

JACICLECIO MANGUEIRA DA SILVA

**Análise dos Sistemas de Medição na Indústria Automotiva usados em
Processos de Fabricação**

São Paulo
2016

JACICLECIO MANGUEIRA DA SILVA

**Análise dos Sistemas de Medição na Indústria Automotiva usados em
Processos de Fabricação**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista em
Gestão e Engenharia da Qualidade

Orientador: Prof. Dr. Adherbal Caminada
Netto

São Paulo
2016

Dedico este trabalho a toda minha família pelo incentivo com o qual sempre me acompanharam desde o início nessa longa caminhada em especial a minha mãe, Sinéria Mangueira Bezerra, pela sua capacidade de transmitir valores os quais carregarei por toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir a realização de mais um sonho alcançado.

A todos os professores pela paciência e dedicação que transmitiram seus conhecimentos aos alunos durante o curso, em especial ao professor Dr. Adherbal Caminada Netto, pela orientação, experiência e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

Aos meus amigos André Kraszuk, Aline Ricardo da Costa e Vanessa Kraszuk pelas constantes contribuições, à secretaria do PECE – Programa de Educação Continuada e Engenharia e a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

“Se eu fosse tão inteligente, a ponto de falar todas as línguas dos homens a até mesmo a língua dos anjos, mas não soubesse amar a Deus e amar ao próximo, eu seria como ruído de um gongo ou o som de um sino, se eu tivesse o dom de falar como um profeta, e conseguisse entender todos os mistérios e fosse um cientista capaz de conhecer toda a ciência, mas não amasse a Deus e não amasse o próximo, eu não valeria nada. ”

Apóstolo Paulo (I Coríntios 13:1-2)

RESUMO

O presente trabalho, tem por objetivo avaliar todas as influências às quais sistemas de medição de processos de fabricação estão sujeitos. Tais influências, variação de máquina, medição, mão de obra, método, matéria-prima, meio ambiente e identificar outras fontes de erro do sistema de medição, seja de indicação, erros grosseiros, sistemáticos ou aleatórios. Analisou-se criticamente, o caso do sistema de medição referente ao processo de fabricação do cilindro mestre duplo, produto que compõem o sistema de freio automobilístico, da empresa X do Brasil. Essa análise consistiu na realização de estudos estatísticos para avaliar as variações presentes nos resultados dos sistemas medição, tais como i) tendência, ii) linearidade, iii) estabilidade e iv) R&R (repetitividade e reprodutibilidade) por variável. Os estudos estatísticos mostraram que o sistema de medição apresenta tendência aceitáveis, na linearidade e estabilidade. Contudo, no estudo de R&R (repetitividade e reprodutibilidade) por variável identificou-se a necessidade de aperfeiçoar equipamento porque, a porcentagem da repetitividade, dividido pela porcentagem da reprodutibilidade foi maior que 1, sendo assim, sugerido melhorias no equipamento de medição da indústria X do Brasil. Salienta-se, a utilização do GASM, software estatístico usualmente difundido na área automotiva, todavia, análise crítica dos relatórios estatísticos é feito mediante o conceito ora estudado e mencionado neste trabalho acadêmico. O interesse nesse tema, consiste em atender ao requisito 7.6 Análises do Sistema de Medição da referida norma automotiva ABNT NBR ISO TS 16949 (2009), Sistemas de gestão da qualidade. Por fim, verificou-se, que o sistema de medição é confiável para o controle almejado, mesmo constatando-se as variabilidades do processo de controle, consequentemente, confirmando estatisticamente a confiança metrológica dos sistemas de medição.

Palavras-chave: MSA; Sistema de Medição; Cadeia Automotiva; Confiabilidade.

ABSTRACT

The present work has as objective to evaluate all the influences to which systems of measurement of manufacturing processes are subject of variable in industrial process. Such influences, machine variation, labor, method, raw material, environment and identify other sources of error of the measurement system, whether of indication, gross, systematic or random errors. The case of the measurement system related to the manufacturing process of the double master cylinder, a product that compose the automotive brake system, of the company X do Brazil, was critically analyzed. This analysis consisted in carrying out statistical studies to evaluate the variations in the results of the measurement systems, such as i) trend, ii) linearity, iii) stability and iv) R & R (repeatability and reproducibility) by variable. The statistical studies showed that the measurement system presents acceptable trends, in linearity, stability and R & R by variable. However, the study of R & R by variable identified the need to improve equipment because the percentage of repeatability, divided by the percentage of reproducibility was greater than 1, thus, it was suggested improvements in the measurement equipment of industry X of Brazil. It is worth noting the use of GASM, statistical software usually disseminated in the automotive area, but a critical analysis of the statistical reports is done through the concept studied and mentioned in this academic work. The interest in this topic is to meet the requirement 7.6 Analyzes of the Measurement System of said automotive standard ABNT NBR ISO TS 16949 (2009), Quality management systems. Finally, it was verified that the measurement system is reliable for the desired control, even verifying the variabilities of the control process, consequently confirming statistically the metrological reliability of the measurement systems.

Keywords: MSA; Measurement System; Automotive Chain; Reliability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	-	Instrumento de medição	14
Figura 02	-	Dispositivo de medição	15
Figura 03	-	Erros grosseiro	16
Figura 04	-	Erros sistemáticos	17
Figura 05	-	Erros aleatórios	17
Figura 06	-	Diagrama de Ishikawa	19
Figura 07	-	Exemplo de uma carta de controle	23
Figura 08	-	Causas comuns e especiais de variação	24
Figura 09	-	Manual da análise dos sistemas de medição	25
Figura 10	-	Plano de controle usinagem	26
Figura 11	-	Definição de tendência	27
Figura 12	-	Exatidão e precisão	28
Figura 13	-	Região de rejeição	31
Figura 14	-	P-valor	32
Figura 15	-	Linearidade	33
Figura 16	-	Tipos de linearidade	33
Figura 17	-	Representação de linearidade	37
Figura 18	-	Exemplo hipotético de uma carta X-R	41
Figura 19	-	Repetitividade e reprodutibilidade	42
Figura 20	-	Impacto da quantidade do NDC	47
Figura 21	-	Calibrador passa / não passa	48
Figura 22	-	Sistema de freio	49
Figura 23	-	Cilindro mestre duplo	50
Figura 24	-	Plano de controle	51
Figura 25	-	Coluna de medição	52
Figura 26	-	Controle do diâmetro principal	52
Figura 27	-	Ishikawa para sistema de medição	53
Figura 28	-	Planilha para coleta de dados de tendência	54
Figura 29	-	Estudo de tendência	55
Figura 30	-	Planilha para coleta de dados de linearidade	56
Figura 31	-	Estudo de linearidade	58
Figura 32	-	Planilha para coleta de dados de estabilidade	59
Figura 33	-	Estudo de estabilidade	60
Figura 34	-	Planilha para coleta de dados de R&R	61
Figura 35	-	Estudo de R&R	62
Figura 32	-	Planilha para coleta de dados de estabilidade	59
Figura 33	-	Estudo de estabilidade	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	- Constante para cálculo dos limites de Controle	14
Tabela 02	- Intervalos de referência para análise do índice Cp	44
Tabela 03	- Critério de R&R	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DCE	Diagrama de Causa e Efeito
NDC	Número de distintas categorias
ASQC	Automotiva da Sociedade Americana para Controle de Qualidade
ISO	Organização Internacional Padronização (do inglês <i>International Standardization Organization</i>)
MSA	Análise do Sistema de Medição (do inglês <i>Measurement Systems Analysis</i>)
NBR	Norma Brasileira
TS	Especificação Técnica (do inglês <i>Technical Specification</i>)
CEP	Controle Estatístico do Processo
R&R	Repetitividade e Reprodutibilidade
VA	Variação entre Operadores
VT	Variação total
VE	Variação do equipamento
VP	Variação entre Peças
LIE	Limite Inferior Especificado
LSE	Limite Superior Especificado
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia
R&R	Repetitividade e Reprodutibilidade
AIAG	Grupo de Ação da Indústria Automotiva (do inglês <i>Automotive Industry Action Group</i>)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo	13
1.2 Escopo	14
2. FUNDAMENTAÇÃO	15
2.1 Conceitos	15
2.2 Tipos de erros	17
2.3 Análise do sistema de Medição	20
2.5 Exigências Normativas	25
3. ESTUDOS ESTATÍSTICOS	27
3.1 Tendência	27
3.2 Linearidade	32
3.3 Estabilidade	37
3.4 R&R por Variável	42
3.5 R&R por Atributo	48
4. APRESENTAÇÃO DO CASO	49
4.1 Caracterização da empresa	49
4.2 Proposta	50
4.3 Análises iniciais	50
4.4 Realização dos estudos	53
4.4.1 Tendência	53
4.4.2 Linearidade	55
4.4.3 Estabilidade	59
4.4.4 R&R por Variável	61
5. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS:	65

1. INTRODUÇÃO

No passado cada montadora da indústria automobilística possuía suas próprias diretrizes e procedimentos para garantir que o fornecedor cumprisse uma exigência para abastecimento. As diferenças entre tais diretrizes resultavam em demandas adicionais que recaíam sobre os recursos dos fornecedores.

Para melhorar essa situação, uma força tarefa foi formalmente estabelecida para criar e padronizar: Os manuais de referência, procedimentos, formulários e a nomenclatura técnica a ser utilizada. Em 1990, a Chrysler, Ford e General Motors concordaram em desenvolver e distribuir, por meio do Grupo de Ação da Indústria Automotiva (AIAG), o Manual de Análise dos Sistemas de Medição – MSA 1ª edição.

1.1 Objetivo do Trabalho

- I. Estudar de forma sistêmica a importância da análise dos sistemas de medição na indústria automotiva;
- II. Compreender as influências dos fatores i) medição, ii) mão de obra, iii) método, iv) meio ambiente, v) máquinas e vi) matéria-prima no processo de medição;
- III. Realizar estudos estatísticos de tendência, linearidade, estabilidade, repetitividade e reprodutibilidade (R&R) por variável;
- IV. Realizar análise crítica, dos estudos estatísticos via software GASM de acordo com as especificações técnicas do Grupo de Ação da Indústria Automotiva (AIAG), descrito no Manual de Análise dos Sistemas de Medição (MSA).

1.2 Escopo

A presente dissertação está estruturada em 4 capítulos. O Capítulo 1 é a Introdução, com a definição dos Objetivos do trabalho e o Escopo com análise da abrangência e limitações. No Capítulo 2, a proposta é conceituar a fundamentação e mapear todas as influências no controle da variação do processo da análise do sistema de medição, uma ampla revisão bibliográfica, para melhor compreensão da importância e abrangência na indústria automotiva. No Capítulo 3 é feita Apresentação do caso, com elucidação da proposta e o desenvolvimento dos conceitos aprendidos. No Capítulo 4, são apresentados os comentários finais sobre a análise do sistema de medição na indústria automotiva, sendo, também, sugeridas observâncias das influências de variação de máquina, medição, mão de obra, método, matéria-prima e meio ambiente no processo de confirmação da qualidade nos resultados do sistema de medição.

O presente trabalho apresenta algumas limitações de estudo, que podem ser resumidas por:

- Observância da exigência normativa da ABNT NBR ISO TS 16949 (2009) para realização da análise do sistema de medição;
- Aplicação a empresas da área automobilística;
- Demonstra-se, no caso abordado utilização de uma coluna de medição no controle de uma característica dimensional crítica do cilindro mestre duplo, nome técnico designado ao principal componente do sistema de frenagem de veículos automotores;
- Não se realiza, estudo estatístico de repetitividade e reprodutibilidade (R&R) por atributo em virtude da característica dimensional por variável controlada do produto cilindro mestre duplo;
- Apresenta-se, estudos estatísticos do referido caso em forma de relatório, extraído do software estatístico GASM;
- Não se realiza, cálculos estatísticos manuscritos do referido caso por não refletir o cotidiano da empresa X do Brasil. Contudo, é utilizado software estatístico "GASM" para lançamento dos dados coletados de acordo com as diretrizes do Grupo de Ação da Indústria Automotiva (AIAG), descrito no Manual de Análise dos Sistemas de Medição (MSA) e posteriormente análise crítica dos resultados.



Figura 01 – Instrumento de Medição

Fonte: <http://www.serratools.com.br/produtos/instrumentos-de-medicao/>

Acessado em 09/12/2016

Logo, dispositivo de medição ilustra-se pela figura 02, ressalta-se, diversificação de tipos de dispositivos existentes.

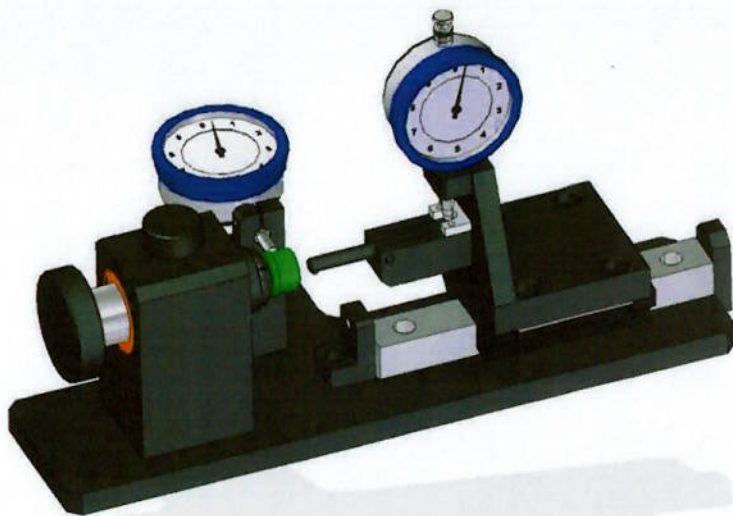


Figura 02 – Dispositivo de Medição

Fonte: <http://www.sermec.net.br/produtos/dispositivos-de-medicao>

Acessado em 09/12/2016

Segundo INMETRO (2012a, 48p.), define-se sistema de medição como: “Conjunto dum ou mais instrumentos de medição e frequentemente outros dispositivos, montado e adaptado para fornecer informações destinadas à obtenção dos valores medidos.”

Em resumo, são compostos por vários módulos interligados tais como programa de computador, padrão de medição, material de referência, dispositivos auxiliares, necessários para executar um processo de medição, não possui um uso tão simples e geralmente necessita de um usuário mais qualificado para seu manuseio (Albertazzi & Souza, 2008).

Logo, a diferença entre instrumento de medição e sistema de medição está associada aos módulos envolvidos para uma determinada medição.

2.2 Tipos de erros

Os erros de indicação que afetam variação do processo de medição podem ser atribuídos a vários fatores tais como meio ambiente, temperatura, pressão, umidade, ruídos, poeira, flutuação de tensão de alimentação ou até mesmo pela má definição

do instrumento ou dispositivo a ser utilizado em um determinado processo de medição (Albertazzi & Sousa, 2008).

Indesejável, mas inevitável, o erro de medição não pode ser ignorado. Negar sua existência seria outro erro. Desde que sejam entendidas as causas e a natureza do erro de medição, é possível conviver com ele e ainda obter informações confiáveis de um processo de medição. Albertazzi & Sousa (2008a, 39p.)

Segundo Albertazzi & Sousa (2008b, p.42), erro de medição “ É a diferença entre o valor indicado pelo instrumento de medição menos o valor verdadeiro do mensurando”, conforme ilustra-se pela equação (1).

$$E = I - VV \quad (1)$$

Sendo que:

E: Erro de medição

I: Indicação do instrumento de medição

VV: Valor verdadeiro do mensurando

Segundo Cabral (2004, 11p.), erros grosseiros são: “Devidos à falta de atenção, pouco treino ou falta de perícia do operador”, conforme ilustra-se na figura 03. Tais causas são: decorrente da troca de algarismos ao registrar um determinado valor lido, sendo normalmente fáceis de detectar e eliminar.

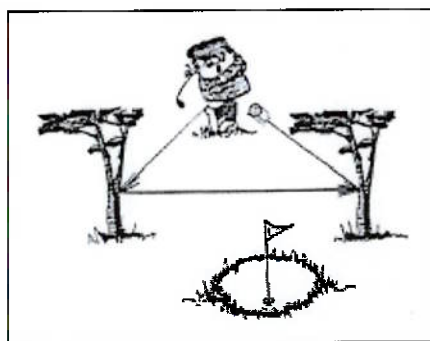


Figura 03 – Erros grosseiros
Fonte: Cabral (2004, 11p.)

Segundo Cabral (2004, 11p.), Erros sistemáticos são: “Os que afetam os resultados sempre no mesmo sentido.”, conforme ilustra-se na figura 04. Salienta-se que determinadas causas são decorrentes do incorreto posicionamento do zero da escala, afetando todas as leituras realizadas no instrumento de medição, exemplo medição com micrômetro onde a escala com tambor, está deslocada.

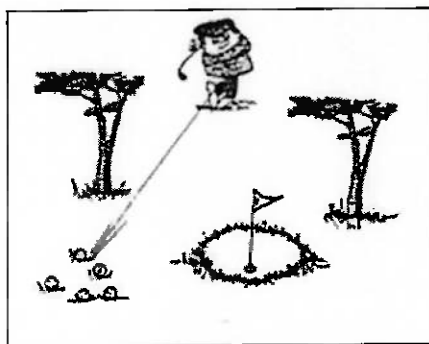


Figura 04 – Erros sistemáticos
Fonte: Cabral (2004, 11p.)

Segundo Cabral (2004, 11p.), Erros aleatórios “Estão associados à natural variabilidade dos processos físicos, levando a flutuações nos valores medidos.”

Conforme ilustra-se na figura 05. Sendo imprevisíveis e deve-se tratar com métodos estatísticos.

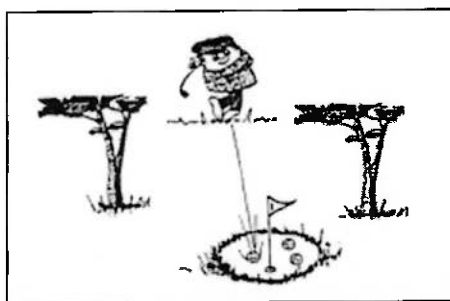


Figura 05 – Erros aleatórios
Fonte: Cabral (2004, 11p.)

2.3 Análise do sistema de Medição

Tendo em vista, que os instrumentos ou sistemas de medição degradam seu desempenho ao longo do tempo por causa de desgaste, quedas, manuseio incorreto e qualidade do instrumento, gerando aumento significativo dos erros de medição. Para que a confiança nos resultados das medições seja mantida, deve-se, comparar periodicamente a valores de referência estabelecidos, sendo assim, conhecida por calibração (Campos ,1994).

Define-se calibração como:

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, sendo, os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões". Inmetro (2012b, 55p.)

Os estudos de Análise do Sistema de Medição (MSA), têm como objetivo avaliar a influência dos erros e efeitos no sistema de medição bem como prover subsídios para tomada de decisões. Erros de medição podem comprometer seriamente os resultados dos controles nos mais variados processos e impactar significativamente a qualidade do produto final. Sendo assim, significativos erros de medição poderiam resultar na reprovação de peças boas, ou pior, aprovação de peças fora da especificação (Cabral, 2004).

Segundo Silva (2007, 2p.) "A análise do sistema de medição sempre foi importante para se garantir a consistência dos controles nos processos de fabricação, sobretudo, no recebimento, processo e aprovação final. "

Essa ferramenta estatística de avaliação da variabilidade do sistema de medição permite conhecer de forma consistente e eficaz os controles e variações dos processos.

Segundo COLENGHI (2007, 15p.), diagrama de causa e efeito – DCE, também conhecido por Diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe, " É uma ferramenta eficaz na determinação de causas (problemas) e a percepção dos efeitos (ineficiências), destacando-se como ponto positivo seu alto grau de aplicabilidade no gerenciamento da qualidade. "

Com a utilização desta ferramenta, é possível auxiliar as organizações na resolução dos diversos problemas gerados nelas, tais como: a redução de desperdícios nos processos, no sistema organizacional e no local de trabalho (Lins, 1993).

Segundo Lins (1993a, 3 p.) “O diagrama permite, a partir dos grupos básicos de possíveis causas, desdobrar tais causas até os níveis de detalhe adequados à solução do problema.” Ilustra-se, esse desdobramento conforme figura 06.

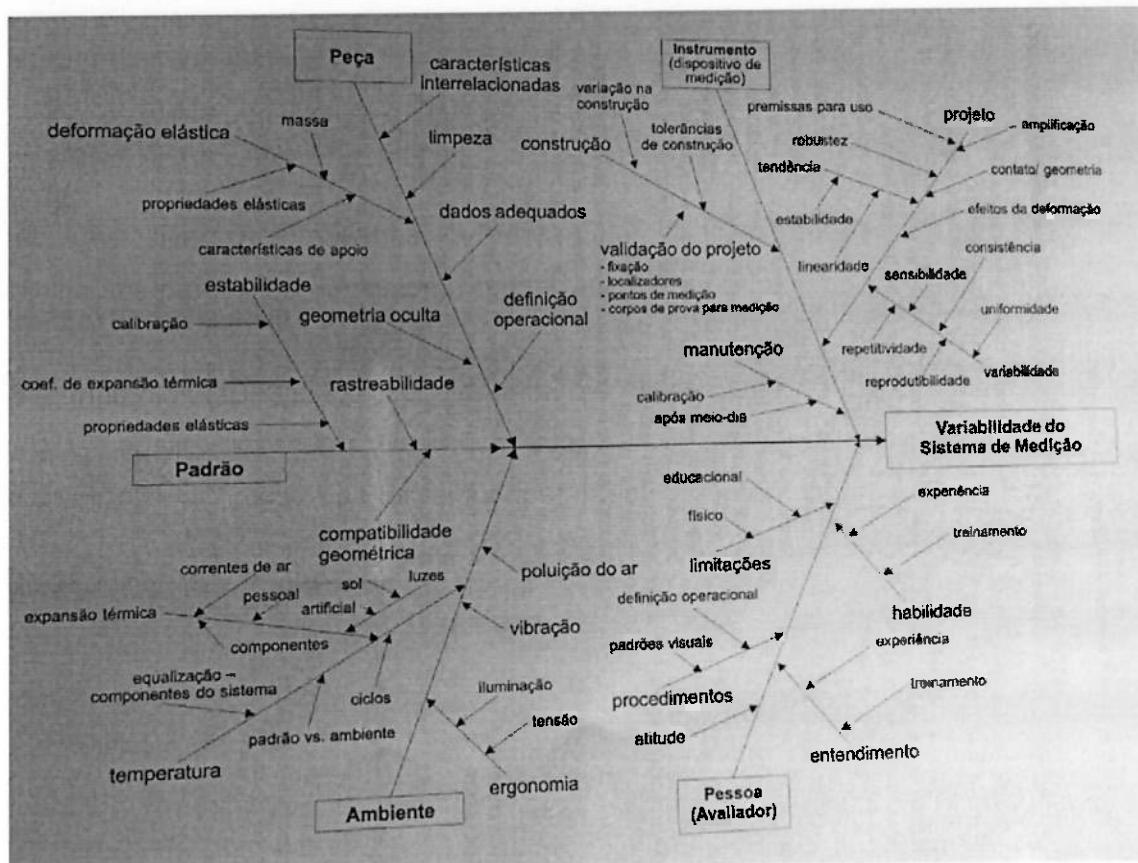


Figura 06 – Diagrama de Ishikawa para o efeito: variabilidade do sistema de medição
Fonte: AIAG (2010a, 17p.)

De um modo geral, os sistemas de medição dividem-se dois grupos (LEÃO, 2016):

- I. Sistemas de medição replicáveis, normalmente permite-se que a mesma amostra seja medida n vezes com as mesmas características em todas as medições, exemplo mesmo ponto, mesma posição, mesma amostra;
- II. Sistemas de medição não replicáveis, geralmente não permitem a repetição das medidas na mesma amostra, neste sistema é comum que a amostra sofra variações de suas propriedades ao longo do tempo ou sejam deformadas pelo equipamento de medição.

2.4 Carta de Controle

A carta de controle, também denominada carta de Shewhart, por ter sido desenvolvido em 1920 pelo estatístico norte-americano Walter Shewhart, é utilizada para o acompanhamento de processos produtivos.

Segundo Lins (1993b, p.4) "Um processo é uma certa combinação de equipamentos, pessoas, métodos, ferramentas e matéria-prima, que gera um produto ou serviço com determinadas características."

As características de um produto ou serviço resultante dependem do processo adotado. Assim, tendo necessidade de modificar algumas dessas características, deve-se alterar o processo, para que tais alterações possam ser estudadas e implementadas, gerando resultados previsíveis para que o processo esteja sob controle. Salienta-se, que para colocar um processo sob controle, é necessário analisar todos os desvios significativos de comportamento que venham a ocorrer no mesmo, identificar claramente as suas causas e resolvê-las sempre que possível (Albertazzi & Sousa 2008).

Quando o processo estiver sob controle, esses problemas terão sido eliminados e ocorrer-se, apenas algumas variações eventuais, não sistemáticas ou aleatórias, em seu comportamento. Só então, torna-se adequado estabelecer um ciclo em que esse processo é observado e comparado com um padrão desejado de desempenho. O

estudo do comportamento do processo é desenvolvido com o apoio do Controle Estatístico de Processos (CEP), que baseia-se na premissa, que a carta de controle é possível acompanhar o comportamento do processo e documentar a sua variabilidade. Sabe-se, o instante em que um certo desvio foi identificado e pode-se utilizar as demais ferramentas para estudar suas causas e corrigi-las (Reis, 2001). Ilustra-se, carta de controle e seus respectivos limites de controle pela figura 07.

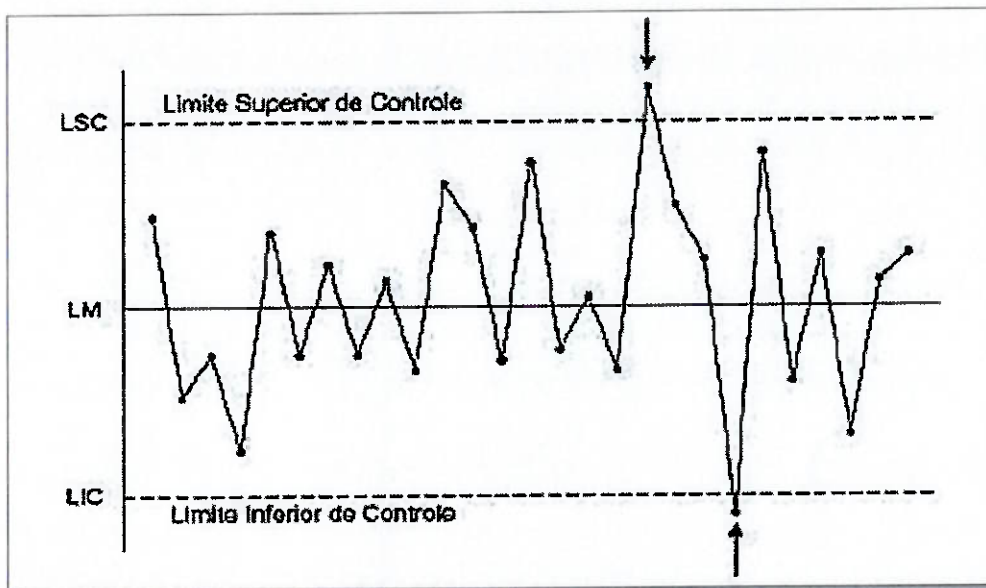


Figura 07 – Exemplo de uma carta de controle
Fonte: ESTATCAMP (2006)

Para o gerenciamento do processo e redução da variabilidade, investiga-se as causas da variabilidade no processo. O primeiro passo é distinguir entre causas comuns e causas especiais.

Segundo LIRA (2001, 246p.) “Um dos piores desafios quanto os efeitos na decisão sobre o processo é chamar uma causa comum de causa especial ou chamar uma causa especial de comum.”

Essa confusão entre causas especiais e comuns conduz à maior variabilidade e aumento dos custos, por não ter a clareza das definições e suas atuações. A atuação em causas comuns como se fossem causas especiais, pode-se, levar a um aumento indesejado das variações, além de representar um custo desnecessário, por outro lado, passa-se despercebidas causas especiais, tais causas podem ser incorporadas

ao resultado do processo, tornando aceitável o que deveria ser rejeitado (Deming, 1986).

Causas comuns ou aleatórias, são fontes de variações inerentes a um processo que encontra-se sob controle estatístico, as quais são difíceis de identificar, porém, juntas criam-se, um sistema constante de variação. Exemplos: mudanças na temperatura ou umidade; operação normal de uma máquina em boas condições, porém não adequada ao processo (ESTATCAMP, 2006).

Causas especiais, são fontes relativamente grandes de variações, as quais são identificáveis e ocorrem fora do sistema constante de variação. Exemplos: desgaste anormal da ferramenta de corte; falha no mancal da máquina, operador inexperiente (ESTATCAMP, 2006). Ilustra-se, na figura 08 os conceitos de causas comuns e especiais de variação.

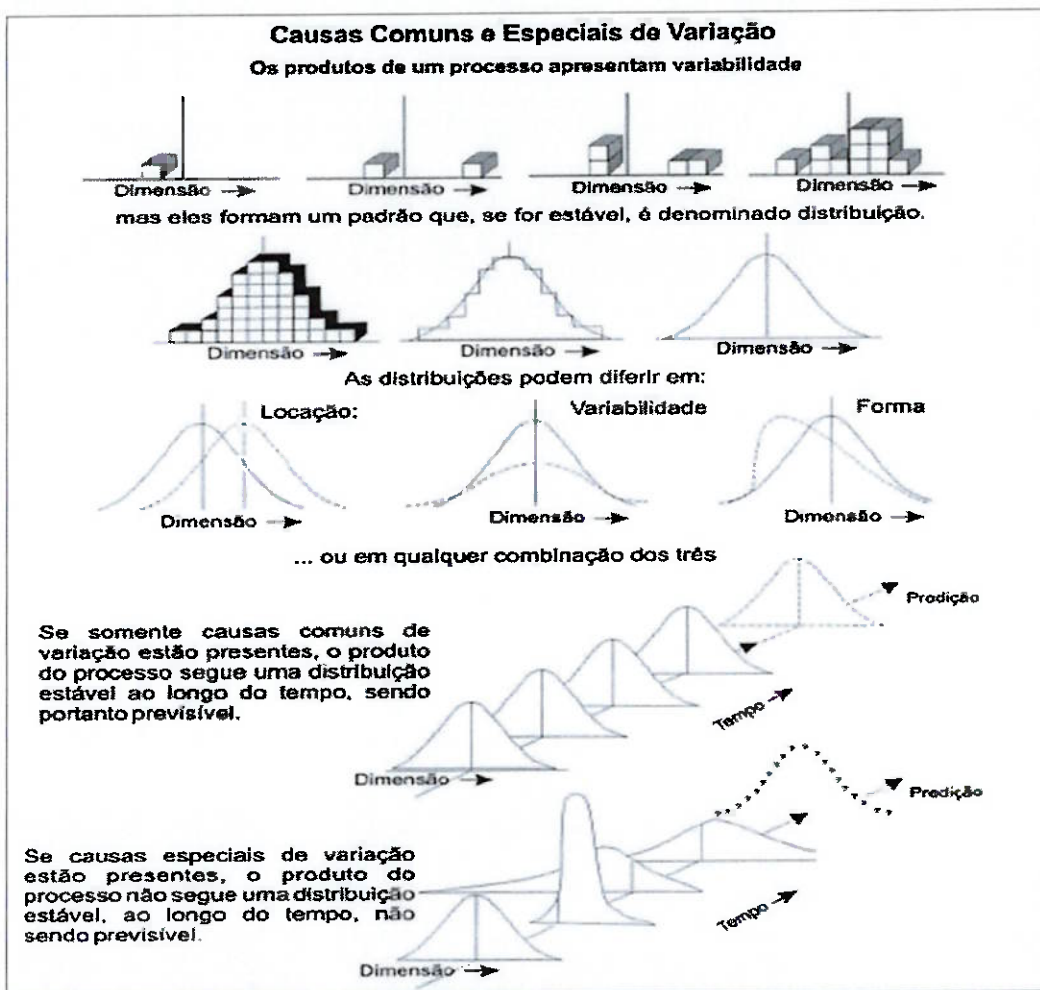


Figura 08 – Causas comuns e Especiais de Variação
Fonte: WERKEMA (1995, 54p.)

2.5 Exigências Normativas

Salienta-se, que toda empresa da cadeia automotiva é certificada pela ABNT NBR ISO TS 16949 (2009), norma de gestão da qualidade para fornecedores do setor automotivo, que regulamenta o fornecimento de produtos às montadoras e que expressa, em um de seus requisitos, sua preocupação com análise do sistema de medição em concordância com as diretrizes do manual de MSA - Measurement Systems Analysis.

Ilustra-se, o manual de análise dos sistemas de medição na figura 09.

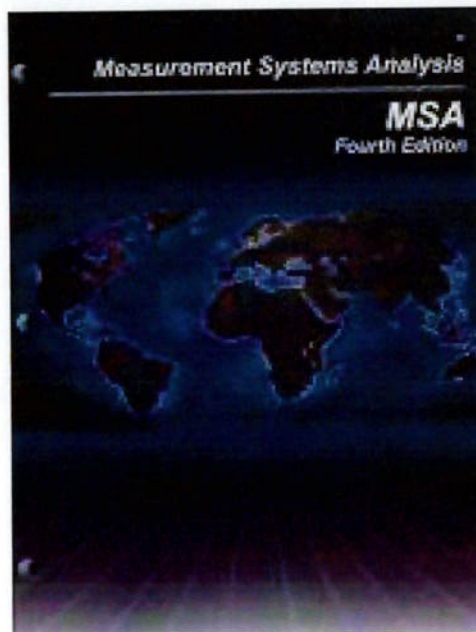


Figura 09 – Manual da análise dos sistemas de medição
Fonte: AIAG (2010b, capa)

A análise do sistema de medição é obrigatória para autopeças, de acordo com o requisito 7.6.1 da ABNT NBR ISO TS 16949 (2009, 39p.) “Estudos estatísticos devem ser conduzidos para analisar a variação presente nos resultados de cada tipo de sistema de equipamento de medição e ensaio.”

Os métodos analíticos e os critérios de aceitação usados devem estar conforme os manuais de referência do cliente; outros métodos analíticos e critérios de aceitação podem ser usados desde que sejam aprovados pelo cliente (AIAG, 2010).

O referido requisito 7.6.1 da norma ABNT NBR ISO TS 16949 (2009) deve ser aplicado, unicamente aos sistemas de medição referenciados no plano de controle.

Plano de controle é um documento que estabelece informações necessárias para realização do controle de qualidade do produto, conforme demonstra-se na figura 10.

Os controles estão associados (LIRA, 2001):

- i. Forma de avaliação, controle visual, por instrumento de medição ou dispositivos;
- ii. Tipo de controle, características críticas, severidade;
- iii. Frequência de controle, tipo de amostragem, tamanho da amostra.

PLANO DE CONTROLE										Nº US-250			
Linha SW - BA 400										Revisão:			
☐ Projeto ☐ Pré-lançamento ☒ Produção										Nº 03 10/03/2014			
Data elaboração:		7/1/2008		Nome do peça:		20.9322-1274.100		Data rev. desenho:		F22 - 14310017 - 28/02/2014			
Nome do peça:		CARCAÇA CMD		Área:		USINAGEM		Elaborador/Elapa:		F.M.E.A.			
Aprovação digital: - QS										Controle chave - Telefone			
										Vazquez Cardoso / 3944 140011 - 1205			
Obs. P - Controla para Produção Q - controle Operador (OB) e AQC C.E. - Classificação de Características Críticas I - Inspeção com carta de controle L - Liberação de peça													
Nº Oper	Nome Processo	Máq./Disp.	Ferram.	Nº	Característica	PROCESSO	C.E.	Espec./Tol.	Técnica de Inspeção	Amostragem	Método de Controle	Plano de Reação	Auxílio Visual
					PRODUTO					Tam.	Freq.		
25	Bruxa Desbaste			14	Brunir Desbaste Característica principal: B 22,2 ± 0,03 (Dimensão de Processo) Responsabilidade do O principal: Rmax (Rq) 5 µm máximo (Dimensão de Processo)								
								Contato Eletrônica Anal. padrão ISO Visualmente	1 Rod.	8 h	1	Para processo Segregar todo lote produzido Analisar causa raíz. Corrigir processo Reacionar 100% Para peças não conformes, tratar segundo CAP007200	

Obs.: 1 Rod. (1 Rodada por Máquina)

Página 4 de 21

Figura 10 – Plano de Controle de Usinagem
Fonte: Autor

Segundo ABNT NBR ISO 10012 (2004, 13p.) “A comprovação metrológica deve ser projetada e implementada para assegurar que características metrológicas

do equipamento de medição satisfaçam os requisitos metrológicos do processo de medição. ”

A comprovação metrológica compreende a calibração, verificação do equipamento de medição, bem como identificação das variações presentes para avaliar suas interferências. Portanto, para assegurar a qualidade das características do produto e resultados do sistema de medição é necessário além da calibração realizar estudos estatísticos tais como tendência, estabilidade, linearidade e R&R para analisar a variação presente nos resultados de cada tipo de sistema de medição e ensaio.

3. ESTUDOS ESTATISTICOS

3.1 Tendência

Segundo Albertazzi e Sousa (2008c, 344p.) “Tendência corresponde à diferença entre a média das indicações obtidas de um processo de medição e um valor de referência. ” Ou seja, tendência é a diferença entre o valor real “valor de referência” e a média das medições observadas para uma característica, medições estas, feitas sobre uma mesma peça conforme representa-se na figura 11.

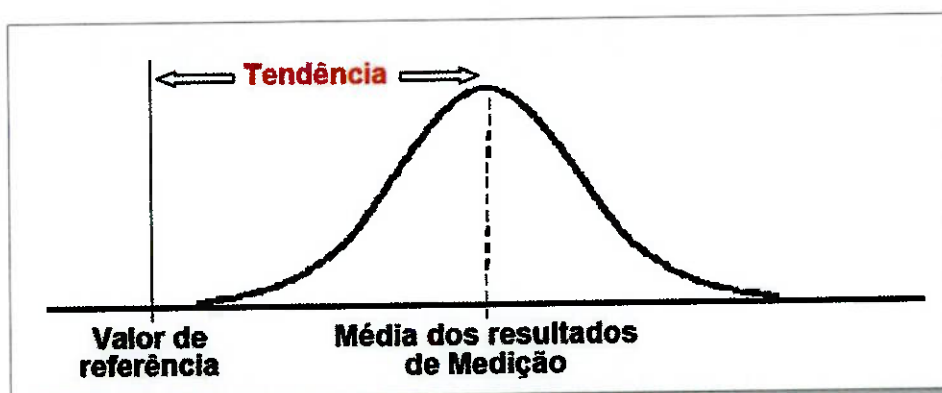


Figura 11 - Definição de Tendência
Fonte: AIAG (2016c, 93p.)

Tendência é a medida do erro sistemático do sistema de medição, sendo uma parcela do erro total composta dos efeitos combinados de todas as fontes de variação, conhecidas ou não, cujas contribuições para o erro total tendem a deslocar,

consistente e previsivelmente, demonstra-se, o cálculo de tendência pela equação 2 (AIAG, 2010).

$$\text{tendência} = \bar{X} - \text{valor de referência} \quad (2)$$

Sendo que:

$\bar{X}$: médias das medições

VR: valor de referência

Adicionalmente, tendência é conhecida como exatidão. Segundo INMETRO (2012c, 34p.) exatidão é “Grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de um mensurando”. Contudo, exatidão não é precisão. Salienta-se e esclarece-se, que precisão é a condição de repetidas medições no mesmo ponto. Ilustra-se na figura 12 o conceito de exatidão e precisão

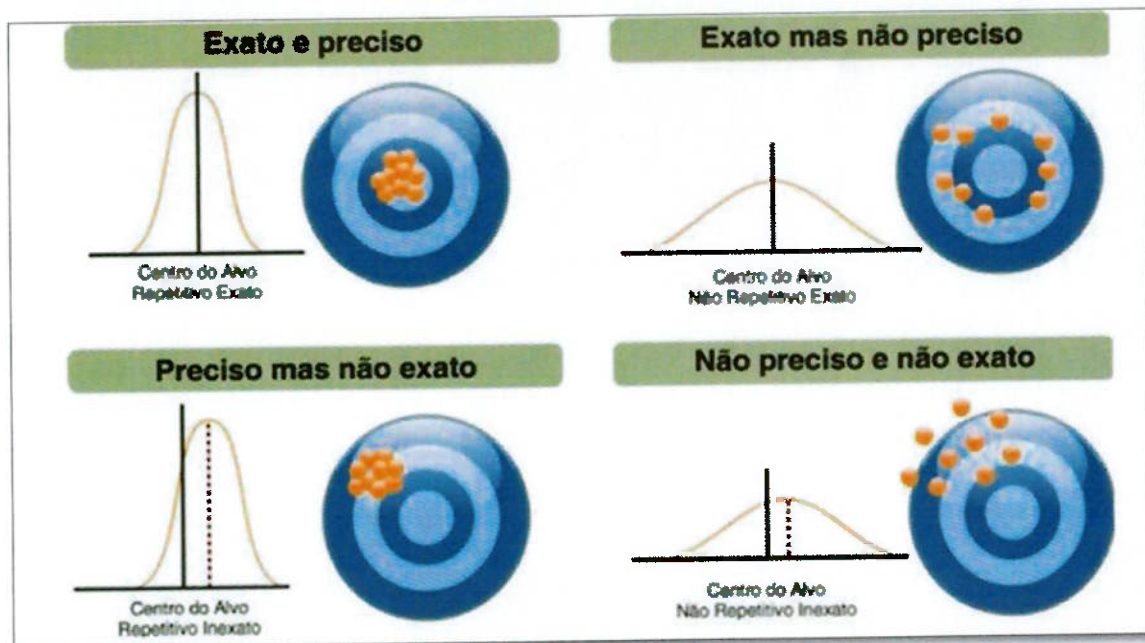


Figura 12 – Exatidão e Precisão

Fonte: <http://dominiodotempo.com.br/2014/09/04/o-controle-do-seu-projeto-sera-preciso-ou-exato/> Acessado em 10/12/2016

Enuncia-se, possíveis causas para tendências excessivas (ESTATCAMP, 2006)

- Instrumento ou dispositivo sem calibração
- Desgaste do dispositivo ou instrumento de medição

- Falha na fixação
- Padrão de referência desgastado
- Calibração inapropriada
- Instrumento de baixa qualidade
- Erro de linearidade
- Dispositivo de medição inadequado para aplicação
- Métodos diferentes de medição
- Deformação / Distorção
- Ambiente – temperatura, umidade, vibração e condições de limpeza

Critério para avaliar a tendência

a) Intervalo de Confiança

Intervalo de confiança é utilizado para indicar a confiabilidade de uma estimativa.

Uma maneira de expressar a precisão da estimação é estabelecer limites que, com certa probabilidade, incluam o verdadeiro valor do parâmetro da população. Esses limites são chamados “limites de confiança”: determinam um intervalo de confiança, no qual deverá estar o verdadeiro valor do parâmetro. Logo, a estimação por intervalo consiste na fixação de dois valores tais que $(1 - \alpha)$ seja a probabilidade de que o intervalo, por eles determinado, contenha o verdadeiro valor do parâmetro. Correa (2003, 97p.)

A tendência é aceitável ao nível de significância de 5% se o zero pertencer ao intervalo de confiança $(1 - \alpha) * 100\%$ com seus respectivos limites inferiores e limite superior. Calcula-se os limites de controle conforme demonstra-se nas fórmulas 3 e 4 (AIAG, 2010):

$$LI = \text{Tendência} - t_{(n-1, 1-\alpha/2)} \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

$$LS = \text{Tendência} + t_{(n-1, 1-\alpha/2)} \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (4)$$

Sendo que:

LI: limite inferior

LS: limite superior

$t_{(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})}$: corresponde ao quantil $1 - \frac{\alpha}{2}$ da distribuição t-Student, com nível de significância (α) de 5 %.

b) Teste de Hipóteses para a média

O objetivo do teste estatístico de hipóteses é, então, fornecer uma metodologia que nos permita verificar se os dados amostrais trazem evidências que apoiem ou não uma hipótese (estatística) formulada. BUSSAB e MORETTIN, (2013, 336p.)

Equivalentemente, pode-se realizar o seguinte teste de hipóteses pela equação 5 para avaliar a tendência:

$$\begin{cases} H_0 : \text{Tendência} = 0, \\ H_1 : \text{Tendência} \neq 0. \end{cases} \quad (5)$$

Para isso, nota-se que a estatística t é dada pela equação 6:

$$t = \frac{\text{Tendência}}{s/\sqrt{n}} \sim t_{n-1}, \quad (6)$$

Sendo s o desvio padrão das medidas, n o número de medidas e t_{n-1} a distribuição t-Student com $n-1$ graus de liberdade.

Portanto, obtém-se, a seguinte regra de decisão para um nível de significância α de 5%

Se $|t| > t_{(n-1; 1-\alpha/2)}$ rejeita-se H_0 , ou seja, a tendência é significativa do ponto de vista estatístico;

Se $|t| \leq t_{(n-1; 1-\alpha/2)}$ não rejeita-se H_0 , ou seja, a tendência não é significativa do ponto de vista estatístico.

Ilustra-se pela figura 13, região crítica do teste, isto é, os valores de t para os quais rejeita-se H_0 .

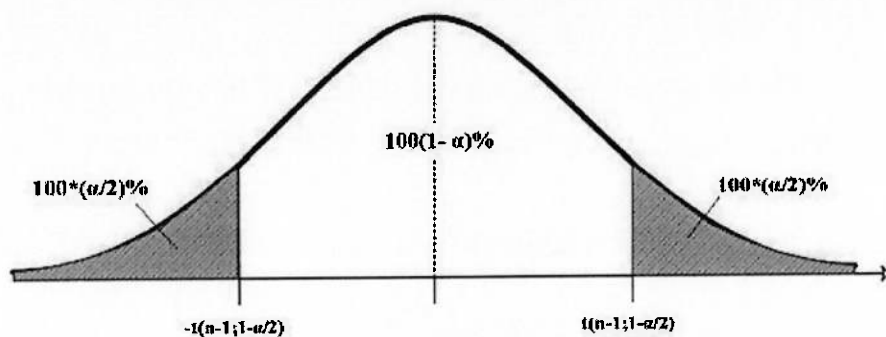


Figura 13 – Região de rejeição
Fonte: ESTATCAMP (2006a, 15p.)

c) P-valor

O P-valor representa o menor nível de significância para o qual se rejeita H_0 . Logo, para um nível de significância $\alpha = 0,05$ adotado, rejeita-se H_0 se o P-valor obtido for menor que 0,05, enquanto que não rejeita-se H_0 se o P-valor for maior que 0,05, conforme observa-se na figura 14 ESTATCAMP (2006).

Calcula-se pela fórmula 7, teste t do P-valor

$$p\text{-valor} = 2 \times P(t_{n-1} > |t|) \quad (7)$$

Sendo assim, rejeita-se H_0 quando o p-valor for menor que o nível de significância α proposto (usualmente 0,05), caso contrário ($p\text{-valor} > \alpha$) não rejeita-se H_0 .

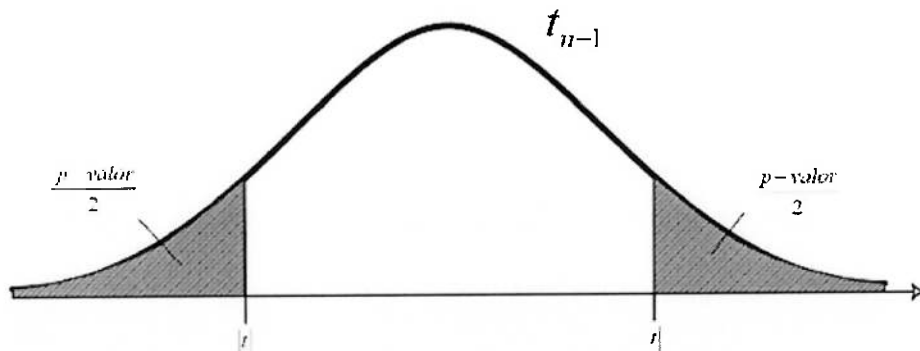


Figura 14 – P-valor

Fonte: ESTATCAMP (2006b, 16p.)

Orienta-se, para realização e critério dos estudos de tendência (AIAG, 2010):

- Obter uma peça do processo de fabricação e estabelecer seu valor de referência, medindo-se no mínimo 10 vezes, no laboratório.

- Recomenda-se, que os estudos sejam conduzidos pelo operador que normalmente utiliza o dispositivo ou instrumento de medição, medir a peça-padrão no mínimo 10 vezes, de maneira convencional e coletar os dados.
- Os estudos devem ser conduzidos o mais próximo da realidade de controle
- A tendência é aceitável se no nível de significância $\alpha - 0,05$ com 95% de confiança, sendo, o valor zero se situar dentro dos limites de confiança $1 - \alpha$, em torno do valor da tendência.
- Analisa-se, aceitabilidade da repetitividade (%VE), pela condição:
 - Erro menor que 10% - sistema de medição aceitável;
 - Erro entre 10% e 30% - sistema de medição pode ser aceito com base na importância de sua aplicação, custo da manutenção;
 - Erro acima de 30% - sistema de medição não aceitável.

Em resumo, o erro de tendência é inaceitável se for significativamente diferente de zero ou exceder o erro máximo permissível estabelecido para característica de controle do processo produtivo.

3.2 Linearidade

Segundo AIAG (2010d, 52p.), linearidade pode ser entendida como: "A diferença da tendência ao longo do intervalo de operação esperado (medição) no equipamento é chamada de linearidade."

Linearidade pode ser imaginada como a variação de tendência em relação ao tamanho medido, conforme ilustra-se na figura 15.

Um valor não aceitável para a linearidade pode ser consequência de várias peculiaridades do sistema.

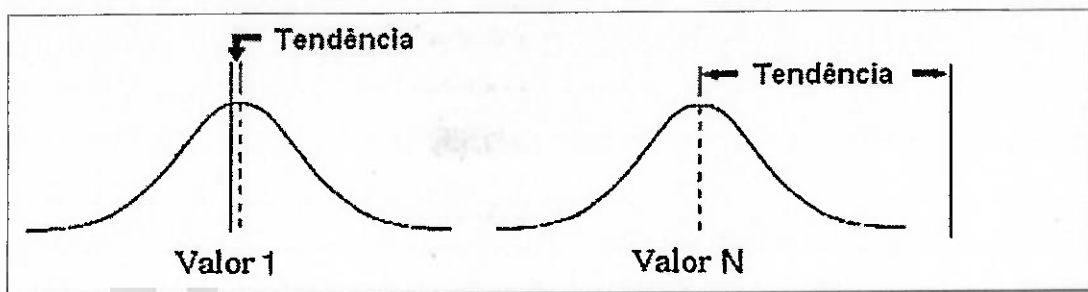


Figura 15 – Linearidade
Fonte: AIAG (2010e, 53p.)

Observa-se, na figura 16 que uma linearidade inaceitável pode vir em uma variedade de situações. Não atribui-se a tendência como sendo constante. (AIAG, 2010)

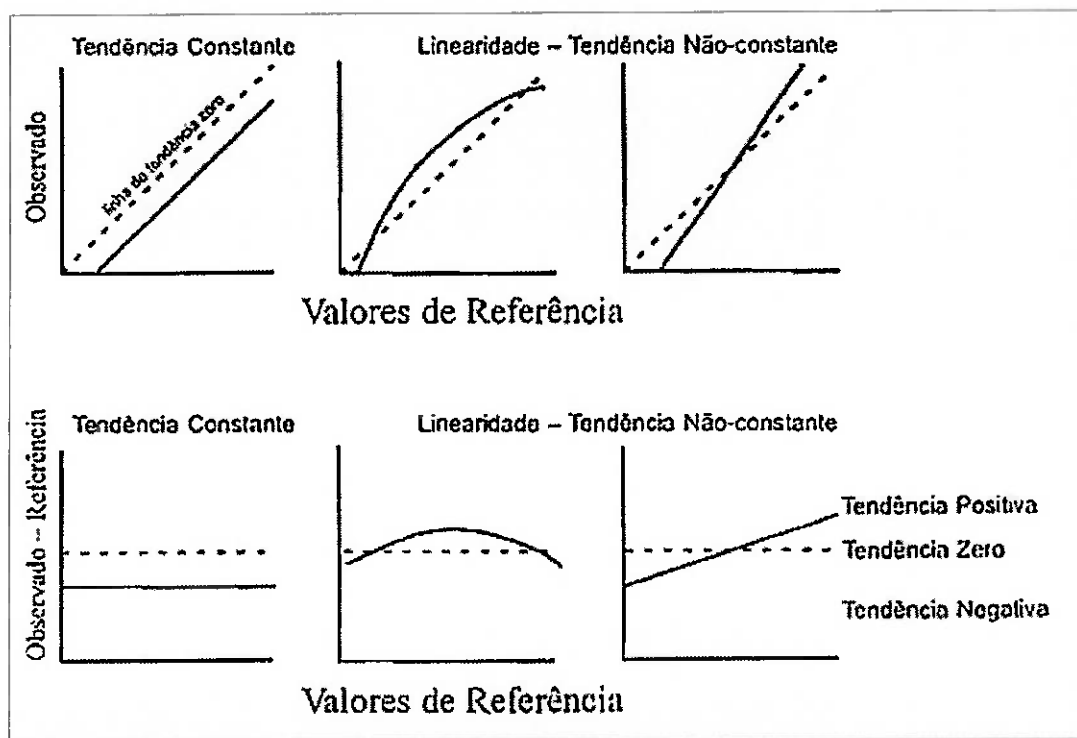


Figura 16 – Tipos de Linearidade
Fonte: AIAG (2010e, 53p.)

Calcula-se, tendência conforme ilustra-se fórmula 8, sendo a tendência de cada peça representada pela letra 'i', e para cada medição 'j' (AIAG, 2010):

$$\text{tendência } ij = y_{ij} = x_{ij} - x_{0i} \quad (8)$$

Sendo, x_{0i} é o valor de referência de cada peça usada no estudo. Calculam-se as médias das tendências para cada uma das peças, conforme ilustra-se na fórmula 9 (AIAG, 2010):

$$\overline{\text{tendência}}_i = \bar{y}_i = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m y_{ij} \quad (9)$$

Ajusta-se, uma reta aos valores de tendência média das peças, conforme ilustra-se fórmula 10, segue-se, procedimento padrão de regressão linear simples aplicado 20 aos pares ordenados formados pelo valor de referência da peça e sua tendência média correspondente, identifica-se para inclinação 'a' conforme ilustra-se na fórmula 11 e de interseção das retas fórmula 12 (AIAG, 2010) :

$$\bar{y}_i = a \cdot x_{0i} + b \quad (10)$$

$$a = \frac{\sum x_0 \cdot y - \left(\frac{1}{g \cdot m} \cdot \sum x_0 \cdot \sum y \right)}{\sum x_0^2 - \frac{1}{g \cdot m} \cdot (\sum x_0)^2} \rightarrow \text{inclinação} \quad (11)$$

Sendo g o número de peças.

$$b = \bar{y} - a \cdot \bar{x}_0 \rightarrow \text{interseção} \quad (12)$$

Verifica-se, que efetivamente o modelo linear seja representativo do comportamento do sistema de medição. Se a linha reta não se ajustar aos valores das tendências médias, o estudo deve ser abortado. A verificação pode ser feita estimando o valor do coeficiente de ajuste R^2 (SILVA, 2005).

Contudo, deve-se fazer uma análise crítica do gráfico, pois a partir do mesmo pode-se obter mais informações. A partir da linha de regressão, é calculado o desvio padrão dos resíduos aplicando-se a fórmula 12 (AIAG 2010):

$$s = \sqrt{\frac{\sum y^2 - b \cdot \sum y - a \cdot \sum x_0 \cdot y}{v}} \quad (12)$$

Onde o número de graus de liberdade é $n = g \times m - 2$ e m , sendo o número de medições replicadas. De posse dos valores acima, pode se calcular o intervalo de confiança para a reta de regressão para cada valor de referência x , conforme fórmula 13 (AIAG 2010):

$$\Delta(x) = t_{v, 1-\alpha/2} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{g \cdot m} + \frac{(x - \bar{x}_0)^2}{\sum (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}} \quad (13)$$

Onde $\Delta(x)$ é a amplitude do intervalo em função do valor de referência do objeto medido e, $t_{v, 1-\alpha/2}$ é o valor da variável t-Student. O intervalo assim calculado pode ser somado e subtraído dos valores das ordenadas correspondentes à reta de regressão, obtendo-se assim duas curvas que definem a região onde poderá ser encontrada a reta que representa o verdadeiro comportamento linear do sistema de medição, com uma confiança de $(1 - \alpha)$, usualmente 95%, sendo a fórmula 14 para limites inferior e a fórmula 15 superior (AIAG 2010):

$$L_{inf}(x) = b + a \cdot x - \Delta(x) \quad (14)$$

$$L_{sup}(x) = b + a \cdot x + \Delta(x) \quad (15)$$

Recomenda-se, para realização e critério dos estudos de linearidade (AIAG, 2010):

- Separa-se, no mínimo 5 amostras, cujas medidas se distribuam ao longo dos limites do processo, estabelece-se seu valor de referência, medindo-se no mínimo 10 vezes, no laboratório;
- Enumera-se as amostras;
- Recomenda-se, que os estudos sejam conduzidos pelo operador que normalmente utiliza o dispositivo ou instrumento de medição, mede-se cada amostra no mínimo 10 vezes de forma aleatória, de maneira convencional e coleta-se os dados;
- Os estudos devem ser conduzidos o mais próximo da realidade de controle;
- Para linearidade ser aceitável, observa-se, a linha de tendência = 0 deve estar inteiramente contida nos limites de confiança;
- Se a análise gráfica indica que a linearidade é aceitável então a seguinte hipótese deve ser verdadeira: $H_0: a = 0$ - Inclinação da reta = 0;
- Analisa-se, aceitabilidade da repetitividade (%VE), pela condição:

Erro menor que 10% - sistema de medição aceitável;

Erro entre 10% e 30% - sistema de medição pode ser aceito com base na importância de sua aplicação, custo da manutenção;

Erro acima de 30% - sistema de medição não aceitável.

Em resumo, o erro de linearidade é inaceitável se for significativamente diferente de zero ou exceder o erro permissível máximo estabelecido para característica de controle do processo produtivo.

3.3 Estabilidade

Segundo INMETRO (2010d, 94p.) estabilidade é, “Variação total das medições obtidas com um sistema de medição aplicado sobre o mesmo padrão ou peça, medindo uma única característica no decorrer de um período de tempo prolongado.”

Destaca-se, que o intuito da estabilidade é entender como varia a tendência ou como varia as medidas feitas com o instrumento de medição ao longo do tempo.

Segundo Albertazzi e Sousa (2008d, 345p.), “O parâmetro estabilidade está associado à capacidade do sistema de medição em manter suas características estatísticas ao longo do tempo.”

Observa-se, na figura 17 que estabilidade é a variação da tendência em função do tempo.

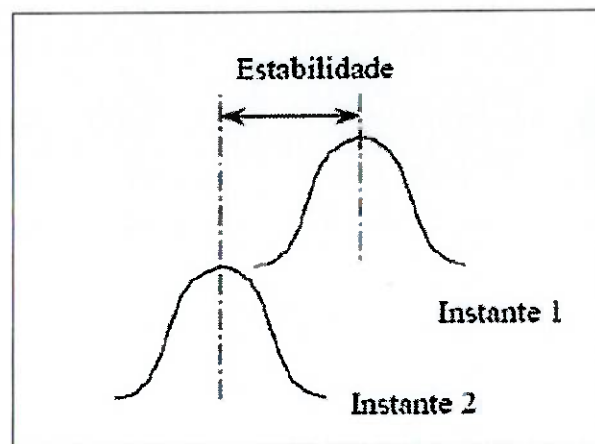


Figura 17 – Representação de Estabilidade
Fonte: AIAG (2010f, 96p.)

Enuncia-se, possíveis causas para estabilidade (AIAG, 2010)

- Falta de calibração
- Desgaste do instrumento
- Manutenção precária
- Padrão referência desgastado ou danificado
- Erro no padrão de referência
- Calibração inadequada ou uso inadequado do padrão

- Instrumento de baixa qualidade
- Falta de robustez do projeto do instrumento ou do método
- Métodos diferentes de medição – configuração, carregamento, aperto/fixação, técnica de operação
- Deformação da peça ou do dispositivo de medição
- Mudança Ambiental lenta e gradual – temperatura, umidade, vibração, limpeza
- Aplicação – tamanho da peça, posição, habilidade do operador, fadiga

Utiliza-se, carta das médias para processos em que se pode estabelecer réplicas ou subgrupos de amostras. Nesse tipo de carta consideram-se conhecidos a média (μ) e o desvio padrão σ e que para cada subgrupo formado por N observações:

Igualmente importante, é a utilização das cartas de amplitudes que representa a diferença entre a maior e a menor indicação dentro de um mesmo grupo (AIAG, 2010).

Calcula-se, médias das amostras ($\bar{x}$) conforme fórmula 16.

$$\bar{X}_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n}{n} \quad (16)$$

Calcula-se, desvio padrão conforme fórmula 17.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (17)$$

x_{i-n} = valor de cada item da amostra para o qual se quer obter o desvio-padrão.

$\bar{x}$ = média da amostra em questão

n = tamanho da amostra

Calcula-se, amplitudes de cada amostra (r) conforme fórmula 17.

$$r = X_{\max} - X_{\min} \quad (17)$$

$x_{\max}$ = valor máximo encontrado na amostra

$x_{\min}$ = valor mínimo encontrado na amostra

Os limites de controle são estipulados a partir da probabilidade de falsos alarmes permitida. Logo, têm-se para o limite superior de controle (LSC), limite inferior de controle (LIC) e linha central (LC) (MONTGOMERY, 2015).

Calcula-se, os limites de amplitude pelas fórmulas 18 e 19.

$$LIC_R = D_3 \cdot \bar{R} \quad (18)$$

$$LSC_R = D_4 \cdot \bar{R} \quad (19)$$

Calcula-se, os limites das médias pelas fórmulas 20 e 21.

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (20)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (21)$$

Sendo que:

LIC : Limite inferior de controle da carta de amplitudes

LSC : Limite superior de controle da carta de amplitudes

R : Amplitude média entre todas as amplitudes

A₂: Constante em função do número de medições dentro do grupo

D₃ e D₄ : Constante para cálculo dos limites de controle da carta de amplitude que depende do tamanho do subgrupo representado pela letra “n”, demonstra-se na tabela 01.

Limites dos Gráficos	Nº de elementos da Amostra (n)	A2	D3	D4
Gráficos das médias	2	1,88	0	3,267
$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$	3	1,023	0	2,574
$LC = \bar{\bar{X}}$	4	0,729	0	2,282
$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$	5	0,577	0	2,114
	6	0,483	0	2,004
Gráfico das Amplitudes R	7	0,419	0,076	1,924
$LSC = D_4\bar{R}$	8	0,373	0,136	1,864
$LC = \bar{R}$	9	0,337	0,184	1,816
$LIC = D_3\bar{R}$	10	0,308	0,223	1,777

Tabela 01– Constante para Cálculo dos limites de Controle
Fonte: ESTATECAMP (2006c, 25p.)

Uma vez construídos os gráficos de controle, deve-se analisar (MONTGOMERY, 2015):

- i. Presença de pontos fora dos limites de controle
- ii. Sete ou mais pontos consecutivos crescentes ou decrescentes
- iii. Sete ou mais pontos consecutivos acima ou abaixo da linha média

Se existirem, devem-se realizar ações corretivas e continuar com a amostragem até que o sistema esteja sob controle estatístico. Na figura 18, observa-se que as médias $\bar{X}$, referente aos dados dispostos entre os limites do intervalo com existência de um ponto fora. Evidencia-se também, que há indícios de falta de aleatoriedade no gráfico das médias $\bar{X}$, sendo os últimos 8 pontos abaixo da linha central, entretanto, o gráfico da Amplitude apresenta um comportamento supostamente aleatório e estável.

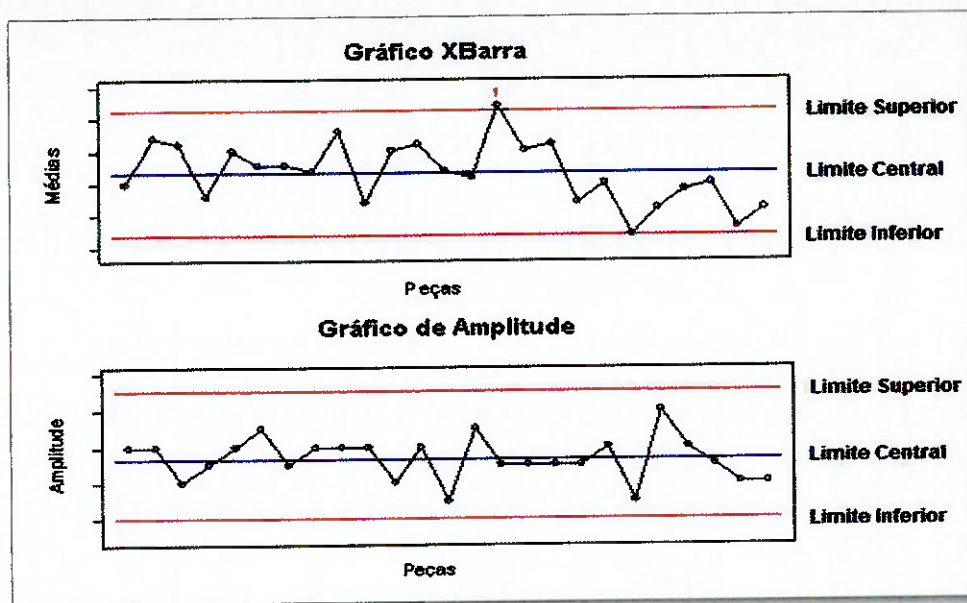


Figura 18 - Exemplo hipotético de uma carta X-R
 Fonte: ESTATCAMP (2006d, 12p.)

Salienta-se, que o gráfico das Médias (x barra), são inseridos as médias das amostras com objetivo de controlar os valores médios das características estudadas e monitoradas e o gráfico da Amplitude (R), revela justamente a variabilidade dentro de uma mesma amostra, de modo que as amostras devem ser selecionadas permitindo que a variabilidade dentro da amostra meça apenas causas aleatórias ou casuais (AIAG, 2010)

3.4 R&R por Variável

R&R, significa repetitividade e reprodutibilidade. Repetitividade identifica-se pela sigla “VE”, significa variação do equipamento, sendo a variação das medições obtidas com um instrumento de medição, usado diversas vezes por um operador, ao medir a mesma característica na mesma peça, sendo, 3 medições em cada uma das 10 amostras por operador (AIAG 2010).

Reprodutibilidade identifica-se pela sigla “VO” – variação do operador é a variação das médias das medições feitas entre 3 diferentes operadores, usando o mesmo instrumento de medição ao medir uma mesma característica de uma mesma peça, adicionalmente, deve ser considerado 10 amostras sendo 3 medições por amostra em dias ou semanas distintos (AIAG 2010).

Logo, R&R é a soma das variações devido à falta de Repetitividade (VE) e Reprodutibilidade (VO), conforme ilustra-se na imagem 19 e fórmula 22.

$$RR = \sqrt{(VE)^2 + (VO)^2} \quad (22)$$

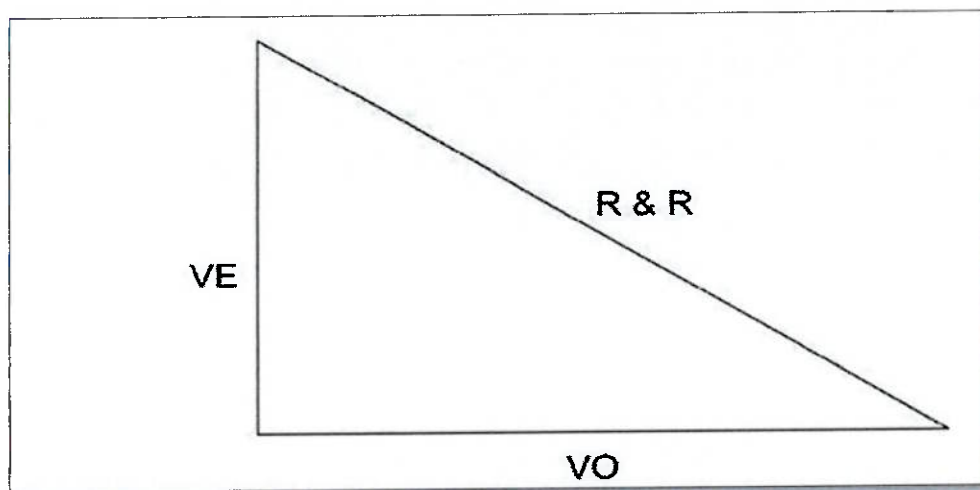


Figura 19 – Repetitividade e Reprodutibilidade
Fonte: ESTATCAMP (2006e, 26p.)

Define-se, R&R por variável está associado a medição direta, ou seja, possibilidade de enxergar diretamente, determinada medida no instrumento de medição.

Variabilidade entre partes (variabilidade do processo de produção) - VP

É a variação das medidas observadas entre os itens produzidos pelo processo, isto é, a variabilidade observada nas peças. Salienta-se que a variabilidade entre as partes pode ser obtida a partir de um estudo de capacidade do processo ou a partir do próprio estudo para determinar o R&R (AIAG, 2010).

Índices de capacidade do processo

Os índices de capacidade têm por objetivo avaliar se um processo é capaz de gerar produtos que possam atender as especificações. Para utilizar os índices de capacidade é necessário que o processo esteja sob o controle estatístico e que a variável de interesse tenha distribuição próxima da normal (Montgomery, 1997).

O índice C_p , chamado de índice de capacidade potencial do processo, considera que o processo está centrado no valor nominal da especificação. Caso a característica de qualidade em estudo tenha distribuição bilateral, define-se, o índice C_p pela equação 23 (Montgomery, 1997).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (23)$$

Sendo que:

LSE: limite superior de especificação

LIE: limite inferior de especificação

σ : desvio-padrão do processo

Salienta-se, que o índice C_p está relacionado a variabilidade admissível ao processo, ou seja, especificação do projeto. Sendo assim, quanto maior o valor da C_p , maior será a capacidade do processo em satisfazer às especificações, analisa-se este índice por três intervalos de referência, conforme tabela 2 (Montgomery, 2004).

Cp	Itens não conformes (PPM)	Interpretação
$Cp < 1$	Acima de 2700	Processo incapaz
$1 \leq Cp \leq 1,33$	64 a 2700	Processo aceitável
$Cp \geq 1,33$	Abaixo de 64	Processo potencialmente capaz

Fonte: Montgomery (2004)

Tabela 02 – Intervalos de referência para análise do índice Cp
Fonte: Montgomery (2004, 154p.)

Índice Cpk, tem como objetivo medir a distância entre o limite de especificação mais próxima do valor esperado a partir da característica de qualidade estudada (Montgomery, 1997). Este índice é dado pela Equação (24).

$$C_{pk} = \text{MIN} \left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right) \quad (24)$$

Sendo que:

LSE: limite superior de especificação

LIE: limite inferior de especificação

μ : média do processo

σ : desvio-padrão do processo.

Igualmente importante, é a variabilidade total (VT), sendo a soma das variações devidas ao sistema de medição e ao processo. Constatase, pelas fórmulas 23 e 24 possibilidade de mensurar o quanto de variabilidade total é causada pelo operador e quanto de variabilidade é causada pelo processo. As variações totais de processos, estão diretamente relacionadas: variação de máquina, mão de obra, medição, variação de método, matéria-prima e meio ambiente (AIAG, 2010).

$$VT = \sqrt{RR^2 + VP^2} \quad (24)$$

Ou

$$VT = \sqrt{VE^2 + VO^2 + VP^2}. \quad (25)$$

Sendo que:

VT: variabilidade total
 RR: repetitividade e reprodutibilidade
 VP: média do processo
 VP: variação da peça
 VE: variação do equipamento
 VO: variação do operador

Calcula-se %RR, referente a tolerância ao controle das características do produto, conforme representa-se pela fórmula 26, (AIAG, 2010).

$$\%RR = \frac{GRR}{Tolerancia} 100\%. \quad (26)$$

Calcula-se %RR, referente a tolerância ao controle do processo, estando-as, diretamente relacionadas as fontes de variação total. Representa-se pela fórmula 26, (AIAG, 2010).

$$\%RR = \frac{RR}{VT} 100\%. \quad (27)$$

Define-se, critérios para a aceitabilidade de um sistema de medição cuja finalidade seja analisar o processo de fabricação de um determinado produto, conforme expressa-se na tabela 3 (AIAG, 2010).

R&R	Decisão	Comentários
Porcentagem menor que 10%	Geralmente considerado como um sistema de medição aceitável	Recomendado, especialmente útil quando tentamos ordenar ou classificar peças ou quando é necessário apertar o controle do processo
Porcentagem entre 10% e 30%	Pode ser aceitável para algumas aplicações	Decisão deve basear-se, por exemplo, na aplicação do sistema de medição, custo do dispositivo de medição, custo de retrabalho ou reparo. Deve ser aprovado pelo cliente.
Porcentagem acima de 30%	Considerado como inaceitável	Todos os esforços devem ser feitos para melhorar o sistema de medição. Essa condição deve ser tratada pelo uso de uma estratégia adequada de medição; por exemplo, utilizando a média dos resultados de muitas leituras de uma mesma característica da peça a fim de reduzir a variação de medição final.

Tabela 03 – Critério de R&R

Fonte: AIAG (2010g, 78p.)

Outra estatística de variabilidade do sistema de medição é o número de categorias (ndc). Esta estatística indica o número de categorias dentro do qual o processo de medição pode ser dividido, recomenda-se, que o número de distintas categorias (ndc) seja maior ou igual a 5 (AIAG, 2010). Evidencia-se, as recomendações de impacto do número de distintas categorias (ndc) da distribuição do processo sobre as atividades de controle e análise, figura (AIAG, 2010) .

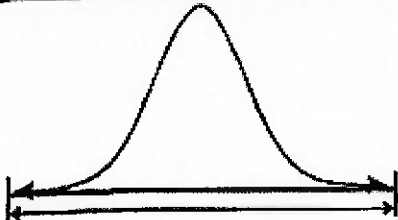
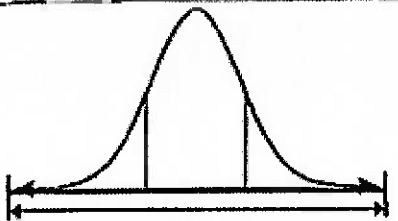
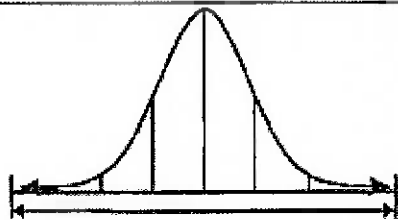
Quantidade de Categorias	Controle	Análise
 1 Categoria de Dados	Pode ser usada para controle somente se: • A variação do processo é pequena quando comparada com as especificações • A função perda for plana em relação à variação esperada do processo • A principal fonte de variação causa um deslocamento da média	• <i>Inaceitável</i> para estimar os parâmetros e os índices do processo • Apenas indica se o processo está produzindo peças conforme ou não - conforme
 2 – 4 Categorias de Dados	• Pode ser usada com técnicas de controle semi-variável baseadas na distribuição do processo • Pode produzir cartas de controle por variáveis insensíveis	• Geralmente inaceitável para estimar os parâmetros e os índices do processo, uma vez que somente fornece estimativas grosseiras
 5 ou mais Categorias de Dados	• Pode ser usada com cartas de controle por variáveis	• <i>Recomendada</i>

Figura 20 – Impacto da quantidade do NDC
Fonte: AIAG (2010h, 47p.)

Calcula-se, o NDC pela fórmula 28 (AIAG, 2010)

$$NDC = 1,41 \frac{VP}{RR}. \quad (28)$$

Sendo que:

1,41: constante

VP: variabilidade do processo

RR: repetitividade e reprodutibilidade

3.5 R&R por Atributo

R&R por atributo, é usualmente difundido como característica de uma medição indireta, ou seja, medição realizada por meios de controle onde não é possível saber o valor indicado pelo dispositivo (AIAG, 2010), ilustra-se na figura 21, exemplo de meio de controle atributivo.

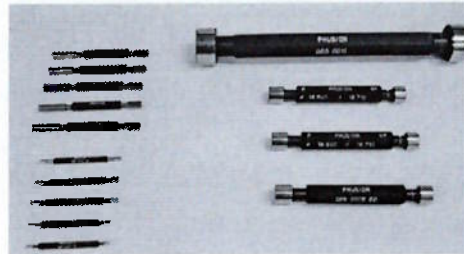


Figura 21 – Calibrador Passa / Não Passa
Fonte: Organização em análise

Percebe-se, que os estudos de R&R por variável são conduzidos, levando-se em consideração avaliação de 3 operadores distintos, sendo, 3 medições em cada uma das 10 amostras, entretanto, para os estudos de R&R por atributo são conduzidos, levando-se em consideração avaliação de 3 operadores distintos, sendo, 4 medições em cada uma das 50 amostras (AIAG, 2010).

Usa-se, o método Kappa na análise do sistema de medição para dados atributivos. Segundo AIAG (2010, 138p.) Kappa é “A medida de concordância interavaliadores que testa se as contagens nas peças que recebem a mesma classificação, diferem daquelas separadas somente pela possibilidade”

Reforça-se, que os valores de kappa maiores que 0,75 indicam concordância de boa para excelente (com um máximo de kappa = 1); valores menores do que 0,40 indicam concordância ruim (AIAG, 2010). Calcula-se pela fórmula 29 kappa.

$$\text{kappa} = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (29)$$

Sendo que:

P_o: soma das proporções observadas nas células

P_e: soma das proporções esperada nas células

Enuncia-se também, que a kappa não leva em conta o tamanho das divergências entre operadores, mas apenas se eles concordam ou não.

4. APRESENTAÇÃO DO CASO

4.1 Caracterização da empresa

A X do Brasil, é uma empresa americana que produz sistema de freios automotores, conforme ilustra-se na figura 22, esse sistema permite a frenagem e o controle da velocidade de um veículo, de modo a retardar, interromper ou impedir que o movimento seja reiniciado de acordo com a necessidade do condutor.

A empresa pertence à cadeia automotiva, certificada pela ABNT NBR ISO TS 16949 (2009), com cinco mil funcionários no Brasil, tendo sua unidade de negócio localizada em Santo André – São Paulo (dados fictícios).

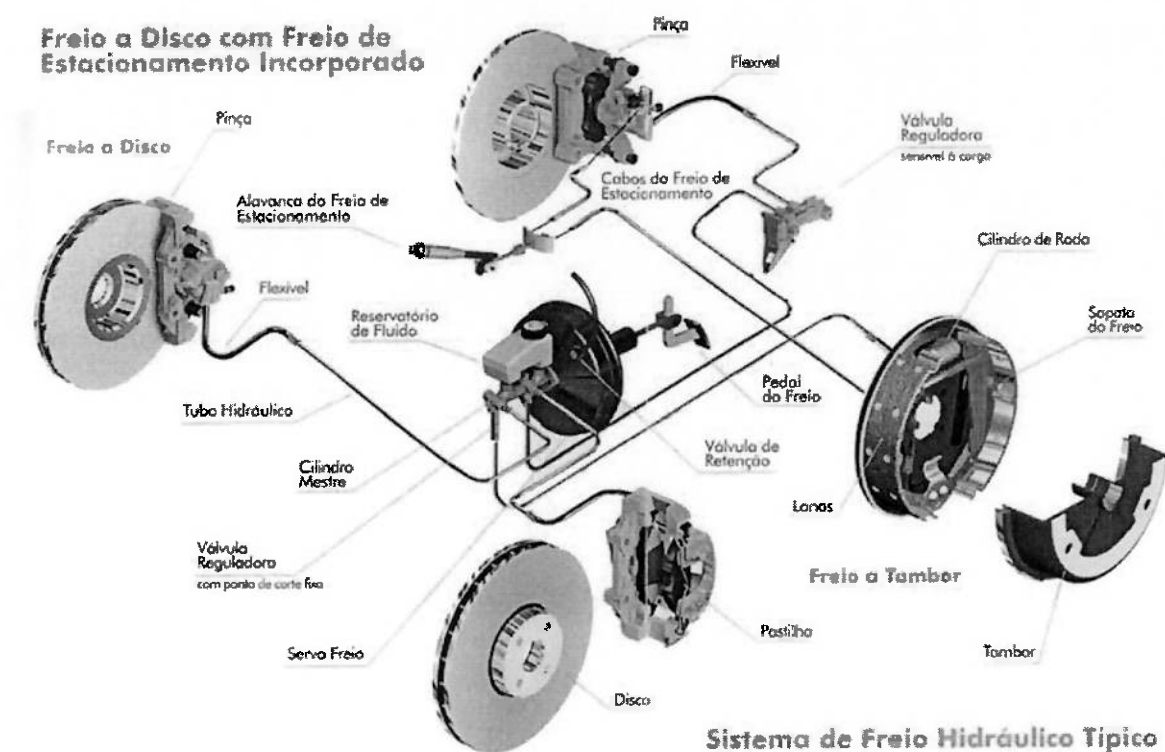


Figura 22 - Sistema de Freio
Fonte: Organização em análise

4.2 Proposta

O presente estudo de caso, foi elaborado pela necessidade de avaliar uma característica mencionada no plano de controle do processo de usinagem, em atendimento às exigências normativas da ABNT NBR ISO TS 16949 (2009, 39p.), que orienta a respeito “Estudos estatísticos devem ser conduzidos para analisar a variação presente nos resultados de cada tipo de sistema de medição.” Este requisito aplica-se aos sistemas de medição referenciados no plano de controle. Em resumo avalia-se todas as possíveis interferências no sistema de medição com a finalidade de agir de forma preventiva ou corretiva.

Ilustra-se pela figura 23, cilindro mestre duplo para o qual estudaremos a operação de usinagem do diâmetro principal, importa salientar que o cilindro mestre é o principal item do sistema atuador de frenagem, sendo responsável por gerar e distribuir pressão hidráulica dos freios de um automóvel.

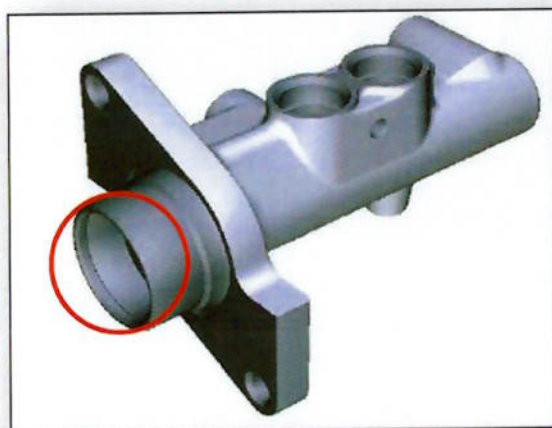
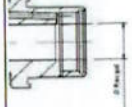


Figura 23 – Cilindro mestre duplo

Fonte: Organização em análise

4.3 Análises iniciais

O controle do diâmetro principal está descrito no plano de controle do processo de usinagem, tendo como especificação $\varnothing$ de $22,2 + 0,04$ mm, conforme ilustra-se na figura 24.

PLANO DE CONTROLE										Nº US-250		
Linha SW - BA 400										Revizão:		
☐ Protótipo ☐ Pré-lançamento ☒ Produção										Nº 09 10/3/2014		
Data elaborado:		Nº da peça:		Data rev. Decisão:		Área:		Elaborado/Equipe:		Contato chave - Telefone:		
7/1/2008		20.5522-1274.100		FZZ - 14310017 - 28/02/2014		USINAGEM		F.M.E.A.		Valdeir Cardesqui / José Lgoncalves - 8206		
Aprovação digital: - QS												
Obs: P - Controle pela Produção C - Controle Operador (COP e A/C) C.E. - Classificação de Características Essenciais I - Inspecção com carta de controle L - Liberação de linha												
Nº Oper	Nome Processo	Maq./Oqp. / Ferram.	Característica	Processo	C.E.	Espec./Fol.	Técnica de Inspecção	Amostra	Método de Controle	Plano de Reação	Auxílio Visual	
			Produto					Tam.	Freq.			
26	Brunir Desabaste	Trapano	Brunir Desabaste									
			Diâmetro principal			Ø 22,2 ± 0,03 (Dimensão de Processo)	Coluna Eletrônica Anel padrão ISO Haste	1 Rod.	5 h	I	Para processo	
			Reguladores do diâmetro principal			Anel (regulador) padrão (Dimensão de Processo)	Reguladores	1 Rod.	6 h	I	Reguladores para produção	
											Avaliar causa raíz Corrigir processo Inspeção 100% Para peças não conforme, tratar segundo CAP 007200	

Obs.: 1 Rod. (1 Rodada por Máquina)

Página 2 de 27

Figura 24 – Plano de Controle
Fonte: Organização em análise

Utiliza-se, uma coluna de medição que se constitui por: haste pneumática, coluna e anel padrão calibrado responsável por referenciar o equipamento no controle do diâmetro principal do cilindro mestre duplo. Adicionalmente, o controle do diâmetro principal é feito pelo operador de máquina. Ilustra-se a coluna de medição pela figura 25 e o controle do diâmetro principal pelo operador na figura 26.



Figura 25 – Coluna de Medição

Fonte: Organização em análise



Figura 26 – Controle do diâmetro principal

Fonte: Organização em análise

Analisa-se, na figura 27 todas as possíveis interferências que o sistema de medição está sujeito, utiliza-se, o diagrama de causa e efeito de Ishikawa para identificar preventivamente as possíveis causas na falha do sistema de medição.

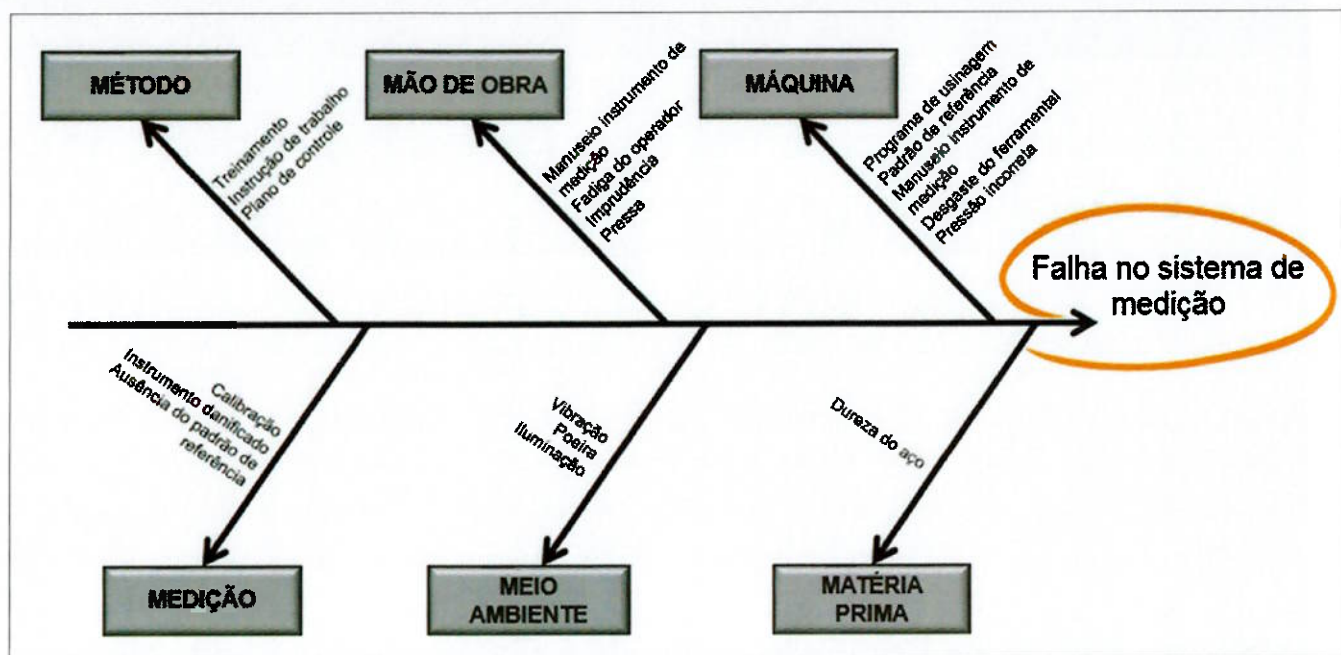


Figura 27 – Ishikawa para sistema de medição / Operação usinagem

Fonte: Autoria Própria

4.4 Realização dos estudos

4.4.1 Tendência

- i. Seleciona-se uma peça (cilindro mestre duplo) do processo de usinagem com valor próximo ao nominal para a análise de tendência;
- ii. Mede-se o diâmetro principal no mínimo dez vezes no laboratório de metrologia e determina-se a média das medições. Usa-se essa média como valor de referência no referido estudo de tendência;
- iii. Usa-se uma planilha para a coleta de dados, conforme ilustra-se na figura 28 e após registra-se os resultados no software estatístico GASM.

<u>Estudo de Tendência</u>											
Data :	Departamento :										
Cod. Amostra :	Nome da Amostra :										
Cod. Dispositivo :	Nome do Dispositivo :									Menor Div. :	
Característica :	Tolerância ou Variação do Processo:									Valor de Ref. :	
Operador :	Preparado por :									Nº Medições	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Medição												

Obs.: 1 amostra 10 medições x 1 avaliador

Figura 28 – planilha para Coleta de dados de tendência

Fonte: Autoria Própria

- iv. Utiliza-se, o software GASM para realização dos estudos estatísticos na empresa ora mencionada;
- v. A média das dez medições no diâmetro principal do cilindro mestre é de 22,234 mm, sendo este o valor de referência para o estudo. Além disso, a especificação do processo de usinagem é de 22,2+ 0,04 mm;
- vi. Realiza-se 12 medições do diâmetro principal, com a coluna de medição, operadora Damaris, anota-se os dados coletados, e posteriormente transcreve-se as informações para o software GASM;
- vii. Embora o software já mencione a situação do estudo em concordância com os critérios de aceitação da cadeia automotiva, descrito no AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (2010), vale ressaltar análise crítica deste estudo no próximo item;
- viii. Conclui-se, o estudo é aceitável pois o valor de variação da porcentagem do equipamento (%VE) é menor que 10%, pela análise numérica a tendência é aceitável ao nível α - 0,05 com 95% de confiança, situa-se o

valor zero dentro dos limites de confiança $1 - \alpha$, em torno do valor da tendência. Conforme ilustra-se na figura 29.

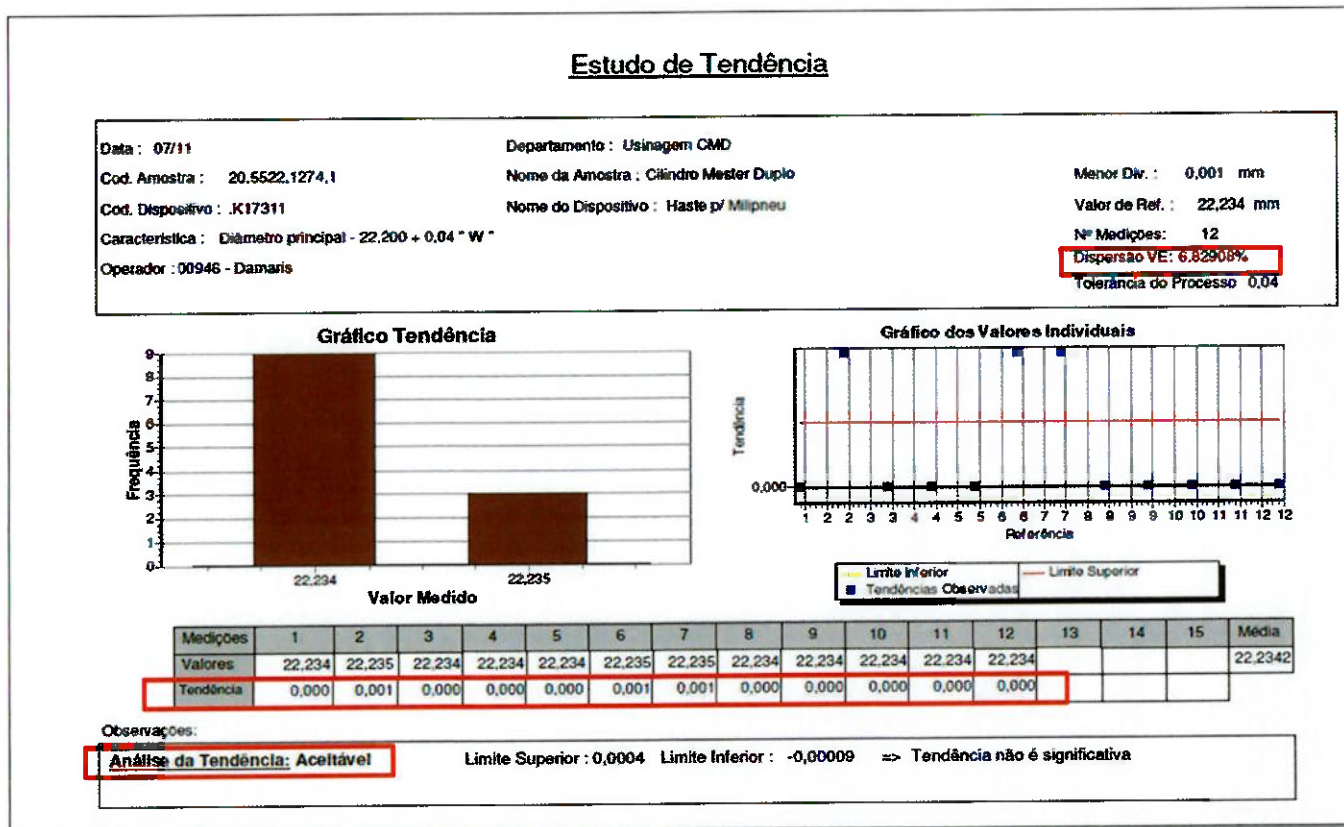


Figura 29 – Estudo de Tendência

Fonte: Autoria Própria

4.4.2 Linearidade

- i. Seleciona-se, cinco peças (cilindro mestre duplo) do processo de usinagem, sendo, as peças separadas e compreendidas entre o valor nominal e máxima de suas especificações para análise de linearidade;
- ii. Mede-se, o diâmetro principal no mínimo dez vezes no laboratório de metrologia e determina-se as médias das cinco amostras mensuradas. Usa-se essa média, de cada amostra (peça) como valor de referência;
- iii. Usa-se, uma planilha para a coleta de dados conforme ilustra-se na figura 30 e após registra-se os resultados no software estatístico GASM.

ESTUDO DE LINEARIDADE

Data :	Departamento :	
Característica :	Menor Divisão :	
Cod. Amostra :	Nome da Amostra :	
Cod. Dispositivo :	Nome do Dispositivo :	
Varição do Processo :	Tolerância ou Varição do Processo :	Número de Amostras :
Operador :		Número de Medições :

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
Referência										
M										
e										
d										
i										
l										
o										
o										
s										

Obs.:

Figura 30 – Planilha para Coleta de dados de linearidade

Fonte: Autoria Própria

- iv. Utiliza-se o software GASM para realização dos estudos estatísticos na empresa ora mencionada;
- v. A média das 10 medições no diâmetro principal do cilindro mestre duplo realizado na metrologia de cada uma das 5 amostras (peças) corresponde ao valor de referência para estudo de linearidade, conforme ilustra-se na figura 31;
- vi. Realiza-se ,10 medições em cada uma das 5 amostras (peças) referente ao diâmetro principal, com a coluna de medição, com único operador, anota-se os dados coletados, e posteriormente transcreve-se as informações para o software GASM;
- vii. Embora o software já mencione a situação do estudo em concordância com os critérios de aceitação da cadeia automotiva, descrito no AIAG--AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (2010), vale ressaltar análise crítica deste estudo no próximo item;

- viii. Conclui-se que o estudo de linearidade é aceitável pois o valor de variação da porcentagem do equipamento (%VE) é menor que 10% para as 5 amostras (peças) avaliadas. Pela análise gráfica percebe-se que a linha de tendência zero está totalmente contida dentro da faixa de confiança. Adicionalmente, a linearidade é aceitável a hipótese $H_0: a = 0$ - Inclinação da reta = 0 é verdadeira. Em resumo, o sistema de medição tem a mesma tendência para todos os valores de referência e estas tendências são de fator zero, ou seja
- $H_0: b = 0$ - Interseção da linha com o eixo da tendência = 0.
- Ilustra-se, na figura 31, estudo de linearidade.

ESTUDO DE LINEARIDADE

Data : 16/11
 Característica : Diâmetro principal
 Cod. Amostra : 20,55,221274,1
 Cod. Dispositivo : K17311
 Operador : 6176 Pedro Campana

Departamento : Usinagem CMD
 Menor Divisão : 0,001 mm
 Nome da Amostra : Carcaã CMD
 Nome do Dispositivo : Haste p/ Milipneu

Número de Amostras : 5
 Número de Medições : 10

Tolerância do Processo : 0,04

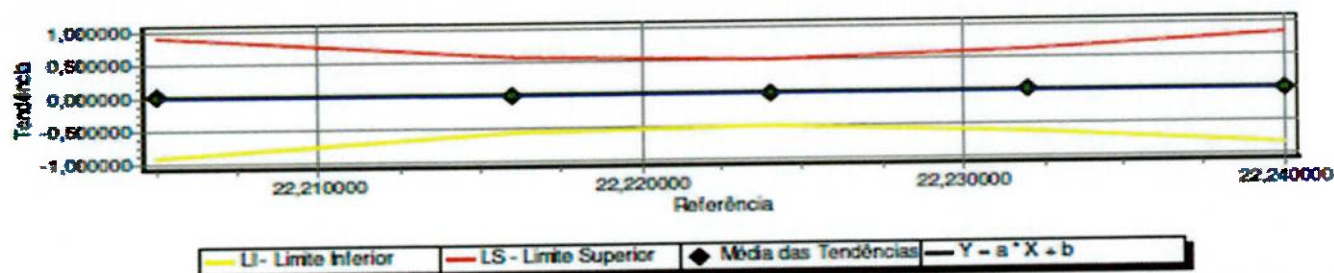
Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Referência	22,205	22,216	22,224	22,232	22,24					
M	22,205	22,216	22,224	22,232	22,240					
s	22,205	22,215	22,223	22,232	22,240					
c	22,206	22,216	22,224	22,232	22,240					
i	22,205	22,215	22,223	22,232	22,240					
o	22,205	22,216	22,224	22,232	22,239					
e	22,206	22,216	22,223	22,232	22,239					
s	22,205	22,216	22,224	22,232	22,240					
	22,205	22,216	22,223	22,232	22,240					
	22,205	22,216	22,224	22,232	22,240					
	22,205	22,215	22,224	22,234	22,239					
Media	22,20520	22,21570	22,22360	22,23220	22,23970					
Tendência	0,00020	-0,00030	-0,00040	0,00020	-0,00030					
Amplitude	0,00100	0,00100	0,00100	0,00200	0,00099					
LS	0,90820	0,58674	0,50212	0,61371	0,84721					
LI	-0,90819	-0,58688	-0,50237	-0,61406	-0,84767					
VE%	6,32456	7,24569	7,74597	9,48683	7,24569					

Gráfico da Linearidade

a : -0,00667

b : 0,14820

Grau de Ajuste (R²) : 2,165%



Análise dos Resultados

Análise Numérica: Aceitável se $|ta|$ e $|tb| < 1$ Crítico

Análise Gráfica: Para que Linearidade seja considerada aceitável a linha de Tendência **Zero** deve estar totalmente contida dentro da faixa de confiança

Análise de Repetibilidade: Sistema de medição está aceitável

Observações

SITUAÇÃO : Aceitável

Linearidade : 0,00667%

1 Crítico : 2,01000

$|ta|$: 1,03096 --> Coeficiente angular não é significativo

$|tb|$: 1,03013 --> Intercepto não é significativo

Figura 31 – Estudo de Linearidade

Fonte: Autoria Própria

4.4.3 Estabilidade

- i. Seleciona-se, uma peça (cilindro mestre duplo) do processo de usinagem aleatoriamente;
- ii. Mede-se, o diâmetro principal no mínimo dez vezes no laboratório de metrologia e determina-se a média das medições, sendo de 22,228 mm. Usa-se essa média como valor de referência para o estudo;
- iii. Usa-se, uma planilha para a coleta de dados conforme ilustra-se na figura 32;

Estudo de Estabilidade												
Data :			Cod. Amostra :			Nome da Amostra :						
Característica :			Cod. Dispositivo :			Nome do Dispositivo :						
Limite Inferior :			Limite Superior :			Menor Divisão :						
Operador :			Preparado por :			Departamento :						
Valor de Referência :			Número de Medições :			Número de Amostras :						

Data		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Hora														
Temp(°C)														
Medições	1													
	2													
	3													
	4													
	5													

Data		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Hora													
Temp(°C)													
Medições	1												
	2												
	3												
	4												
	5												

Obs:

Figura 32 – Planilha para Coleta de dados de estabilidade

Fonte: Autoria Própria

- iv. Realiza-se 5 medições de uma única amostra (peça) referente ao diâmetro principal, no mesmo dia, mesmo horário durante no mínimo 20 dias com a coluna de medição, operadora Sirleide, anota-se os dados coletados, e posteriormente transcreve-se as informações para o software GASM;

- v. Embora o software já mencione a situação do estudo em concordância com os critérios de aceitação da cadeia automotiva, descrito no AIAG--AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (2010), vale ressaltar análise crítica deste estudo no próximo item;
- vi. Conclui-se que o estudo de estabilidade é estável por não haver pontos fora do limite de controle, além disso, não há tendência de 7 pontos consecutivos no sentido crescente ou decrescente, conforme ilustra-se na figura 33.

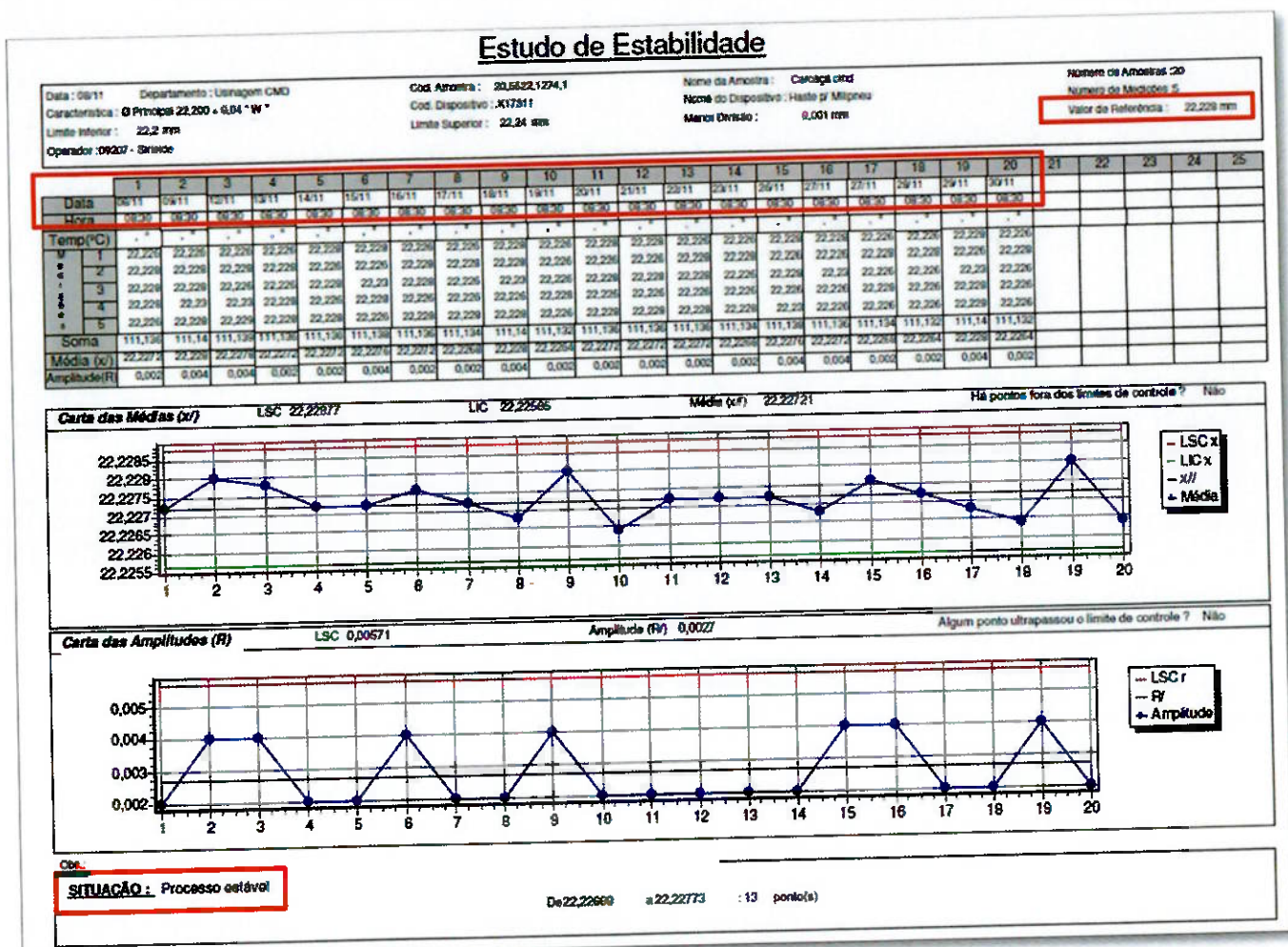


Figura 33 – Estudo de Estabilidade
Fonte: Autor

4.4.4 R&R por Variável

- i. Seleciona-se, 10 amostras (peças) que represente variação existente ou esperada do processo sob estudo;
- ii. Identifica-se, as amostras (peças) enumerando-as de 01 a 10;
- iii. Seleciona-se, três operadores para medir o diâmetro principal do cilindro mestre duplo;
- iv. Realiza-se por operador, 3 medições em cada uma das 10 amostras (peças) referente ao diâmetro principal, com a coluna de medição, anota-se os dados de coleta conforme figura 34 e posteriormente transcreve-se as informações para o software estatístico GASM;

ESTUDO DE REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE									
Data :		Departamento :		Limite inferior :		Nº amostras :		Preparado por :	
Código da amostra :		Nome da amostra :		Limite superior :		Nº medições :		Desvio padrão do processo :	
Processo estável :		Característica :		Menor divisão :		Nº avaliados :		Código do dispositivo :	
Operador:			Operador:			Operador:			
Medições			Medições			Medições			
1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Obs.:
 3 avaliadores
 2 a 10 amostras
 3 medições de cada avaliador por amostra

Figura 34 – Planilha para Coleta de dados de R&R

Fonte: Autoria Própria

- v. Embora o software já mencione a situação do estudo conforme ilustra-se na figura 35, em concordância com os critérios de aceitação da cadeia automotiva, descrito no AIAG-- AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (2010), vale ressaltar análise crítica deste estudo no próximo item;
- vi. Conclui-se que o estudo de R&R por variável é aceitável pois a variação total da porcentagem da repetitividade e reprodutibilidade (%R&R) é menor que 10%, número de categorias NC foi maior que 5.

- ### ESTUDO DE REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE

62

5. CONCLUSÃO

Ao estudar e aplicar os métodos da literatura e normas pertinentes das áreas que permeiam os conceitos metrológicos e estatísticos, tais como:

- i) AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP, Análise do Sistema de Medição, 4 Ed. (2010);
- ii) ISO 10012 – Requisitos para os processos de medição e equipamento de medição (2004) e
- iii) ABNT NBR ISO TS 16949 - Sistema gestão da qualidade (2012) que discorre os requisitos da cadeia automotiva, envolvendo a complexibilidade da análise dos sistemas de medição.

É possível compreender e avaliar a qualidade dos dados mensurados em virtude do conhecimento das possíveis interferências que o sistema de medição está sujeito. Essas influências são conhecidas na literatura sobre metrologia como os 6Ms: medição, mão de obra, método, meio ambiente, máquinas e matéria-prima. Os erros de um sistema de medição, sejam de indicação, grosseiros, sistemáticos ou aleatórios convergem no mesmo sentido para colocar em dúvida a confiança do resultado de um instrumento de medição, sendo, extremamente importante calibra-los em intervalos pré-definidos pelo fabricante, para assegurar a confiança dos resultados. Não é possível garantir a confiabilidade das medições simplesmente pela calibração; há outras interferências na medição, como em variação decorrente da variabilidade dos seus componentes, assim, o sistema de medição deve ser tratado estatisticamente, pois esta é a forma mais eficaz de análise. Percebe-se, que um sistema de medição que não propicia as evidências estatísticas de conformidade de seus resultados, pode comprometer a qualidade produtiva.

Em resumo, Análise do Sistema de Medição é uma metodologia estatística desenvolvida para estudar e analisar o comportamento do sistema de medição e proporcionar o aumento de confiança e certeza nas leituras obtidas pelos instrumentos ou dispositivos de medição, gerando a confiabilidade metrológica durante os controles dimensionais de processo.

Conclui-se, que os resultados do caso descritos nesta monografia, demonstrados por estudos estatístico tais como tendência, estabilidade e linearidade, sendo possível afirmar, que o instrumento de medição e as suas influências não comprometem a qualidade do sistema de medição por estarem aceitáveis dentro dos

limites descritos no manual de análise dos sistemas de medição (MSA). Contudo, para repetitividade e reprodutibilidade (R&R) por variável há potencial para aperfeiçoar instrumento (coluna de medição) tendo em vista o resultado da porcentagem de repetitividade da variação do equipamento (%VE), dividido pela porcentagem de reprodutibilidade da variação entre operadores (%VA) foi maior que 1, entretanto, não compromete qualidade das dimensões controladas do diâmetro principal.

REFERÊNCIAS:

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR ISO TS 16949: Sistemas de gestão da qualidade, Rio de Janeiro, 2009, 39p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR ISO 10012: Sistema de gestão de medição – Requisitos para os processos de medição e equipamento de medição, Rio de Janeiro, 2004, 13p.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO. IQA, 4ª ed., 2010a, 17p.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO. IQA, 4ª ed., 2010b, capa.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO. IQA, 4ª ed., 2010c, 93p.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO. IQA, 4ª ed., 2010d, 52p.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO. IQA, 4ª ed., 2010e, 53p.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO. IQA, 4ª ed., 2010f, 96p.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO. IQA, 4ª ed., 2010g, 78p.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO. IQA, 4ª ed., 2010h, 47p.

ALBERTAZZI G. Jr., A. & SOUSA. FUNDAMENTOS DE METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL. Manoele, 1ª ed, São Paulo, 2008a, 39p.

ALBERTAZZI G. Jr., A. & SOUSA. FUNDAMENTOS DE METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL. Manoele, 1ª ed, São Paulo, 2008b, 42p.

ALBERTAZZI G. Jr., A. & SOUSA. FUNDAMENTOS DE METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL. Manoele, 1ª ed, São Paulo, 2008c, 344p.

ALBERTAZZI G. Jr., A. & SOUSA. **FUNDAMENTOS DE METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL**. Manoele, 1ª ed, São Paulo, 2008d, 345p.

BUSSAB, W.O. MORETTIN, P.A. **ESTATÍSTICA BÁSICA**. Saraiva, 8ª ed, São Paulo, 2013, 336p.

CABRAL, P. **ERROS E INCERTEZAS**, 1ª Ed., São Paulo, Érica, 2004, 11p.

COLENGHI, V. M. **O&M E QUALIDADE TOTAL: UMA INTERPRETAÇÃO PERFEITA**. 3ª ed., Minas Gerais - Uberaba, 2003, 15p.

CORREA, S.M.B.B, **PROBABILIDADE E ESTATISTICA**. PUC, 2ª ed, Minas GERAIS, 2003, 97p.

DOMINIO. **CONTROLE DO TEMPO PARA PROJETOS 2014**. Conceito de precisão e exatidão, Disponível em: <<http://dominiidotempo.com.br/2014/09/04/o-controle-do-seu-projeto-sera-preciso-ou-exato/>>. Acesso em 10 dez. 2016.

ESTATCAMP. **ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO**. Estatcamp – Consultoria em Estatística e Qualidade. Apostila, 2006a, 15p.

ESTATCAMP. **ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO**. Estatcamp – Consultoria em Estatística e Qualidade. Apostila, 2006b, 16p.

ESTATCAMP. **ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO**. Estatcamp – Consultoria em Estatística e Qualidade. Apostila, 2006c, 25p.

ESTATCAMP. **ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO**. Estatcamp – Consultoria em Estatística e Qualidade. Apostila, 2006d, 12p.

ESTATCAMP. **ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO**. Estatcamp – Consultoria em Estatística e Qualidade. Apostila, 2006e, 26p.

INMETRO. **VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA – VIM**: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados, 1ª Edição brasileira, Rio de Janeiro, 2012a, 48p.

INMETRO. **VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA – VIM**: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados, 1ª Edição brasileira, Rio de Janeiro, 2012b, 55p.

INMETRO. VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA – VIM: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados, 1ª Edição brasileira, Rio de Janeiro, 2012c, 34p.

INMETRO. VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA – VIM: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados, 1ª Edição brasileira, Rio de Janeiro, 2012d, 94p.

LINS, Bernardo FE. **FERRAMENTAS BÁSICAS DA QUALIDADE.** Ciência da Informação, v. 22, 1993a, 3p..Disponível em <http://revista.ibict.br/index.php/ciinf/article/viewArticle/502> Acesso em: 10 dezembro 2016.

LINS, Bernardo FE. **FERRAMENTAS BÁSICAS DA QUALIDADE.** Ciência da Informação, v. 22, 1993b, 4p..Disponível em <http://revista.ibict.br/index.php/ciinf/article/viewArticle/502> Acesso em: 10 dezembro 2016.

LIRA, F.A. **METROLOGIA NA INDÚSTRIA**, 7ª Ed., São Paulo, Érica, 2001. 246 p.

MONTGOMERY, D.C. RUNGER, G.C. **ESTATÍSTICA APLICADA E PROBABILIDADE PARA ENGENHEIROS.** LTC, 5ª ed, Rio de Janeiro, 2004, 154p.

SERRATOLLS. **INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO 2016.** Disponível em: <http://www.serratools.com.br/produtos/instrumentos-de-medicao/>. Acesso em 09 dez. 2016.

SERMEC. **DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO 2016.** Disponível em: <http://www.sermec.net.br/produtos/dispositivos-de-medicao/>. Acesso em 09 dez. 2016.

SILVA, R. F. **A IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS DE M.S.A NAS ORGANIZAÇÕES.** (Artigo) QualyPro, 1ª Ed., São Paulo, 2007. 2p

WERKEMA. M. C. C. **FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS BÁSICAS PARA O GERENCIAMENTO DE PROCESSOS.** Belo Horizonte, Fundação Cristiano Ottoni, 1995, 54p.