

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS-MG

ENGENHARIA MECÂNICA

PEDRO CESAR DOMICIANO JUNIOR

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO POR MEIO DA FERRAMENTA DE
CONTROLE ESTATÍSTICO REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE**

**Varginha - MG
2011**

FEPESMIG

PEDRO CESAR DOMICIANO JUNIOR

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO POR MEIO DA FERRAMENTA DE
CONTROLE ESTATÍSTICO REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE**

Trabalho Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica
do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG
apresentado como pré-requisito para obtenção do grau
de bacharel, sob orientação do Prof. Ms. Alexandre de
Oliveira Lopes e Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha - MG
2011

Grupo Educacional UNIS

FEPESMIG

PEDRO CESAR DOMICIANO JUNIOR

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO POR MEIO DA FERRAMENTA DE
CONTROLE ESTATÍSTICO REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE**

Trabalho Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica
do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG
realizado como pré-requisito para obtenção do grau de
bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos
membros:

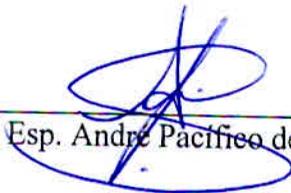
Avaliado em: / /



Prof. Ms. Alexandre de Oliveira Lopes



Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes



Prof. Esp. André Pacifico de Souza

OBS.:

Dedico este trabalho a todos que acreditaram em meu potencial, aos professores e colegas de classe e em especial a minha família por todo o apoio, paciência e companheirismo dado no decorrer deste curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todos que estiveram do meu lado por mais essa conquista.

“Tudo posso naquele que me fortalece”.

(Fl. 4,13).

RESUMO

A análise de um sistema de medição compreende as fontes de variação que podem influenciar nos resultados de medição. O principal objetivo desse trabalho é de descobrir se o sistema de medição não interferia na variação total do processo. Foi feito um estudo de caso, aplicando a ferramenta estatística de análise em sistemas de medição que mais abrangia seu processo: o R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade) na empresa da cidade de Varginha, WB Ferramentaria. Foi separada uma amostra constituída de 10(dez) peças que representam o intervalo real ou esperado da variação do processo e 3(três) operadores que utilizavam e influenciavam no sistema de medição estudado. Foi obtido as medidas de cada avaliador por vez e registrado as medidas de todas as 10(dez) peças feitas em ordens sequenciais diferentes, mudando a ordem em cada uma das 3(três) coletas das medições. De acordo com os resultados o estudo foi aprovado, tendo como observação somente o resultado da porcentagem do R&R em relação à tolerância do processo tendo seu laudo considerado aceitável. Enfim, o sistema de medição não interferia na variação total do processo no caso da empresa em questão, porém por meio desse tipo de análise alguma outra empresa pode vir a descobrir erros em seu processo de produção e assim conseqüentemente melhorar sua qualidade.

Palavras-chaves: Processo. Variação. Medição.

ABSTRACT

The analysis of a measurement system comprises the sources of variation that may influence the measurement results. The main objective of this work is to find out if the measurement system did not interfere in the total variation of the process. There was a case study, applying statistical analysis tool in measuring systems covered more your process: R & R (Repeatability and Reproducibility) company in the city of Varginha, WB Ferramentaria. It was a separate sample of 10 (ten) parts that represent the actual or expected range of process variation and 3 (three) influenced operators were using in the measurement system studied. We obtained measures of each operator at a time and recorded the measurements of all 10 (ten) parts made in different sequential orders, changing the order in each of the three (3) collection of measurements. According to the results of the study was approved, with the result of observing only the percentage of R & R with respect to tolerance of the process with its award considered acceptable. Finally, the measurement system did not interfere in the total variation of the process in case the company in question, but through this type of analysis some other company may discover errors in their production process and consequently improve their quality as well.

Keywords: Process. Variations. Measurement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Análise gráfica de exatidão e precisão.....	19
Figura 02: Diretrizes para análise do sistema de medição	20
Figura 03: Repetitividade & Reprodutibilidade	25
Figura 04: Eixo Movido	28
Figura 05: Micrômetro digital	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Critérios de aceitação para o R&R.....	26
Tabela 02: Planilha de Coleta (médias e amplitudes)	32
Tabela 03: Planilha de Cálculos e Resultados	33
Tabela 04: Fórmula e resultados do R&R pela variação do processo.....	37
Tabela 05: Fórmula e resultados do R&R pela variação da tolerância	38
Tabela 06: Fórmula e resultado do ndc	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

R&R – Repetitividade e Reprodutibilidade	15
CEP – Controle Estatístico de Produção	17
MSA – Análise dos sistemas de medição.....	18

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 01: Amostra dos eixos selecionados para o estudo.....	30
Fotografia 02: Instrumento de medição do processo	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Médias sobrepostas operador por operador	34
Gráfico 02: Médias lado a lado operador por operador	35
Gráfico 03: Amplitudes sobrepostas operador por operador	36
Gráfico 04: Amplitudes lado a lado operador por operador	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 ESTATÍSTICA	16
2.1 A História da Estatística	16
2.2 Controle Estatístico do Processo (CEP)	17
3 SISTEMA DE MEDIÇÃO	18
3.1 Diretrizes para Análise do Sistema de Medição	20
3.2 Variabilidade do Sistema de Medição	21
3.3 Análise do Sistema de Medição	21
3.4 Propriedades estatísticas do Sistema de Medição	23
4 REPETITIVIDADE & REPRODUTIBILIDADE (R&R)	24
4.1 Critérios de Aceitação	26
4.1.1 Critérios de aceitação para a variação percentual do R&R	26
4.1.2 Critérios de Aceitação para o ndc	27
5 MATERIAL E MÉTODO	28
5.1 Peça escolhida para o estudo	28
5.2 Instrumento de medição utilizado	29
5.3 Diretrizes tomadas para a realização do estudo	29
5.3.1 Amostras de peças do processo	29
5.3.2 Seleção dos Operadores	30
5.3.3 Identificação	30
5.3.4 Seleção de um instrumento do processo	31
5.4 Coleta de dados	31
6 RESULTADOS	32
6.1 Cálculos realizados	33
6.2 Análise gráfica dos resultados	33
6.2.1 Análise gráfica das médias	34
6.2.2 Análise gráfica das amplitudes	35
6.3 Porcentagem do R&R pela variação do Processo	37
6.4 Porcentagem do R&R pela tolerância do Processo	38
6.5 Análise do ndc	39
7 DISCUSSÃO	40
8 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42
ANEXO – A	43

1 INTRODUÇÃO

O objetivo da análise de um sistema de medição é o de compreender as fontes de variação que podem influenciar nos resultados de medição. Numa seleção de um sistema de medição, temos a preocupação de determinar aquele que seja capaz de detectar e indicar confiavelmente até mesmo pequenas mudanças na característica medida, isto é, que tenha melhor resolução.

O sistema escolhido para ser utilizado nesse trabalho que será um estudo de caso, é conhecido como R & R – Repetitividade e Reprodutibilidade, que auxilia na identificação de possíveis variações em sistemas de medição, tendo em vista a padronização das operações de medidas e uniformidade nos resultados característicos.

O principal objetivo desse trabalho é descobrir se o sistema de medição não interfere na variação total do processo, garantindo assim uma maior confiança nas medições realizadas por este sistema.

Pode-se dizer enfim, que é um estudo totalmente relevante, afinal pode contribuir de maneira significativa à melhoria da qualidade de seus processos.

2 ESTATÍSTICA

“A estatística é a ciência que lida com a coleta, o processamento e a disposição de dados (informações), atuando como ferramenta fundamental nos processos de solução de problemas” (WERKEMA, 2006, p.1).

2.1 A História da Estatística

A estatística começou a ser utilizada, primeiramente, para sanar necessidades do governo, fornecendo dados para a administração pública. Sua abrangência aumentou no início do século XIX para incluir a acumulação e análise de dados de maneira geral. Hoje, a estatística é amplamente aplicada nas ciências sociais, e naturais, inclusive na administração pública e privada. Suas bases matemáticas foram implementadas no século XVII com o desenvolvimento da teoria das probabilidades por Pascal e Fermat, que surgiu com o estudo dos jogos de azar. O método dos mínimos quadrados foi descrito pela 1ª vez por Carl Friedrich Gauss por volta de 1794. O uso de máquinas e programas cada vez mais modernos tem permitido a computação de dados estatísticos em larga escala e também tornaram possível novos métodos antes impraticáveis. No decorrer do século XX, a inovação em instrumentos precisos para a agronomia, saúde pública (epidemiologia, bioestatística, etc.), controle da qualidade nas indústrias e propósitos econômicos e sociais (taxa de desemprego, econometria, etc.) necessitavam avanços substanciais nas práticas estatísticas. Atualmente, o estudo estatístico se expandiu para muito além das suas origens, sendo utilizada por indivíduos e organizações para compreender dados e fazer decisões bem-informadas nas ciências naturais e sociais, na medicina, nos negócios e em outras áreas, como neste nosso estudo que utilizaremos para prever possíveis variações em sistemas de medição (STIGLER, 1990).

2.2 Controle Estatístico de Produção (CEP)

O CEP é constituído por um conjunto de técnicas e ferramentas estatísticas, que se organizam, de modo a proporcionar, através da aplicação das mesmas, a melhoria dos níveis de qualidade de um processo. O CEP pode ser considerado uma ferramenta estatística ou uma técnica estratégia da qualidade dentre várias outras existentes, sendo, portanto, um dos meios para se atingir alguns resultados importantes para uma organização. Pode ser definido como uma metodologia que permite conhecer o processo, melhorar sua capacidade e mantê-lo em controle estatístico. Todo estudo realizado no âmbito do CEP envolve medição que usualmente é avaliado por meio do R&R. Utilizando o CEP, pode-se avaliar os processos, reduzindo-se os desperdícios por meio de uma avaliação constante do processo (SCHISSATTI, 1998).

O controle estatístico do processo procura buscar manter o processo aprimorado, com um desempenho adequado e previsível, ou seja, não se quer que as melhorias tidas na fase anterior retrocedam. Por meio desse controle é possível fazer com que as ações adequadas sejam corrigidas a tempo de evitar surpresas desagradáveis (BALESTRASSI, 2002).

3 SISTEMA DE MEDIÇÃO

De acordo com Albertazzi (2008), um sistema de medição é o conjunto de métodos e meios que serão usados para realizar uma medição, na qual fazem parte o operador, os procedimentos de medição e as condições em que as medições serão efetuadas.

“É a coleção de instrumentos ou dispositivos de medição, padrões, operações, métodos, dispositivos de fixação, software, pessoal, ambiente e premissas usadas para quantificar a unidade de medição ou corrigir a avaliação da característica sendo medida; o processo completo utilizado para obter medições” (MSA, 2003, p.5).

Segundo Oliveira & Muniz (1999), o sistema de medição, também conhecido como metrologia é uma ciência que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relacionados as medições, seja qual for a incerteza em qualquer tecnologia.

O objetivo de qualquer sistema de medição é o de fornecer dados com precisão e exatidão das características lidas. Por exemplo, suponhamos que um sistema de medição operando sob condições estáveis, seja utilizado para obter várias medições de determinada característica. Se as medições de uma característica estão todas “próximas” ao valor do padrão mestre, diz-se que a qualidade dos dados é “alta”. Igualmente, se algumas, ou todas as medições estão “distantes” do valor do padrão mestre, então a qualidade dos dados é dita baixa. A qualidade de um sistema de medição é geralmente determinada unicamente por propriedades estatísticas dos dados que ele produz no decorrer do tempo. Outras propriedades, tais como custo, facilidade de uso, etc., são também importantes, pois elas contribuem para que um sistema de medição seja totalmente desejável. No entanto, são as propriedades estatísticas dos dados produzidos que determinam a qualidade do sistema de medição (MSA, 2002).

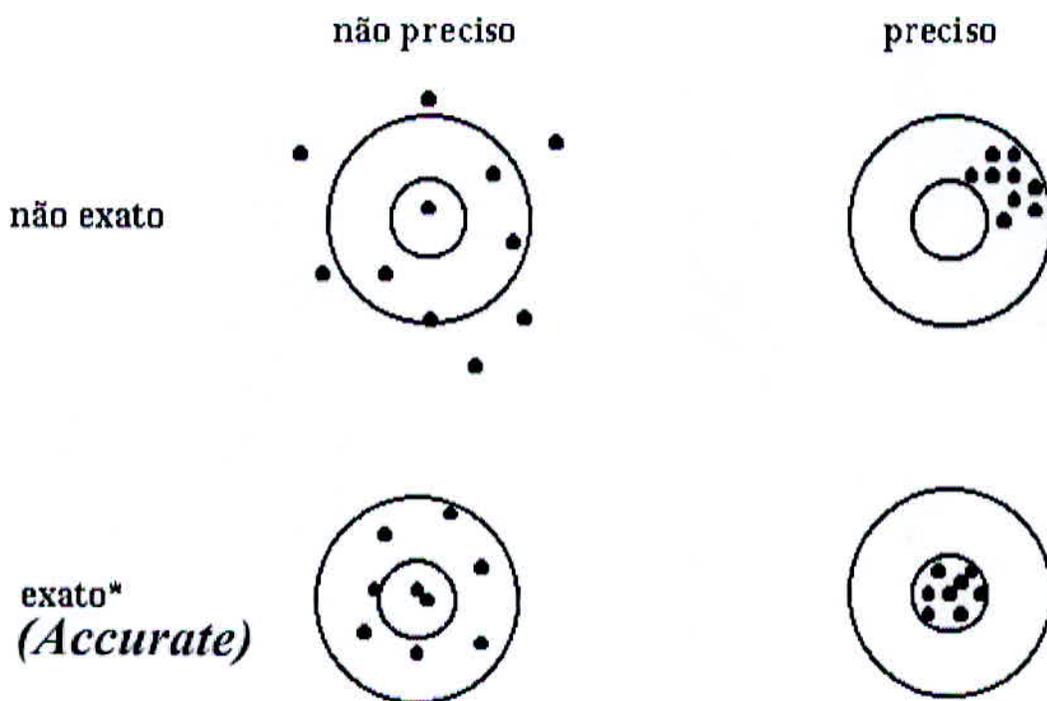


Figura 01: Análise gráfica de exatidão e precisão.

Fonte: <http://www.pedro.unifei.edu.br/download/cap2.pdf>

É importante lembrar ainda que um sistema de medição deve ser validado e monitorado para assegurar seu funcionamento correto (BURDICK, BORROR & MONTGOMERY, 2005).

3.1 Diretrizes para análise do sistema de medição

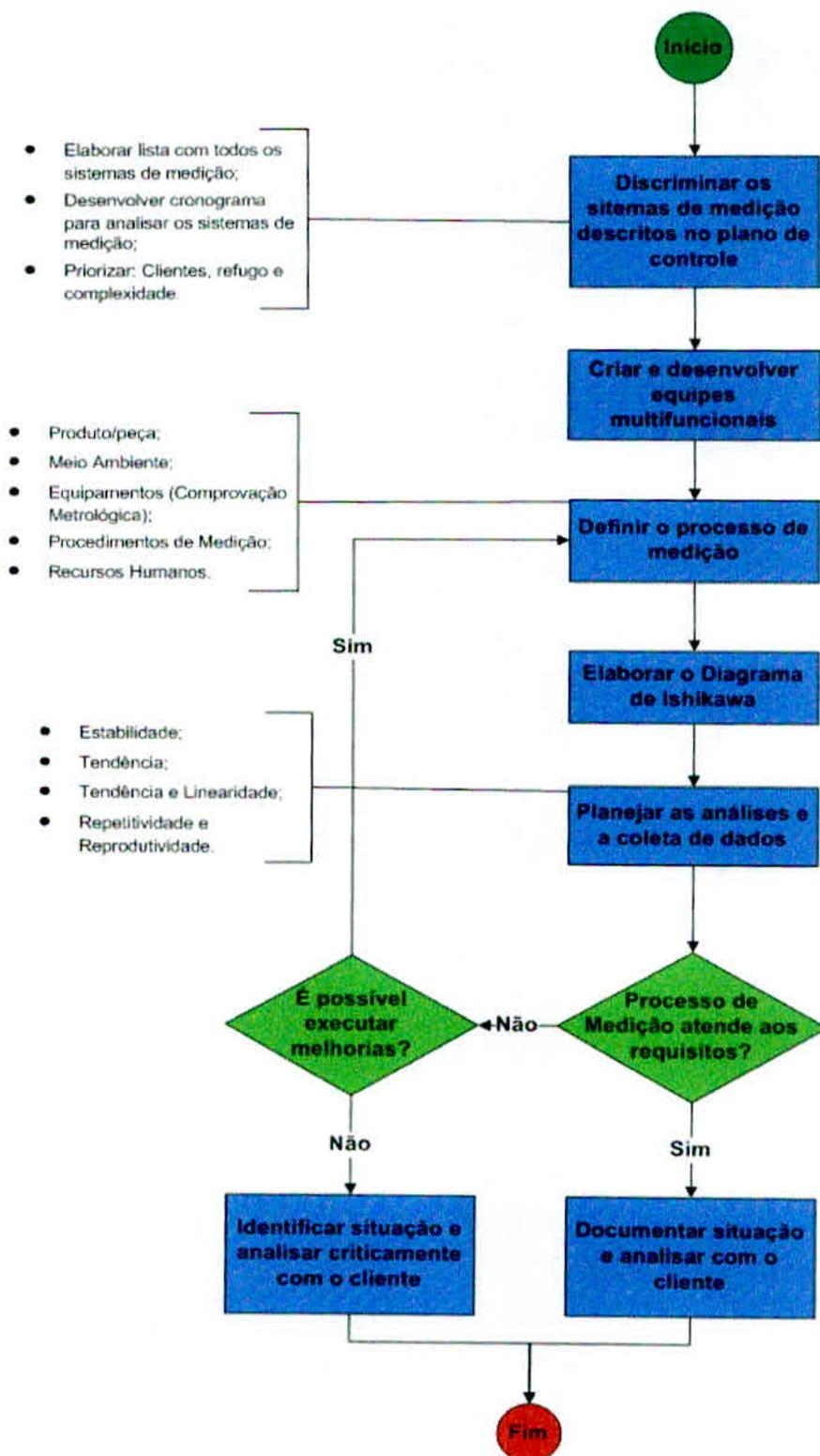


Figura 02: Diretrizes para análise do sistema de medição

Fonte: <http://portalaction.com.br/content/12-planejamento-e-estrat%C3%A9gia>

Deve ocorrer ainda uma determinada preparação para um estudo de medição, ou melhor, um planejamento realizado antes da aplicação desse sistema. É preciso considerar antecipadamente a quantidade de avaliadores e quais serão eles, a quantidade e a seleção de peças da amostra e o número de leituras repetidas. É importante ainda lembrar que o estudo deve ser gerenciado e observado por uma pessoa que entende a importância de conduzir um estudo confiável (MSA, 2002).

3.2 Variabilidade do sistema de medição

Um sistema de medição sofre a influência de diversos fatores quando realizamos a medição. E, em princípio fica difícil afirmar se é correta uma leitura obtida. Esta condição vale para qualquer instrumento ou sistema de medição. O estudo destes fatores e seu comportamento ao longo do tempo devem permitir que se possa aumentar a confiança e a certeza da leitura obtida. Quanto mais os valores se aproximarem do real mais confiável é um sistema de medição e mais certeza que as decisões podem ser seguras (MSA, 2010).

“Todos os métodos de Análise dos Sistemas de Medição são instrumentos para a qualidade. Todos os instrumentos para a qualidade estão baseados em premissas. Se uma premissa é violada, o instrumento torna-se imprevisível, ou ainda pior, pode se conduzir a uma falsa conclusão.” (MAS, 2002, p. 202).

“Os critérios para verificar se a variabilidade do sistema de medição é satisfatória dependem da porcentagem em relação à variabilidade do processo de produção, ou ainda dependem da porcentagem de tolerância da peça” (MSA, 2002, p. 77).

3.3 Análise do sistema de medição

A análise do sistema de medição – MSA é uma metodologia estatística desenvolvida para estudar e analisar o comportamento do sistema de medição e, proporcionar o aumento de confiança e certeza na leitura obtida nos instrumentos. Aplica-se usualmente a sistemas cuja medição pode ser replicada, mas já existem meios de se avaliar instrumentos cuja medição não é possível de ser replicada.

O ponto principal para analisar o sistema de medição consiste em interpretá-lo como um processo. Desta forma, é importante ressaltarmos que não estamos avaliando simplesmente os equipamentos, mas o processo no qual utilizamos os equipamentos, o método e as pessoas para obtermos o resultado da medição (MSA, 2010).

Segundo MSA (2002), um sistema de medição que não propicia a certeza ou confiança na medição pode levar a empresa a realizar grandes investimentos na aquisição de instrumentos e outros meios de medição. É importante identificar o que pode causar esta deficiência, antes de tomar a decisão. E, estudos mal elaborados podem fazer com que a empresa direcione seus recursos para o lugar errado ou, talvez, que não precisem ser realizados. Ou seja, a sua empresa pode estar comprando instrumentos mais caros ou com mais recursos do que o que realmente você precisa. Ou ainda, pode estar utilizando o instrumento errado.

De acordo com MSA (2010), quando analisamos a variação de um sistema de medição é importante olhar para cada aplicação individualmente, para sabermos o que é requerido e como esta medição será utilizada. Por exemplo: a precisão requerida da medição de temperatura poder ser diferente para aplicações não similares. Um termostato para sala pode regular a temperatura para conforto de um humano e ser barato, porém tem um R&R acima de 30%. Isto é aceitável para esta aplicação. Mas, em um laboratório, no qual pequenas variações de temperatura podem impactar nos resultados dos testes, uma medição e controle de temperatura mais sofisticados devem ser requeridos. Este termostato será mais caro e também vamos requerer uma menor variabilidade (menor valor de R&R).

Sabemos que é impossível produzirmos peças em série idênticas entre si, pois existem variações no processo. Todo sistema de medição é parte integrante das variações contidas dentro de um processo de produção. Relacionada no “Diagrama 6M”, ferramenta utilizada pela administração para o gerenciamento e o Controle de Qualidade em diversos processos, como causa dos problemas/efeitos, que podem ser relacionados como: método, matéria-prima, mão-de-obra, máquinas, medição e meio ambiente, a medição deve ser devidamente controlada para não influenciar nas variações do processo. Naturalmente, desejamos que as variações sejam as menores possíveis, e quanto mais próximos as medidas estiverem do valor nominal da característica que está sendo controlada, melhor será a qualidade da mesmas (VASCONCELOS, 1987).

3.4 Propriedades estatísticas dos sistemas de medição

É importante saber que a qualidade de um sistema de medição está diretamente ligada com as propriedades estatísticas dos dados produzidos no decorrer do tempo.

Conforme Oliveira & Muniz (1999), a estatística possui um papel importantíssimo no que diz respeito à determinação da confiança dos dados obtidos nas medições realizadas.

Um sistema ideal de medição produz somente medições “corretas” a cada vez que é usado. Cada medição sempre vai aderir a um padrão. Um sistema de medição que produz medições como este, será denominado como tendo as seguintes propriedades estatísticas: variância zero, tendência zero e probabilidade nula de classificar erroneamente qualquer produto medido. Infelizmente, sistemas de medição com tais propriedades estatísticas tão desejáveis raramente existem, e, portanto os gerentes do processo são geralmente forçados a usar sistemas de medição com propriedades estatísticas menos desejáveis. Portanto, como o sistema ideal não existe é atribuição dos gerentes, adequar seus sistemas de medição, para obter as propriedades estatísticas adequadas ao trabalho executado e às necessidades do produto. Os gerentes têm a responsabilidade de identificar as propriedades estatísticas mais importantes para o uso dos dados. É responsabilidade também assegurar que tais propriedades sejam a base para escolher o sistema de medição (MSA, 2002).

4 REPETITIVIDADE & REPRODUTIBILIDADE (R&R)

“Repetitividade – Grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição” (OLIVEIRA E MUNIZ, 1999, p.86).

“Reprodutibilidade – Grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição” (OLIVEIRA E MUNIZ, 1999, p.86).

O R&R é um estudo confiável mensurado em função da dispensação de valores medidos por um Sistema de Medição que permite calcular sua variabilidade (BURDICK, BORROR & MONTGOMERY, 2005).

“A repetitividade de um processo de medição pressupõe que a variabilidade do sistema de medição é consistente. A repetitividade exprime a variação nas medidas obtidas com um instrumento de medição, quando usado varias vezes por um avaliador medindo a mesma característica na mesma peça. As fontes comuns de erro de repetitividade são as variações de medições devido ao próprio instrumento e a variação devido a posição da peça no instrumento” (BALESTRASSI, 2002, p.100).

“A reprodutibilidade do processo de medição, pressupõe que a variabilidade entre avaliadores seja consistente. A reprodutibilidade exprime a variação na média das medidas feitas por diferentes avaliadores, usando o mesmo instrumento de medição, medindo a mesma característica na mesma peça” (BALESTRASSI, 2002, p.101).

Albertazi e Souza (2008) definem a repetitividade como um faixa que indica a processo de medição envolvendo um mesmo operador em condições operacionais idênticas. E a reprodutibilidade como uma faixa na qual essas indicações esperadas envolvem diferentes operadores.

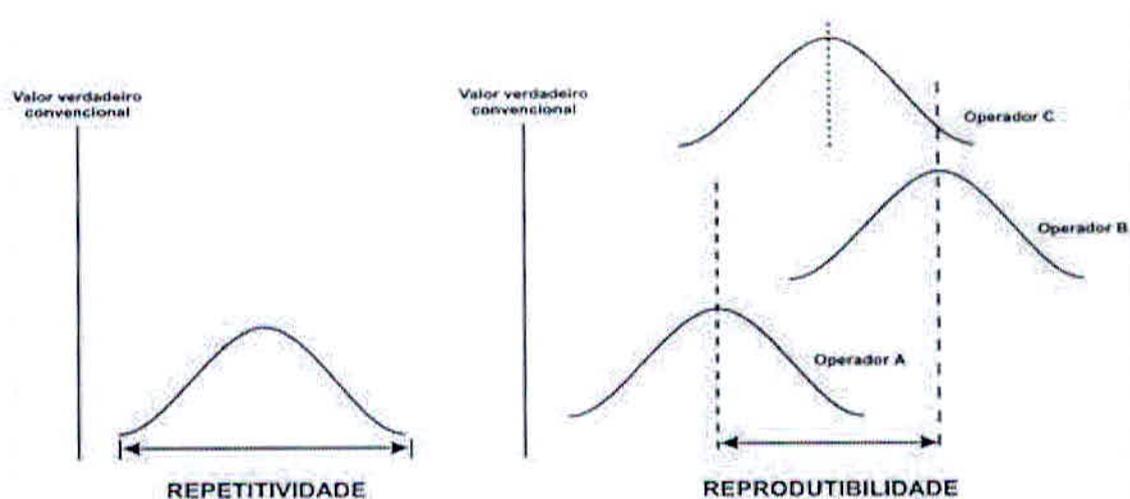


Figura 03: Repetitividade & Reprodutibilidade

Fonte: <http://www.banasmetrologia.com.br>

A repetitividade é conhecida como uma variável de único avaliador, ou seja, a variação da medição de um mesmo equipamento, com condições fixas e definidas: peça, instrumento, padrão, método, operador e ambiente. E a reprodutibilidade é uma variável que ocorre entre avaliadores diferentes entre si, ainda assim com o mesmo equipamento. (MSA, 2002)

Para Oliveira & Muniz (1999), a repetitividade está diretamente relacionada a proximidade entre os resultados de uma determinada quantidade, quando existe constância do método, local, analista, instrumento e as demais condições de operação e ambientais. Já na reprodutibilidade essa constância não existe, ou seja, existe uma variação de uma mais dessas condições.

O estudo de R&R possui uma abordagem estatística e é um método quantitativo. Pode-se dizer que a repetitividade caracteriza um erro aleatório, de causas comuns e a reprodutibilidade é a variação de média, entre sistemas de medição referindo a sua capacidade de apresentar os mesmos resultados a partir de mudanças nas condições de medição, seja o avaliador, período de tempo ou ajustes do processo (BURDICK, BORROR & MONTGOMERY, 2005).

O uso de uma análise como essa em uma empresa é totalmente relevante, pois pode reduzir custos, confusões e irritação ao descobrir erros no sistema de produção, melhorando assim sua qualidade. Como por exemplo, se uma empresa envia produtos errados a uma loja, isso gera perda de tempo e custo para resolver o problema, por isso é tão importante uma análise de sistema (OLIVEIRA & MUNIZ, 1999).

4.1 Critérios de aceitação

Todo sistema de medição deve estar em um processo estável antes de qualquer análise ser aplicada e considerada válida. Os critérios para verificar os resultados devem ser avaliados para determinar se o sistema de medição é aceitável, em relação à segurança e confiança nas medições, para a sua pretendida aplicação (MSA, 2002).

4.1.1 Critérios de aceitação para a variação percentual do R&R

A seguir, temos a tabela de análise do R&R:

R&R	Decisão	Comentários
Abaixo de 10%	Sistema de medição considerado aceitável	Recomendável, especialmente útil quando tentamos ordenar ou classificar peças ou quando for requerido um controle apertado do processo.
Entre 10% e 30%	Pode ser aceito para algumas aplicações	A decisão deve ser baseada primeiro, por exemplo, na importância da aplicação da medição, custo do dispositivo de medição, custo do retrabalho ou reparo.
Acima de 30%	Considerado inaceitável	Todos os esforços devem ser tomados para melhorar o sistema de medição.

Tabela 01: Critérios de aceitação para o R&R

Fonte: MSA, 2002.

4.1.2 Critérios de aceitação para o ndc (número de distintas categorias)

O ndc representa a capacidade de um sistema de medição em discriminar categorias de peças considerando a variação do processo. Este índice nos fornece o número de faixas que podemos dividir a variação do processo.

O manual da indústria automobilística (MSA – 4ª Edição) apresenta como critério um $ndc \geq 5$. Isto quer dizer que o sistema de medição é capaz de identificar 5(cinco) tipos distintos de peças dentro do campo de variação do processo. Se um sistema de medição é avaliado pela tolerância, o índice ndc não deve ser considerado (MSA, 2010).

5 MATERIAL E MÉTODO

Com a finalidade de analisar a variação/precisão do sistema de medição da empresa da cidade de Varginha, WB Ferramentaria, foi feito um estudo de caso, aplicando a ferramenta estatística de análise em sistemas de medição que mais abrangia seu processo: o R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade), através do método da Média e Amplitude.

Para a realização deste estudo, foi selecionado um modelo de peça que continha medidas críticas, e que poderia sofrer variação através do sistema de medição, com o intuito de mostrar um real resultado da situação de seu sistema.

5.1 Peça escolhida para o estudo

Foi escolhido para este estudo um eixo movido, utilizado em um conjunto de Pré-Former, tendo a função de transmitir movimentos à cilindros. O estudo foi conduzido adotando seu diâmetro (ANEXO – A) como característica crítica.

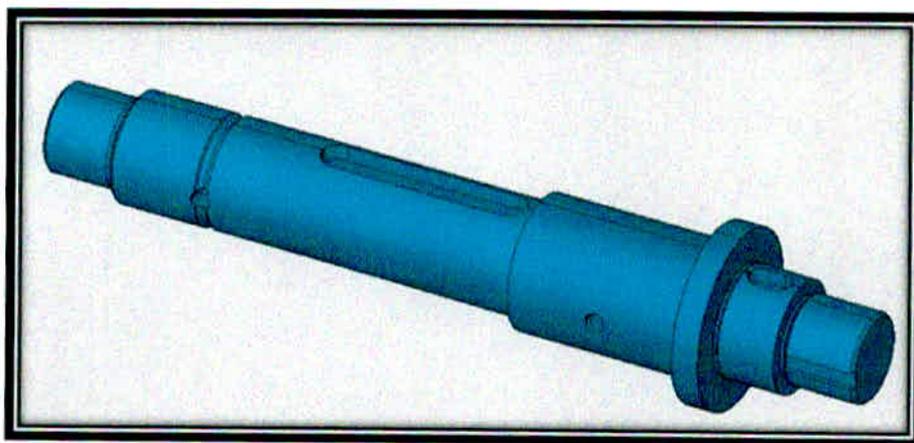


Figura 04: Eixo movido

Fonte: WB Ferramentaria

5.2 Instrumento de medição utilizado

Foi utilizado neste estudo um micrômetro digital da marca Mitutoyo, com faixa efetiva de medição de 0 a 25mm, sendo 0,001mm sua menor divisão de exatidão, que é o instrumento de medição usado pelos operadores no processo de produção, para análise de cotas críticas das peças produzidas.



Figura 05: Micrômetro digital

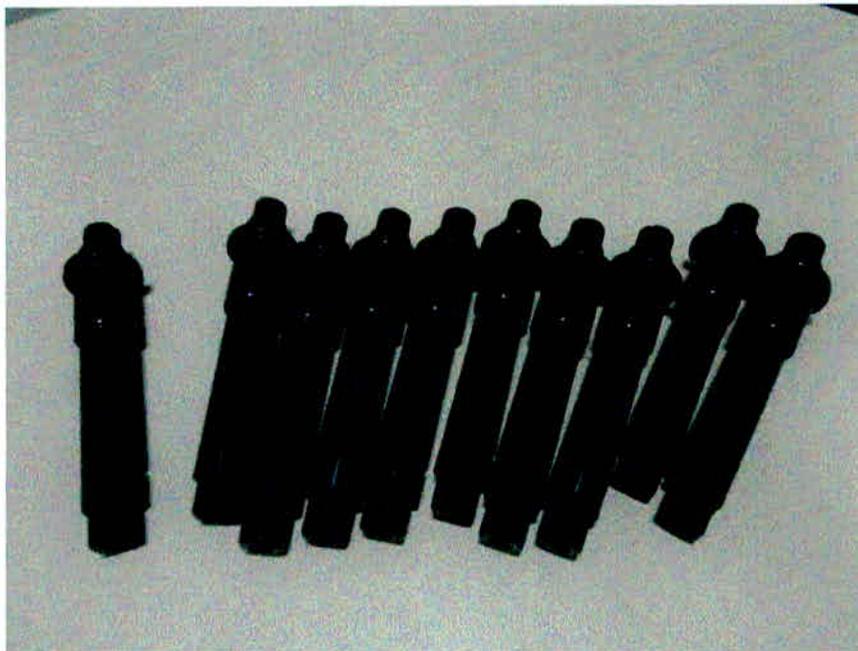
Fonte: <http://www.mitutoyo.com.br/produtos/instrumentos/pdf/-/micro2.pdf>

5.3 Diretrizes tomadas para a realização do estudo

Algumas diretrizes foram seguidas conforme Manual de MSA – 3ª Edição, para que o estudo produzisse dados que realmente mostram a variação do sistema de medição.

5.3.1 Amostras de peças do processo

Foi separada uma amostra constituída de 10(dez) peças que representam o intervalo real ou esperado da variação do processo.



Fotografia 01: Amostra dos eixos selecionados para o estudo

Fonte: o autor

5.3.2 Seleção dos operadores

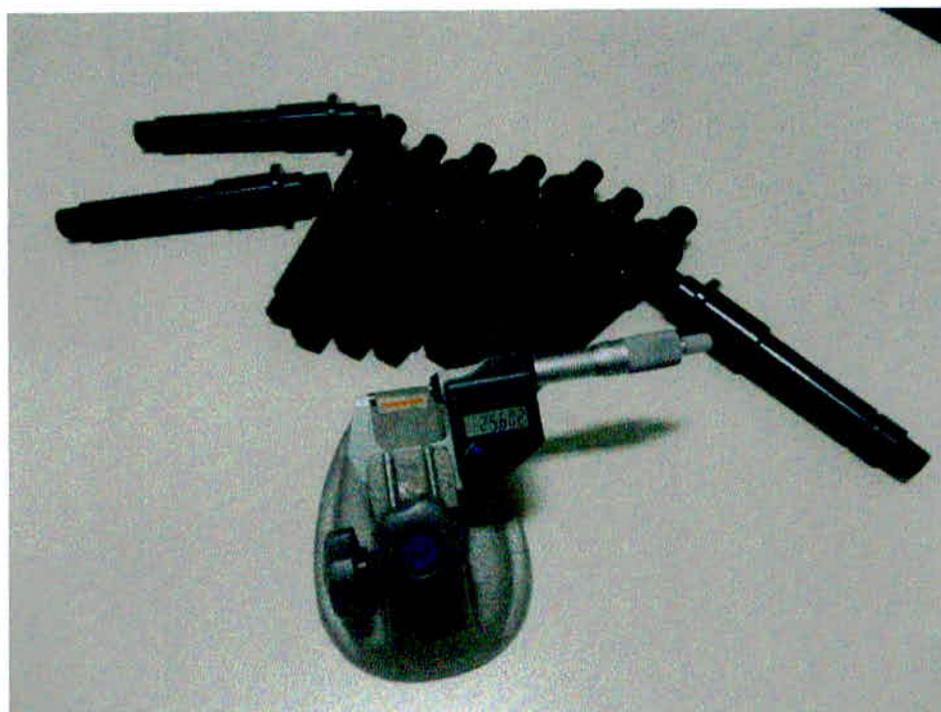
Foi selecionado aleatoriamente 3(três) operadores que utilizam e influenciam no sistema de medição estudado.

5.3.3 Identificação

Tomado como regra, cada avaliador foi identificado com uma letra, A, B e C, e as peças com um número de 1 até 10, pra facilidade de anotações e cálculos na planilha de coleta.

5.3.4 Seleção de um instrumento do processo

Foi selecionado para a utilização no estudo, o instrumento de medição já identificado acima, devidamente calibrado, e de comum utilização dos operadores no processo.



Fotografia 02: Instrumento de medição do processo

Fonte: o Autor

5.5 Coleta de dados

Foi obtido as medidas de cada avaliador por vez, sem que nenhum deles tivesse acesso nem visualização das medidas coletas anteriormente, e das medidas dos outros avaliadores. Em seguida, foi registrado as medidas de todas as 10(dez) peças feitas em ordens sequenciais diferentes, mudando a ordem em cada uma das 3(três) coletas das medições.

5 RESULTADOS

Após a coleta das medições realizadas, foram registradas em uma planilha, e feito os cálculos das médias e das amplitudes, por peça na vertical e por operador na horizontal.

Estudo de Repetibilidade & Reprodutibilidade - Método da Média / Amplitude													
Part No. & Nome	Eixo	Nome do Equipamento			Micrômetro			Peças (n)	10				
Características	Diâmetro	Equipamento No.			MI 001			Operadores	3				
Especificações	24,5	Tipo do Equipamento			Digital			Repetições (r)	3				
Data	11/11/2011	Responsável			Pedro Cesar			Tolerância	0,06				
Repetição		Peça										Médias	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Operador	A	1	24,528	24,49	24,476	24,508	24,548	24,41	24,607	24,54	24,398	24,5	24,5005
		2	24,527	24,491	24,477	24,511	24,55	24,412	24,609	24,546	24,398	24,506	24,5027
		3	24,53	24,495	24,479	24,51	24,552	24,411	24,61	24,543	24,401	24,505	24,5036
		Média	24,528	24,492	24,477	24,51	24,55	24,411	24,609	24,543	24,399	24,504	24,5023
		Amplitude	0,003	0,005	0,003	0,003	0,004	0,002	0,003	0,006	0,003	0,006	0,0038
	B	1	24,529	24,491	24,477	24,509	24,551	24,412	24,61	24,544	24,396	24,503	24,5022
		2	24,528	24,492	24,479	24,508	24,547	24,413	24,611	24,545	24,399	24,506	24,5028
		3	24,53	24,494	24,475	24,51	24,548	24,41	24,608	24,546	24,397	24,503	24,5021
		Média	24,529	24,492	24,477	24,509	24,549	24,412	24,61	24,545	24,397	24,504	24,5024
		Amplitude	0,002	0,003	0,004	0,002	0,004	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,0029
	C	1	24,53	24,494	24,477	24,508	24,55	24,413	24,607	24,546	24,402	24,499	24,5026
		2	24,529	24,49	24,478	24,507	24,548	24,41	24,609	24,543	24,397	24,502	24,5013
		3	24,527	24,492	24,475	24,51	24,547	24,412	24,61	24,544	24,401	24,504	24,5022
		Média	24,529	24,492	24,477	24,508	24,548	24,412	24,609	24,544	24,4	24,502	24,502
		Amplitude	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,005	0,005	0,0035
Média da peça		24,529	24,492	24,477	24,509	24,549	24,411	24,609	24,544	24,399	24,503	24,5022	
												0,21022	

Tabela 02: Planilha de coleta (médias e amplitudes)

Fonte: o autor

6.1 Cálculos realizados

Com base na planilha de dados coletados já registrada, foram realizados todos os cálculos necessários para a determinação dos resultados do estudo de R & R pelo método da Média e Amplitude, seguidos e analisados de acordo com o Manual de MSA – 3ª Edição, 2002.

Estudo de Repetibilidade & Reprodutibilidade - Método da Média / Amplitude					
Repetições	D ₄	$\bar{R} = (R_A + R_B + R_C) / \#Op =$	0,0034	Operadores	K ₂
2	3,27	$\bar{X}_{DIFF} = \max(\bar{X}) - \min(\bar{X}) =$	0,0003	2	0,7071
3	2,58	$U_{CLR} = \bar{R} \times D_4 =$	0,0088	3	0,5231
Repetibilidade		Repetições	K ₁	Variação	
$VE = R \times K_1 =$		2	0,8862	DN	
0,002		3	0,5908	VT	TOL
Reprodutibilidade		Peças	K ₃	%VE	
$VO^2 = (\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / (nr))$		2	0,7071	=100 [VE/DN]	3,04%
VO =		3	0,5231	%VO	0,00%
0		4	0,4467	=100 [VO/DN]	0,00%
Repetitividade & Reprodutibilidade		5	0,403	%R&R	3,04%
$R \& R^2 = VE^2 + VO^2$		6	0,3742	=100 [R&R/DN]	20,09%
R & R =		7	0,3534	%VP	99,95%
0,002		8	0,3375	=100 [VP/DN]	661,36%
Variação do Processo (VP)		9	0,3249		
$VP = R_p \times K_3 =$		10	0,3146	ndc = 1,41 [VP/R&R] =	
0,0661		46,4			
Variação Total (VT)		Resultado do Teste:			
$VT^2 = R \& R^2 + VP^2$		VT Sistema de medição adequado			
VT =		TOL Sistema de medição deve ser analisado			
0,0662					

Tabela 03: Planilha de cálculos e resultados

Fonte: o autor

6.2 Análise gráfica dos resultados

A utilização de instrumentos gráficos para a análise é muito importante. Para melhorar o entendimento, foram colocadas algumas dessas técnicas que se mostraram comprovadamente úteis.

A análise do gráfico das médias pode auxiliar na determinação da consistência entre os avaliadores, e o gráfico das amplitudes é utilizado para verificar se um processo está sob controle.

6.2.1 Análise gráfica das Médias

Através dos resultados obtidos, foi gerado um gráfico das médias, sendo os dados, colocados sobrepostos operador por operador.

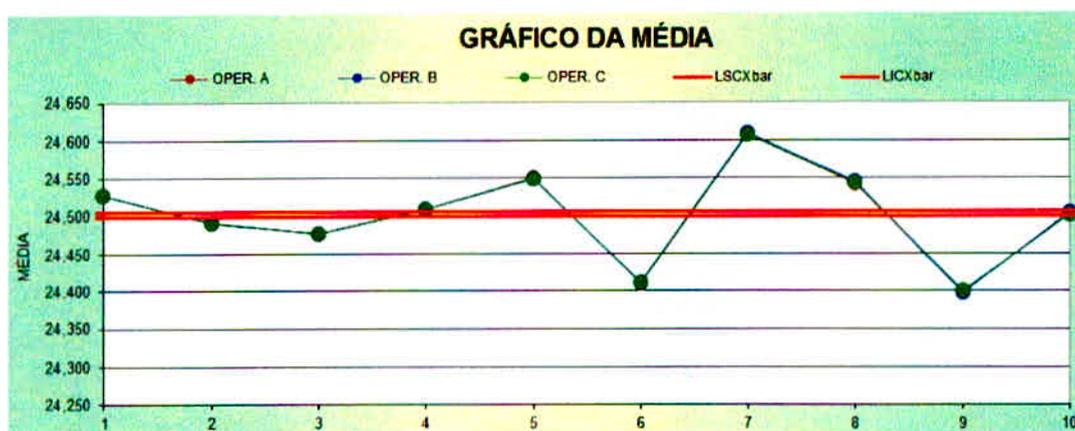


Gráfico 01: Médias sobrepostas operador por operador

Fonte: o autor

Nenhuma diferença de operador-para-operador foi identificada de imediato, o que comprova o cálculo da Reprodutibilidade ($VO=0$), que é a variação entre os operadores, mostrado na tabela anterior.

Para uma melhor análise dos resultados, também foi gerado outro gráfico das médias, sendo colocados os dados agora, lado a lado, operador por operador.



Gráfico 02: Médias lado a lado operador por operador

Fonte: o autor

A área situada entre os limites $LSCx = X_{tot} + (A_2 \cdot R_{tot})$ e $LICx = X_{tot} - (A_2 \cdot R_{tot})$ (linhas vermelhas), onde $A_2 = 1,023$, representa a sensibilidade de medição (“ruído”). Se as amostras utilizadas representam o processo, aproximadamente metade (ou mais) das médias estarão situadas acima ou abaixo dos limites de controle.

Vendo os “Pontos fora de Controle” (círculo azul, Gráfico 02) que mostra quantos pontos estão acima ou abaixo dos limites de controle, podemos facilmente perceber a configuração do gráfico atende a condição acima. Portanto, o sistema de medição é adequado para detectar a variação peça-a-peça e pode gerar informações úteis para a análise e controle do processo.

6.2.2 Análise gráfica das amplitudes

Através dos resultados obtidos, também foi gerado um gráfico das amplitudes, sendo os dados, colocados sobrepostos operador por operador.

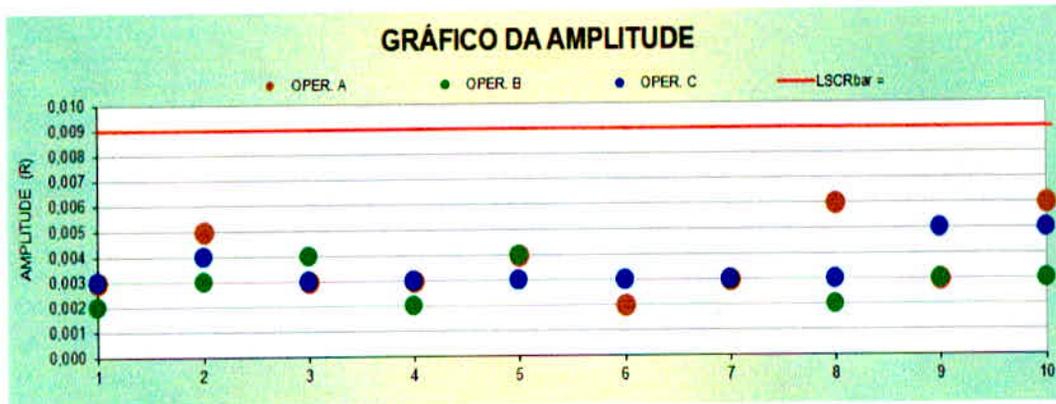


Gráfico 03: Amplitudes sobrepostas operador por operador

Fonte: o autor

O gráfico de amplitude é utilizado para verificar se um processo está sob controle. Se as amplitudes estão todas dentro do limite, então todos os avaliadores estão medindo as peças de forma igual, ou seja, estão fazendo o mesmo serviço. Se um dos avaliadores estiver fora de controle, então o método por ele utilizado difere do método utilizado pelos demais. Se todos os avaliadores tiverem alguma amplitude fora de controle, o sistema de medição precisa ser reavaliado e aperfeiçoado.

Também foi gerado outro gráfico das amplitudes, onde os dados obtidos são colocados lado a lado desta vez, operador por operador.

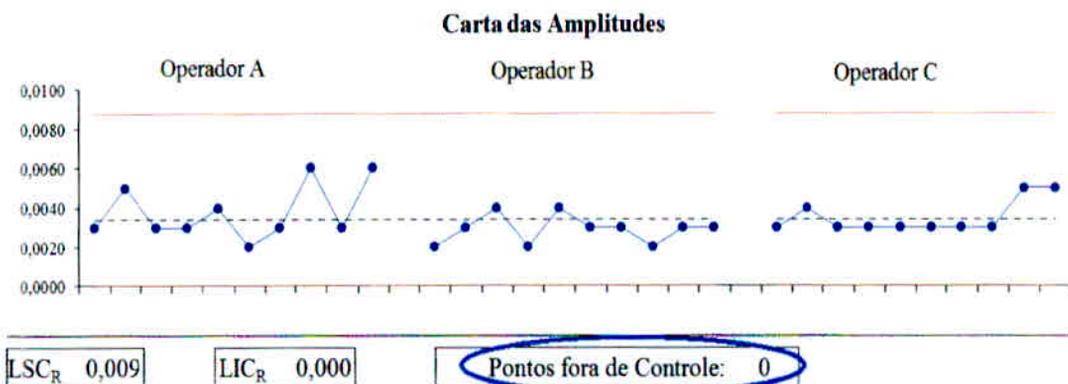


Gráfico 04: Amplitudes lado a lado operador por operador

Fonte: o autor

Claramente podemos perceber que não há nenhum ponto fora de controle (círculo azul, Gráfico 04), que é delimitado por $LSC_R = R_{tot} \cdot D_4$ (linha vermelha), o que garante que este sistema de medição está sob controle.

6.3 Porcentagem do R&R pela variação do processo

O parâmetro deste cálculo é em função das medidas das peças. Quanto maior for a diversificação das mesmas, menor será este índice. Pelo critério do Manual de MSA, o ideal é que este índice fique abaixo de 10%, para aprovação incondicional, caso ele ultrapasse os 10%, deve ser emitido uma análise por escrito aceitando ou não os resultados do relatório. Se este índice ultrapassar o valor de 30%, o estudo está automaticamente reprovado, onde deverá haver uma análise crítica, corrigir as causas e refazer o referido estudo.

Repetições	K ₁	Variação		
		DN		
			VT	TOL
2	0,8862			
3	0,5908			
Peças	K ₃	%VE =100 [VE/DN]	3,04%	20,09%
2	0,7071			
3	0,5231	%VO =100 [VO/DN]	0,00%	0,00%
4	0,4467			
5	0,403	%R&R =100 [R&R/DN]	3,04%	20,09%
6	0,3742			
7	0,3534	%VP = 100[VP/DN]	99,95%	661,36%
8	0,3375			
9	0,3249			
10	0,3146	ndc = 1,41[VP/R&R] =		46,4
Resultado do Teste:				
VT	Sistema de medição adequado			
TOL	Sistema de medição deve ser analisado			

Tabela 04: Fórmula e resultados do R&R pela variação do processo

Fonte: o autor (recorte da tabela 02)

De acordo com a fórmula da porcentagem da variação em relação ao processo (círculo preto, Tabela 04), o presente estudo de R&R deste sistema foi aprovado incondicionalmente (círculos azuis, Tabela 04), conforme critérios descritos acima e já citados no Capítulo 4.

6.4 Porcentagem do R&R pela tolerância do processo

O cálculo deste parâmetro é em função da tolerância do processo, utilizando a amplitude da tolerância, ou seja, como o valor da tolerância da cota crítica analisada é de $\pm 0,03$ (conforme ANEXO A), o valor utilizado é 0,06 (lançado na Tabela 01). Porém a amplitude deve ser dividida por 6, porque todo cálculo de R&R da terceira edição é baseado em 6σ (seis sigmas). O critério de aceitação é igual o da porcentagem de R&R pela variação do processo.

Repetições	K ₁	Variação		
		DN		
2	0,8862		VT	TOL
3	0,5908			
Peças	K ₃	%VE =100 [VE/DN]	3,04%	20,09%
2	0,7071			
3	0,5231	%VO =100 [VO/DN]	0,00%	0,00%
4	0,4467			
5	0,403	%R&R =100 [R&R/DN]	3,04%	20,09%
6	0,3742			
7	0,3534	%VP = 100[VPDN]	99,95%	661,36%
8	0,3375			
9	0,3249			
10	0,3146	ndc = 1,41[VP/R&R] =	46,4	
Resultado do Teste:				
VT	Sistema de medição adequado			
TOL	Sistema de medição deve ser analisado			

Tabela 05: Fórmula e resultados do R&R pela variação da tolerância

Fonte: o autor (recorte da tabela 02)

De acordo com a fórmula (círculo preto, Tabela 05), porém agora em função da tolerância do processo, como descrito acima, o presente estudo de R&R deste sistema foi aceito para a sua aplicação, conforme critérios citados no Capítulo 4.

6.5 Análise do ndc (número de distintas categorias)

Este parâmetro foi calculado em função da diversificação das amostras (VP) e do índice de R&R (círculo preto, Tabela 06). Deve ser um número inteiro e maior ou igual a 5, conforme critério de aceitação descrito no Capítulo 4. Caso contrário o estudo deve ser reprovado, selecionar novas amostras e refazer o estudo. Salvo, se utilizar como parâmetro a tolerância do processo.

7	0,3534	%VP = 100[VPDN]	99,95%	661,36%
8	0,3375			
9	0,3249	$ndc = 1,41[VP/R\&R] = 46,4$		
10	0,3146			
Resultado do Teste:				
VT	Sistema de medição adequado			
TOL	Sistema de medição deve ser analisado			

Tabela 06: Fórmula e resultado do ndc

Fonte: o autor (recorte da Tabela 02)

Neste caso, o estudo também aprova, pois apresenta um $ndc=46$ (círculo azul, Tabela 06) aproximadamente, que é praticamente 9 (nove) vezes maior do que o critério mínimo de aceitação, o que é um resultado excelente.

7 DISCUSSÃO

Observando e analisando os resultados, podemos perceber que o estudo foi aprovado em todos os critérios, tendo como observação somente o resultado da porcentagem do R&R em relação à tolerância do processo (Tabela 05), tendo seu laudo considerado aceitável, conforme os dados do MSA (2002), contidos na Tabela 01, dizendo que: caso o índice esteja situado até 10% - O resultado será “Aprovado”, não sendo necessário emitir nenhuma justificativa, pois sua porcentagem não interfere no processo; caso o índice esteja situado entre 10% e 30% - O resultado poderá ser considerado “Aceitável”, devendo ser analisado criteriosamente, justificando a “Aprovação”, ou não, de acordo com sua interferência no processo.

Analisando detalhadamente todos os critérios para a aceitação da porcentagem de R&R em relação à tolerância do processo, de acordo com o MSA (2010), podemos considerar este sistema de medição aprovado, pois mesmo com uma tolerância pequena, o micrômetro, instrumento de medição utilizado, tem uma ótima precisão nas medições, devido à sua menor divisão de verificação, que é de 0,001mm. Também por isso se considera aceitável, pois para aumentar esta precisão precisaria de instrumentos muito avançados e com custo muito elevado, o que inviabiliza melhoria neste sistema de medição, sendo que é quase desprezível sua variação em relação ao processo.

Depois de todas as análises comprovadas e sabendo que o estudo estatístico da Repetitividade e Reprodutibilidade foi completamente aprovado, a empresa analisada – WB Ferramentaria – pode considerar o seu sistema de medição como sendo um sistema seguro e estável, que proporciona precisão e confiança em todas as medições derivadas dele.

No caso desse estudo o resultado foi considerado aprovado, porém é importante ressaltar que uma análise como essa é totalmente relevante, pois existe a possibilidade de reprovação, ou seja, descobrir um erro pode ajudar significativamente uma empresa, afinal como diz Oliveira e Muniz (2000) pode reduzir custos, confusões e irritação ao descobri-los num sistema de produção, melhorando assim sua qualidade.

8 CONCLUSÃO

Em relação ao objetivo desse estudo, de descobrir se o sistema de medição não interferia na variação total do processo, foi possível analisar que a empresa em questão obteve um resultado positivo dentro dos critérios de aceitação, ou seja, foi aprovado e considerado um sistema seguro e confiável e capaz, não influenciando nas variáveis do processo de produção.

Por meio dos resultados deste estudo, também é possível perceber como a variabilidade do sistema de medição pode afetar as decisões tomadas em relação à variação de um processo, pois um sistema de medição controlado estatisticamente, encontra facilmente erros relacionados às outras variações, não gerando custos com tempo perdido, investimentos desnecessários, dentre outros, conseguindo ainda maior confiança e qualidade no seu produto final, e conseqüentemente melhor relacionamento e credibilidade com seus clientes.

Enfim, posso ressaltar ainda a importância de um estudo como esse em uma empresa, pois esta pode estar com um sistema de medição inaceitável. Com isso, provavelmente estará prejudicando seu processo de produção. Assim, por meio deste tipo de análise estatística, como a Repetitividade e Reprodutibilidade, a empresa pode vir a descobrir erros e variações em seu sistema para melhorar sua qualidade de medição e conseqüentemente a qualidade de seus serviços ou produtos.

REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André. Fundamentos de Metrologia científica e industrial. Barueri. SP: Manole, 2008.

BALESTRASSI, P. P. Avaliação de Sistemas de Medição. In: ROTONDARO, R. G. (Org.). Seis Sigma - Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

BURDICK, Richard K.; BORROR, Connie M.; MONTGOMERY, Douglas C. Design and analysis of gauge R&R studies: making decisions with confidence intervals in random and mixed ANOVA models. Philadelphia, PA: SIAM, 2005.

MSA – Análise dos Sistemas de Medição. 3. ed. [S.l.]: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 2002. 225 p.

MSA – Análise dos Sistemas de Medição. 3. ed. [S.l.]: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 2010. 232 p.

OLIVEIRA, M. S e MUNIZ, J.A. Controle estatístico e gestão da qualidade. Lavras: FAEPE/UFLA, 1999.

SCHISSATTI, M.L. Uma metodologia de implantação de cartas de Shewarth para o controle de processos. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - UFSC, Florianópolis, 1998.

STIGLER, Stephen M. The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty before 1900. [S.l.]: Belknap Press/Harvard University Press, 1990.

WERKEMA, Cristina. Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.

VASCONCELOS, T.B. Controle Estatístico do Processo Operacional. 1. ed. São Paulo, SP: VTB Consultoria e Treinamento S/C Ltda, 1987.

ANEXO A – Desenho Técnico da Peça/Amostra

