíticos e critérios de aceitação podem ser usados se aprovados pelo cliente.

Nota: A escolha do método específico usado deveria ser baseada no conhecimento técnico seguro do sistema de medição completo, nas condições na qual ele irá operar, e no uso para o qual os dados estão sendo produzidos.

10.4.3 - Norma ISO 9001: 2000 [4]:

7.6 - Controle dos dispositivos de medição e monitoramento:

A organização deve determinar as medições e monitoramentos a serem realizados e os dispositivos de medição e monitoramento necessários para evidenciar a conformidade do produto com os requisitos determinados (ver 7.2.1 da referência [4]). A organização deve estabelecer processos para assegurar que medição e monitoramento podem ser realizados e são executados de uma maneira coerente com os requisitos de medição e monitoramento.

10.5 – Conclusões:

O objetivo deste trabalho foi o de apresentar algumas diretrizes básicas para avaliar a qualidade de um sistema de medição, diretriz estas que procuraram ser o mais gerais possíveis. Muito do trabalho de se gerenciar um sistema de medição está ligado ao monitoramento e controle das propriedades estatísticas dos sistemas de medição aqui apresentadas. Concluindo, gostaríamos de forma resumida sugerir:

1ª) Considerar o equipamento como o sistema de medição, por exemplo: um relógio comparador montado em um suporte de medir batimento. Deve se levar em conta: o estudo do relógio e a flexibilidade do suporte;

2ª) Separar por “famílias de equipamentos” Por exemplo, uma família representada por um paquímetro: o paquímetro era usado para diâmetros externos/internos, profundidade e ressaltos. Fez-se a avaliação apenas para medição de diâmetros externos. As propriedades não são transmissíveis;

3ª) Em R&R cuidados a serem tomados: Descartar ou repetir medidas acima do limite superior na carta de controle das amplitudes; Não substituir, na planilha de cálculo, a variação total (VT) pela tolerância do processo de fabricação; Sempre calcular a variabilidade da peça (VP); Não considerar o estudos válido com $R^2 < 0,9$; Evitar escolher amostras com valores próximos dos extremos da escala do equipamento (faixa de operação); Considerar como válido um ensaio em que os desvios são iguais, mesmo sendo $R^2 = 0$;

4ª) Na estabilidade os cuidados a serem tomados: Realização de todo estudo em tempo suficiente a cobrir todos os eventos ou fatores de influência; Utilizar equipamentos com resolução compatível.