

unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

RENAN SARTORI BAYOD

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO EM UMA LINHA
PRODUTIVA DE RODAS**

RENAN SARTORI BAYOD

ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO EM UMA LINHA PRODUTIVA
DE RODAS

Trabalho de graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

B361a Bayod, Renan Sartori
Análise do Sistema de Medição em uma Linha Produtiva de Rodas /
Renan Sartori Bayod – Guaratinguetá : [s.n], 2012.
47 f : il.
Bibliografia: f. 46-47

Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica –
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de
Guaratinguetá, 2012.
Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

1. Medição I. Título

CDU 681.2.08

ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO EM UMA LINHA PRODUTIVA DE
RODAS

RENAN SARTORI BAYOD

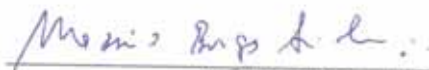
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO PARA A
OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA



Prof. Dr FRANCISCO OLIVEIRA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Msc. RICARDO BATISTA PENTEADO
UNESP-FEG



Prof. Msc. SANTIAGO JOSE RABELL FERRAN
Universidade de Oriente

Dezembro de 2012

AGRADECIMENTOS

À minha família que me apoiou em todos os momentos da vida, dando a força necessária para ganhar as batalhas precisas.

Aos meus amigos que deram risada nas horas de alegria, mas que também souberam me ouvir nos momentos de tristeza.

Ao meu orientador, pela ajuda dada, não somente nesse trabalho, sem o qual o mesmo não teria sido construído, mas também como excelente professor.

Aos colegas de trabalho na empresa onde estagiei, que me auxiliaram no que foi possível e me ajudaram eximamente na minha formação, como profissional e pessoa.

BAYOD, R. S. Análise do sistema de medição em uma linha produtiva de rodas . 2012. 47 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

Neste trabalho é abordada a análise de um sistema de medição a ser implantado em uma linha produtivas de rodas, destinadas à aplicação em ônibus e caminhões, o dispositivo de medição deve ser validado quanto ao estudo de MSA, já que a indústria em questão é uma fornecedora automobilística, tendo então de estar de acordo com as normas ISO/TS 16949.

São apresentados os estudos que contemplam o MSA, bem como conceitos a fim de possibilitar o entendimento do trabalho. Também é abordada a sistemática de produção de rodas com câmara, isto é, rodas que utilizam pneus com câmara de ar, com maior detalhamento para a produção de aros, onde o dispositivo deve ser implantado.

Os dados são analisados e julgados aceitáveis ou não de acordo com as diretrizes expostas no trabalho, juntamente a isso, propostas de melhorias são elaboradas e uma análise das mesmas é feita, a fim de verificar tal propósito.

Finalmente, uma avaliação geral do sistema de medição analisado é feita, e são sugeridos futuros estudos com o intuito de aperfeiçoa-lo.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Medição. Repetitividade. Reprodutibilidade. MSA.

BAYOD, R.S. Measurement System Analysis in a wheels production line. 2012. 47 f. Graduate Work (Graduation in Mechanical Production Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012

ABSTRACT

In this work, we analyze a measurement system that will be implanted in a wheels production line, in order to use those wheels for buses and trucks. The measurement device has to be approved according to the MSA study, due to the fact that the mentioned industry is an automobilistic supplier, so that it has to be conform with the ISO/TS 16949 standards.

We showed the MSA studies, as well as some concepts for the work understanding. The airlock wheels systematic production is also broached, that is to say, wheels that use airlock tyres, with a better attention given to the rim production, where the device must be implanted.

We analyze and assess the data's acceptance according to the guidelines showed in this study, along with this, improvement proposals are elaborated and their analysis is made, in order to check the obtained results.

Finally, we survey the analyzed measurement system, and new studies are suggested, with the intention of improving it.

KEY-WORDS: Measurement system. Repeatability. Reproducibility. MSA.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	9
1.1 OBJETIVOS	9
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.2 JUSTIFICATIVA	10
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 SISTEMAS DE MEDIÇÃO	12
2.2- O ESTUDO DE MSA	13
2.3 MÉTODO DA ANOVA	17
3. DESCRIÇÃO DO CENÁRIO	20
3.1 FABRICAÇÃO DE RODAS COM CÂMARA	20
3.2 FABRICAÇÃO DE AROS COM CÂMARA	20
3.3 A CARACTERÍSTICA DE BATIMENTO.....	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1 DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO	24
4.2 SELEÇÕES DE PEÇAS E OPERADORES	26
4.3. APLICAÇÃO.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1 BATIMENTO RADIAL.....	30
5.2 BATIMENTO LATERAL.....	33
5.3 ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS.....	35
5.4 AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS PROPOSTAS.....	40
6. CONCLUSÃO	45
6.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1.INTRODUÇÃO

A globalização com todas as suas vantagens e desvantagens, dependendo do ponto de vista, nos trouxe algo que, na realidade atual, é de vital importância para a sobrevivência das empresas: necessidade de produzir com qualidade e preocupação com a melhoria contínua.

Atualmente a qualidade está intimamente relacionada com o desempenho dos processos e seus controles que são realizados ao longo da cadeia produtiva. A decisão de se ajustar ou não um processo depende dos dados de medição que este produz, e para isto, é imprescindível que sua origem seja confiável e conhecida.

Em virtude desta nova realidade, é de extrema importância que os dados gerados pelos sistemas de medição sejam tratados e analisados para garantir que a qualidade do produto esteja sendo monitorada.(CERCAL, ZVIRTES, CORTIVO, 2009)

1.1 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo a aplicação de estudos de MSA (Análise dos sistemas de medição) em uma linha produtiva. A empresa escolhida para tal aplicação é uma fabricante de rodas localizada na região do Vale do Paraíba, a linha produtiva escolhida para a atuação do presente trabalho se refere à produção de rodas com câmara, ou seja, rodas que utilizam pneus com câmara de ar, esses produtos são destinados a caminhões e ônibus em geral.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Secundariamente o trabalho busca verificar a qualidade dos dados analisados, classificando-os quanto aos quesitos estabelecidos no mesmo, e se possível, propor melhorias no sistema de medição, a fim de chegar ao nível de qualidade requerido no processo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa para esse trabalho se dá devido ao fato de existir a necessidade da implantação de um novo dispositivo de medição de batimento de aro na linha de rodas com câmara, tal dispositivo tem o intuito de aumentar o poder de detecção da característica envolvida, que é de vital importância na qualidade final do produto.

O dispositivo de medição deve ser validado para que se garanta seu funcionamento de maneira satisfatória, evitando erros de julgamento, ou seja, peças boas serem recusadas e/ou peças ruins serem aprovadas. Além de evitar desperdícios com tempo e mão de obra em processos onde não se é gerada nenhum tipo de informação pertinente.

A necessidade de validação do dispositivo também se deve ao fato da empresa em questão ser fornecedora de insumos para a indústria automotiva, o que torna importante estar em conformidade com as exigências da ISO/TS 16949.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho faz uso da Estatística Descritiva e Inferencial seguindo a metodologia da pesquisa-ação, que é definida por Thiollent (1997) como sendo um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e na qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

O trabalho foi dividido em seis capítulos, buscando uma melhor organização e assim ajudando na compreensão das informações a serem passadas. Na introdução são revelados os objetivos do trabalho, gerais e específicos, além de apresentar a justificativa para o andamento do mesmo.

O segundo capítulo se trata da fundamentação teórica, nele são trazidos conceitos necessários para o entendimento geral do trabalho. São tratados os sistemas de medição como um todo, o estudo de MSA, suas subdivisões e as aplicações em que cada estudo é destinado, e finalmente é apresentado o método da ANOVA, que foi escolhido para ser utilizado no trabalho.

O terceiro capítulo expõe o cenário em que o estudo foi desenvolvido, são mostrados os componentes da fabricação de rodas com câmara, com atenção especial para a sistemática e processos de produção dos aros com câmara, que é o produto base do estudo aplicado. Também é apresentada a característica de batimento e suas particularidades.

O capítulo intitulado Materiais e Métodos, apresenta o dispositivo de medição a ser implantado na linha produtiva, bem como a maneira com que essa medição deve ser realizada, também cabe a esse capítulo mostrar como foram selecionados os operadores e as peças, e como foi feita a aplicação de tal estudo.

No capítulo que recebe o título de Resultados e Discussão, são feitos os estudos em si, através dos dados coletados, sendo esta a parte mais extensa do trabalho. Para facilitar o entendimento o mesmo foi subdividido em quatro itens, que tratam respectivamente do resultado para o batimento radial, para o batimento lateral, análise para a implementação de melhorias e a avaliação sobre as mudanças propostas.

O sexto capítulo apresenta as conclusões que podem ser tiradas com a aplicação do estudo e propõe novos projetos futuros para o trabalho.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Sistema de medição é o conjunto 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 que está sendo medida, ou seja, o processo completo utilizado para obter as medições (MANUAL DE REFERÊNCIA MSA, 2010). De acordo com o VIM (2007), um sistema de medição compreende o conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição específica.

Um sistema ideal de medição produz somente medições corretas a cada vez que é usado. Um sistema de medição que produz medições como este, será denominado como tendo as seguintes propriedades estatísticas: variância zero, e probabilidade nula de classificar erroneamente qualquer produto medido (MANUAL DE REFERÊNCIA MSA, 2010). Porém como em qualquer processo, o sistema de medição está sujeito a vários tipos de variações que são devidas a causas comuns e causas especiais. Segundo IQA (2004), esta variabilidade, seja devido às causas comuns ou especiais, tem que ser conhecida e investigada para que se possa diminuí-la o máximo possível e que sua influência sobre o processo seja a menor possível.

De acordo com Slack et al. (2002), as variações que derivam das causas comuns nunca podem ser inteiramente eliminadas, apesar de poderem ser reduzidas. Se essa variabilidade natural se mantiver constante, diz-se que o processo está sob controle estatístico (COSTA et al., 2004). Do contrário, se a variabilidade for devido a causas especiais, que poderiam ser corrigidas ou eliminadas, como por exemplo, um lote de matéria prima com problemas ou o desajuste de uma máquina, então o processo está fora de controle (COSTA *et al.*, 2004).

Para Schissatti (1998) o controle estatístico de processo (CEP) é um conjunto de técnicas que permite conhecer o processo, manter o mesmo em estado de controle estatístico e melhorar a capacidade do mesmo. Tais conceitos, também se aplicam aos sistemas de medição, que possuem no seu processo a inerência da variabilidade amostral das medições.

Segundo Schissatti (1998) alguns exemplos de causas de variação que podem ocasionar ou interferir na classificação do sistema de medição são: desgaste de ferramentas, matérias-primas fora da especificação, métodos de trabalho incorretos, gerenciamento inadequado, e erros humanos. Da mesma forma, Slack (2006) cita como exemplos de causas

assinaláveis para a contribuição da variabilidade de um processo, o mal preparo de um equipamento ou sua vida útil de trabalho, e o treinamento da equipe de trabalho.

2.2- O ESTUDO DE MSA

Para Rotondaro et al. (2002), o objetivo da análise de um sistema de medição é o de compreender as fontes de variação que podem influenciar nos resultados de medição. De acordo com IQA (2004), a função básica do MSA é verificar se o sistema de medição é adequado ou não para avaliar ou controlar um determinado processo ou produto, e, se possível, identificar as causas da não adequação do sistema.

O estudo de MSA pode ser dividido em duas categorias: localização e dispersão, sendo que a primeira se refere à tendência, estabilidade e linearidade, enquanto que a segunda é referente à repetibilidade e reprodutibilidade, esses dois últimos geralmente são realizados conjuntamente, resultando no R&R. Segue a seguir o detalhamento dos estudos citados.

Tendência

Tendência é a diferença entre o valor verdadeiro (valor de referência) e a média observada das medições numa característica numa mesma peça. A tendência é a medida do erro sistemático de um sistema de medição. É a contribuição para o erro total, composta dos efeitos combinados de todas as fontes de variação, conhecidas ou desconhecidas, do qual as contribuições do erro total tendem a compensar consistentemente e previsivelmente todos os resultados de aplicações repetidas de um mesmo processo de medição na ocasião da realização das medições (MANUAL DE REFERÊNCIA MSA, 2010).

Esse estudo é aplicado nos casos em que haja a necessidade de se conhecer qual o erro sistemático do sistema de medição, ou seja, conhecer o quão longe estão os valores apresentados pelo sistema do valor verdadeiro real. Na verdade todos os sistemas têm esta necessidade, pois precisamos conhecer o seu erro de medição para que possa ser confiável e venha a fornecer valores corretos ao longo de sua utilização. Caso seja aplicado o estudo de linearidade, não se torna necessário a aplicação do estudo de tendência.

Estabilidade

Estabilidade é a variação total nas medições obtidas com um sistema de medição no mesmo padrão-mestre ou peças quando medindo uma característica única no decorrer de um período de tempo prolongado. Isto é, estabilidade é a variação da tendência ao longo do tempo (MANUAL DE REFERÊNCIA MSA, 2010).

Aplicada-se nos casos em que precisamos conhecer o comportamento do sistema de medição ao longo do tempo. Na verdade todos os sistemas têm esta necessidade, pois precisamos conhecer o seu comportamento ao longo do tempo.

Linearidade

A diferença da tendência ao longo do intervalo de operação esperado no equipamento é chamada de linearidade. A linearidade pode ser imaginada como a variação da tendência com respeito ao tamanho (MANUAL DE REFERÊNCIA MSA, 2010).

A linearidade é utilizada nos casos em que o sistema de medição opera em uma larga faixa de trabalho, não sendo pontual. Pode-se dizer que a linearidade é a tendência ao longo da faixa de operação do sistema de medição, pois não passa de um estudo das tendências de variados pontos do sistema de medição. Nos casos em que for aplicada a linearidade, não se torna necessário a aplicação do estudo de tendência.

Repetitividade

Segundo Werkema (1996), a repetibilidade de um instrumento de medição, é a variação nas medidas obtidas quando um operador utiliza o instrumento para medir repetidas vezes à característica de interesse dos mesmos itens.

A repetitividade é conhecida como a variabilidade “do avaliador”. A repetitividade é a variação nas medições obtidas com um instrumento de medição, quando usado várias vezes por um avaliador, enquanto medindo uma característica idêntica de uma mesma peça. Ela é a variação inerente ou a capacidade do próprio equipamento. A repetitividade é comumente denominada como sendo a variação do equipamento, embora isto seja uma ideia errada. De fato, a repetitividade é uma variação de causa comum (erro aleatório) decorrente de sucessivas repetições feitas sob condições definidas de medição. O melhor termo para designar a repetitividade é a variação dentro do sistema, quando as condições de edição são fixas e definidas – fixação da peça, instrumento, padrão, método, operador, ambiente e as premissas. Em adição à variação dentro do equipamento, a repetitividade incluirá todas as variações dentro provenientes de qualquer condição do modelo de erro (MANUAL DE REFERÊNCIA MSA, 2010)

Reprodutibilidade

Através de Werkema (1996), a reprodutibilidade de um instrumento de medição é a variação na média das medidas obtidas quando diferentes operadores utilizam o instrumento para medir repetidas vezes à característica de interesse dos mesmos itens.

Segundo Montgomery (2004) a reprodutibilidade é definida como a variabilidade devida ao fato de o medidor ser utilizado por diferentes operadores, ou em diferentes períodos de tempo, ou em diferentes ambientes, ou, de modo geral, em condições diferentes.

A reprodutibilidade é conhecida como a variabilidade “entre avaliadores”. A reprodutibilidade é tipicamente definida como a variação das médias das medições feitas por diferentes avaliadores, utilizando um mesmo instrumento de medição, enquanto medindo uma

característica de uma mesma peça. Isto é frequentemente verdadeiro para instrumentos manuais influenciados pela habilidade do operador. Isto não é verdade, entretanto, para processos de medição (exemplo: sistemas automáticos) onde o operador não é a maior fonte de variação. Por esta razão, a reprodutibilidade é denominada como a variação média entre sistemas, ou entre condições de medição (MANUAL DE REFERÊNCIA MSA, 2010).

R&R

O R&R do dispositivo de medição é uma estimativa da variação combinada da repetitividade e da reprodutibilidade. Dito de outra forma, o R&R é a variância igual à soma das variâncias dentro do sistema e entre sistemas (MANUAL DE REFERÊNCIA MSA, 2010). Como mostra a Equação 1.

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{repe}^2 + \sigma_{repro}^2 \quad (1)$$

Montgomery (2004) diz ser possível planejar estudos da capacidade de um medidor para investigar dois componentes de erro de mensuração, denominados por R&R ou repetitividade e reprodutibilidade. Dessa forma, R&R é uma ferramenta utilizada para análise da variabilidade associada à contribuição da instrumentação, das condições ambientais e dos operadores em determinado processo de fabricação ou de medição. Schissatti (1998) define a variabilidade como a representação da medida de um conjunto de valores reais apresentado por uma característica de qualidade, devido às variações que ocorrem nos parâmetros de entrada.

Para o presente trabalho se fez necessário a escolha do estudo de R&R, pois o intuito do mesmo é verificar se as variações presentes, sendo estas aceitáveis ou não, são devidas, principalmente, aos operadores, ao dispositivo de medição em si ou à interações de ambos.

2.3 MÉTODO DA ANOVA

Um experimento clássico para o estudo de R&R usa a ANOVA de dois fatores. O primeiro fator é a Peça (P) e o outro o Avaliador (A). O modelo estatístico para a variável de resposta, considerando fatores de efeitos fixos é (MONTGOMERY e RUNGER, 2003):

$$x_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K; \quad (2)$$

Na equação (2), μ é a grande média, τ_i é o efeito do i -ésimo avaliador, β_j é o efeito da j -ésima peça, $(\tau\beta)_{ij}$ é o efeito da interação entre o avaliador i e a peça j , e ε_{ijk} é o resíduo, ou erro aleatório normalmente distribuído e com média zero. O resíduo é dado pela equação (3), onde representa o valor esperado para a característica de qualidade. A ANOVA pressupõe observações normalmente e independentemente distribuídas, com idêntica variância para os diferentes níveis dos fatores. Desvios moderados da normalidade não implicam em uma séria violação do pressuposto. (MONTGOMERY, 2001; MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

$$\varepsilon_{ijk} = x_{ijk} - \bar{x}_{ij} \quad (3)$$

O objetivo da ANOVA é testar a hipótese de igualdade das médias ou se os efeitos dos fatores e da interação são iguais à zero. As variâncias devem ser calculadas a partir das somas quadradas dos resíduos. A Soma Quadrática Total (MQT) é dada na equação (4); a Soma Quadrática dos Avaliadores (MQA) é dada na equação (5); a Soma Quadrática das Peças (MQP) é dada na equação (6); a Soma Quadrática da interação entre os Avaliadores e as Peças ($MQAP$) é dada na equação (7); a Soma Quadrática dos Resíduos (MQR) é dada na equação (8). A equação de identidade que associa as Somas Quadráticas acima é dada na equação (9), com número de graus de liberdade (GDL) dado na equação (10), onde o termo do lado esquerdo se refere ao GDL da MQT , e os termos do lado direito se referem ao GDL de MQA , MQP , $MQAP$ e MQR , respectivamente.

$$MQT = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (x_{ijk} + \bar{x}_{...})^2 \quad (4)$$

$$MQA = JK \sum_{i=1}^I (\bar{x}_{i..} - \bar{x}_{...})^2 \quad (5)$$

$$MQP = IK \sum_{j=1}^J (\bar{x}_{.j.} - \bar{x}_{...})^2 \quad (6)$$

$$MQAP = K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\bar{x}_{ij.} - \bar{x}_{i..} - \bar{x}_{.j.} + \bar{x}_{...})^2 \quad (7)$$

$$MQR = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (x_{ijk} - \bar{x}_{ij.})^2 \quad (8)$$

$$MQT = MQA + MQP + MQAP + MQR \quad (9)$$

$$(IJK - 1) = (I - 1) + (J - 1) + (I - 1)(J - 1) + IJ(K - 1) \quad (10)$$

As médias quadráticas de cada fator são dadas pela razão entre as somas quadradas e os GDL dos respectivos fatores. Se o efeito de um fator for significativo, o valor esperado da média quadrática do fator deve ser diferente do valor esperado da média quadrática dos resíduos. O teste F determina se os efeitos do avaliador, da peça e da interação são significativos. Em geral, a interação não deve ser significativa. Neste caso, é recomendável unificar as somas quadradas, somando $MQAP$ à MQR e os graus de liberdade correspondentes. A adição das somas quadradas e o novo número de graus de liberdade geram novos valores para as médias quadráticas e correspondentes valores calculados de F (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Com o cálculo das Somas Quadráticas, pode-se montar a tabela de análise de variância, como apresentada na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Análise de variância (Murray R. S., 1993)

Varição	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F
Avaliadores: MQA	J-1	$\frac{MQA}{J-1}$	$\frac{MQA}{J-1} / \frac{MQR}{JI(K-1)}$
Peças: MQP	I-1	$\frac{MQP}{I-1}$	$\frac{MQP}{I-1} / \frac{MQR}{JI(K-1)}$
Interação: MQAP	(J-1)(I-1)	$\frac{MQAP}{(J-1)(I-1)}$	$\frac{MQAP}{(J-1)(I-1)} / \frac{MQR}{JI(K-1)}$
Erro: MQR	JI(K-1)	$\frac{MQR}{JI(K-1)}$	
Total: MQT	JIK-1		

AIAG (2002) apresenta o cálculo da decomposição da variabilidade de um sistema de medição (SM). A repetitividade ou variação do equipamento é denominada VE . A reprodutibilidade ou variação dos avaliadores é denominada VA . A variação do SM é avaliada pelo cálculo do $R\&R$. A variação total do estudo é denominada de VT . VP é a variação da peça ou processo. A variabilidade de cada fator é comparada com a variabilidade total do SM. A Figura 1 apresenta o cálculo da porcentagem que cada fator consome da variação total do sistema. Os componentes da variação do SM são representados pelo desvio padrão 5,15 sigma, usado por ser de mais fácil interpretação do que a variância. No caso de ocorrer um valor negativo sob a raiz quadrada, a variação do fator correspondente deve ser considerada nula.

Fonte de Variação	Desvio Padrão 5,15 sigma	Percentual da Variação Total
Repetitividade	$VE = 5,15 \times \sqrt{MQR}$	$100 \times VE/VT$
Reprodutibilidade	$VA = 5,15 \times \sqrt{\frac{MQA - MQAP}{IK}}$	$100 \times VA/VT$
Interação P x A	$VAP = 5,15 \times \sqrt{\frac{MQAP - MQR}{K}}$	$100 \times VAP/VT$
Peça	$VP = 5,15 \times \sqrt{\frac{MQP - MQAP}{JK}}$	$100 \times VP/VT$
R&R	$R\&R = \sqrt{(VE)^2 + (VA)^2 + (VAP)^2}$	$100 \times R\&R/VT$
Total	$VT = \sqrt{(R\&R)^2 + (VP)^2}$	

Figura 1: Componentes da variabilidade de um sistema de medição (PEDOTT, A. H.; FOGLIATTO, F. S., 2011).

Segundo Manual de Referência MSA (2010), a técnica ANOVA tem as vantagens de: ser capaz de tratar qualquer estrutura de um experimento, poder estimar as variâncias mais precisamente e extrair mais informações (tal como o efeito das interações entre peças e avaliadores) dos dados experimentais. Devido a isto, tal técnica, com auxílio do software Minitab, foi escolhida para ser aplicada no estudo proposto.

3. DESCRIÇÃO DO CENÁRIO

3.1 FABRICAÇÃO DE RODAS COM CÂMARA

A fabricação de uma roda com câmara envolve os componentes: aro, disco e anel.

A linha de produção de aros recebe os discos, que são provenientes de outra linha produtiva, dentro da mesma fábrica, e após a junção dos dois componentes, através de interferência e solda, a roda é formada.

A fabricação de anéis ocorre numa outra linha de produção, e o mesmo se junta à roda apenas no final de todo o processo, sendo que este vai desmontado em relação ao conjunto. A montagem ocorre apenas quando o pneu é introduzido, mas esse processo não é realizado dentro da empresa em questão.

O dispositivo de medição a ser instalado localizar-se-á no processo final de fabricação do aro, a fim de aumentar o poder de detecção quanto à especificação de batimento (run out), característica essencial na qualidade final do produto.

3.2 FABRICAÇÃO DE AROS COM CÂMARA

A matéria prima que chega para a fabricação de aros com câmara é em formato de bobinas, já na espessura, largura, propriedades mecânicas e metalúrgicas especificados para cada modelo aro. Após o recebimento desse material, o mesmo é cortado em forma de *blanks*, etapa onde o comprimento é controlado para cada diâmetro especificado em projeto, facilitando as próximas etapas de fabricação, eles são decapados quimicamente, a fim de estarem livre de sujeiras ou contaminações.

Com o *blank* cortado na medida certa, os mesmos são submetidos à operação de calandragem, processo que consiste em enrolar uma superfície plana. A próxima etapa consiste na soldagem das pontas, para isso as mesmas são achatadas, para melhorar a qualidade da solda, após esta há a formação de rebarba, que é retirada com o material ainda incandescente.

O próximo processo trata-se de uma expansão, a fim de adequar a circularidade do aro e o diâmetro de acordo com o diâmetro do mandril da primeira máquina de laminação, onde é laminado o canal do *Gutter*. Posteriormente é necessário mais uma expansão, para adequar à circularidade do aro e o diâmetro, de acordo com o diâmetro do mandril das etapas de laminação seguintes, incluindo laminar base, flange e a operação de facear e chanfrar topo, que ocorre entre as etapas de laminação, para retirada de toda imperfeição (excesso de material), evitando a danificação dos rolos de laminação.

A cilindridade e o diâmetro de montagem precisam ser corrigidos e verificados, isso acontece na etapa de comprimir e cilindrar, e é nesse ponto que o dispositivo a ser implantado deverá atuar, como mostra a Figura 3. Após tal verificação, o rasgo de válvula é cortado, o aro é desengraxado e submetido ao acabamento final, através de lixadeiras.

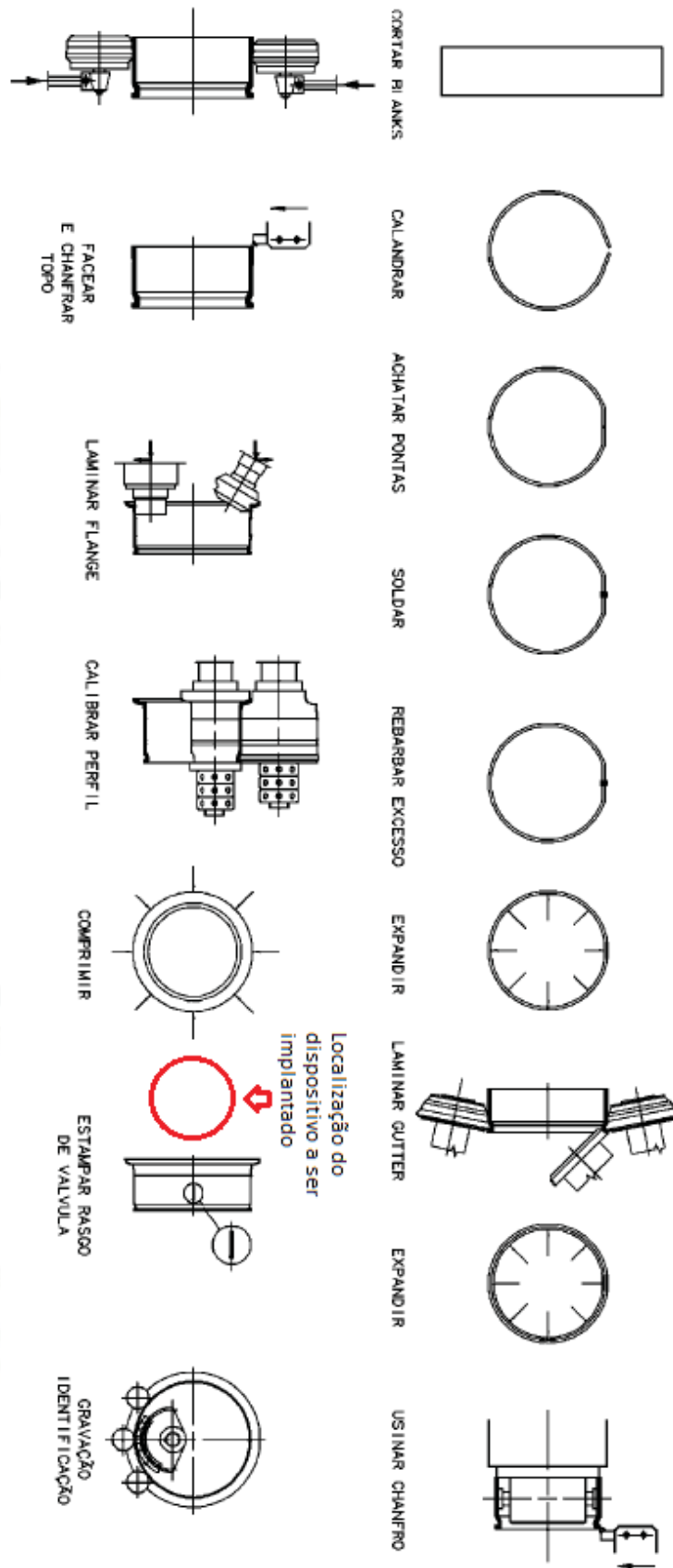


Figura 3: Localização do dispositivo a ser implantado (Maxion Wheels, 2012).

3.3 A CARACTERÍSTICA DE BATIMENTO

A característica de batimento, que é o desvio linear em relação a um eixo, também chamado de *run out*, é de extrema importância na fabricação de rodas, sendo especificada pelo cliente e controlada pelo fabricante. Em casos onde tal característica se encontra fora do especificado, ou seja, um valor demasiadamente alto, já que o limite inferior de especificação é zero, pois não é possível se obter um valor negativo, tendo em vista que tal resultado é demonstrado tomando como zero referencial, o menor valor encontrado (o batimento trata-se de uma variação), as consequências são a alta vibração no veículo e o consumo excessivo de pneu.

As vibrações sempre estão presentes em veículos automotores. Estas vibrações, muitas vezes, se apresentam em amplitudes bastante baixas, tornando sua percepção difícil, porém, em outros casos, tal vibração se torna perceptível, causando desconforto e sendo perturbadora ou inaceitável.

O desconforto causado nos passageiros de veículos não é o único problema das vibrações descontroladas, componentes estruturais de todo o veículo são prejudicados devido a estas, chegando a diminuir a vida útil dos mesmos e podendo levar a riscos de acidente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO

O batimento, na fabricação de aros com câmara, tem de ser controlado em dois pontos, ditos radial, que se dá no sentido do raio, evidenciando a ovalização da roda, e lateral ou axial, no sentido da aba do aro, onde se verifica a altura da mesma durante toda sua extensão. Os pontos a serem controlados são mostrados na Figura 4.

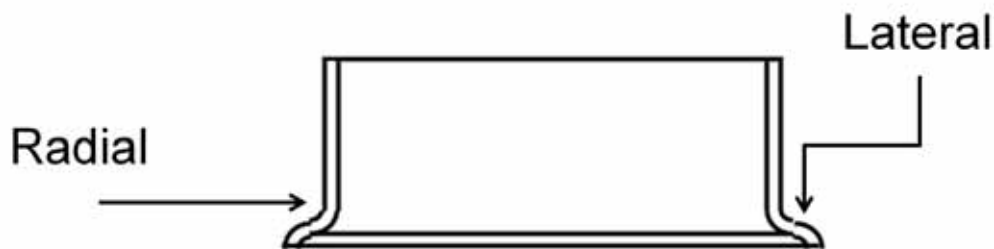


Figura 4: Diferença entre batimento radial e lateral (Fonte: Autor).

O controle dos batimentos é feito através de um dispositivo composto por uma placa expansiva, expandida através de ar comprimido, que englobe a faixa de diâmetro interno dos aros, de modo a fixá-los, e relógios comparadores, cujas características estão ilustradas na Tabela 2.

Tabela 2: Características dos relógios comparadores.

Aplicação	Capacidade	Marca
Radial	0.500/0.001 ''	Mitutoyo
Axial	0.250/0.001 ''	Starret

As Figuras de 5 a 7, mostram o dispositivo de medição utilizado no estudo proposto.



Figura 5: Foto do dispositivo de medição de batimento (Fonte: Autor).



Figura 6: Detalhe do relógio de leitura do batimento radial (Fonte: Autor).



Figura 7: Detalhe do relógio de leitura do batimento lateral (Fonte: Autor).

A medição do batimento é efetuada com o giro completo do aro para verificar qual o ponto de menor valor, feito isso, tal ponto deve ser considerado como referência, zero do relógio. Após mais um giro completo no aro, é possível obter o resultado, que será o maior valor encontrado mostrado no relógio comparador.

O dispositivo permite a leitura dos dois tipos de batimento a serem controlados, porém a medição não deve ser feita simultaneamente, pois o ponto de referência para zerar o relógio pode variar conforme o batimento requerido (radial ou axial), isto é, o ponto de mínimo para o batimento radial, não necessariamente será na mesma posição do ponto de mínimo para o batimento axial.

Os componentes do dispositivo de medição são calibrados periodicamente pelo setor de Metrologia e controlados por códigos numéricos, sendo assim, todo equipamento encontrado dentro da linha produtiva de rodas estará devidamente calibrado e liberado para a utilização de maneira satisfatória.

4.2 SELEÇÕES DE PEÇAS E OPERADORES

As peças foram selecionadas aleatoriamente dentro da linha de produção, utilizando os aros que estavam sendo produzidos no momento do estudo. Foram necessários um total de dez peças, todas do mesmo modelo, características, utilizações e especificações, devidamente codificadas de acordo com as normas do fabricante.

Os aros selecionados foram fabricados em aço, e são utilizados na fabricação de rodas com câmara para caminhões e ônibus, tendo como dimensões 20 polegadas de diâmetro por 7,5 polegadas de largura.

Os operadores que auxiliaram o andamento do estudo efetuando as medições, foram selecionados levando em consideração a capacidade técnica de manusear o dispositivo de medição, sendo assim, os três operadores necessários para o procedimento se encontravam em iguais condições de conhecimento sobre o método de medição e estavam capacitados para utilizar tal dispositivo em suas atividades rotineiras.

Os operadores foram deixados em total condição de liberdade em efetuar as medições, reproduzindo as atividades normais do dia-a-dia. Nenhuma instrução adicional foi passada aos mesmos, a fim de não comprometer os resultados, já que o intuito do trabalho é avaliar a real situação do dispositivo em seu ambiente de trabalho, sem possíveis interferências, que poderiam maquiar tal resultado.

4.3. APLICAÇÃO

A aplicação do estudo ocorreu na linha produtiva de rodas com câmara, antes da operação de corte do rasgo de válvula, na produção dos aros. Utilizou-se o método americano, onde foi necessária a disponibilidade de três operadores capacitados para fazer as medições da característica em estudo e a seleção de dez peças, sendo que cada operador realizou três medições em cada peça. A escolha das peças utilizadas para as medições foi feita de maneira aleatória dentro da linha produtiva, já que se tentou reproduzir o mais próximo possível, o dia-a-dia das operações ocorridas dentro da fábrica.

As medições foram realizadas dentro da própria fábrica, com condições ambientais de luz, vento e temperatura idênticas ao do processo de produção em si. Os operadores fizeram as medições de acordo com a rotina, sem pressões externas ou qualquer tipo de treinamento especial, sendo que tais operadores apresentavam os mesmos quesitos e estavam aptos a fazê-las. A coleta de dados ocorreu com o acompanhamento do setor de Metrologia e com o envolvimento da área de Engenharia da Qualidade.

A ordem de entrada das peças no processo das medições foi feita de maneira aleatória para todos os operadores, para assim evitar erros devido à memorização de valores. Cada operador realizava a leitura de dois valores a cada peça, um devido ao batimento radial, outro devido ao batimento axial, como ocorre normalmente na rotina de trabalho.

A análise dos resultados irá seguir as diretrizes dadas no Manual de Referência MSA, porém deve se observar que tais valores podem ser alterados de acordo com a dificuldade em se medir as características desejadas e a viabilidade de investimentos para alcançar a aceitabilidade, desde que esteja de acordo com o cliente. O Quadro 1 mostra como irá funcionar a aceitação do sistema de medição.

Quadro 1: Aceitação do sistema de medição (MANUAL DE REFERÊNCIA MSA, 2010).

R&R	Classificação	Decisão
Até 10%	Ideal	Aceitável
Entre 10% e 30%	Moderado	Aceitável para algumas aplicações
Acima de 30%	Alto	Inaceitável

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta dos dados, os mesmos puderam ser organizados em tabelas, divididas em operadores e características medidas, para facilitar o estudo. Como podem ilustrar as Tabelas, de 3 a 8.

Tabela 3: Medidas de batimento radial do operador 1.

Operador 1 - Batimento Radial (em polegadas)			
Peça	Medida 1	Medida 2	Medida 3
1	0,045	0,030	0,035
2	0,040	0,035	0,035
3	0,040	0,030	0,025
4	0,045	0,030	0,030
5	0,030	0,025	0,025
6	0,025	0,025	0,025
7	0,035	0,030	0,030
8	0,035	0,035	0,040
9	0,030	0,030	0,030
10	0,035	0,030	0,030

Tabela 4: Medidas de batimento radial do operador 2.

Operador 2 - Batimento Radial (em polegadas)			
Peça	Medida 1	Medida 2	Medida 3
1	0,038	0,035	0,035
2	0,040	0,035	0,040
3	0,020	0,040	0,030
4	0,025	0,030	0,025
5	0,025	0,025	0,025
6	0,025	0,025	0,040
7	0,030	0,030	0,020
8	0,040	0,040	0,035
9	0,028	0,025	0,025
10	0,023	0,035	0,025

Tabela 5: Medidas de batimento radial do operador 3.

Operador 3 - Batimento Radial (em polegadas)			
Peça	Medida 1	Medida 2	Medida 3
1	0,040	0,035	0,035
2	0,040	0,035	0,040
3	0,042	0,035	0,032
4	0,035	0,030	0,030
5	0,025	0,022	0,030
6	0,037	0,030	0,025
7	0,030	0,040	0,032
8	0,040	0,040	0,040
9	0,032	0,030	0,030
10	0,027	0,035	0,035

Tabela 6: Medidas de batimento axial do operador 1.

Operador 1 - Batimento Axial (em polegadas)			
Peça	Medida 1	Medida 2	Medida 3
1	0,025	0,020	0,020
2	0,020	0,025	0,030
3	0,040	0,040	0,025
4	0,035	0,035	0,035
5	0,020	0,020	0,020
6	0,025	0,025	0,020
7	0,035	0,035	0,030
8	0,020	0,030	0,040
9	0,035	0,040	0,040
10	0,035	0,035	0,035

Tabela 7: Medidas de batimento axial do operador 2.

Operador 2 - Batimento Axial (em polegadas)			
Peça	Medida 1	Medida 2	Medida 3
1	0,015	0,015	0,015
2	0,025	0,015	0,025
3	0,035	0,040	0,040
4	0,035	0,040	0,030
5	0,010	0,015	0,010
6	0,020	0,025	0,025
7	0,040	0,030	0,025
8	0,030	0,040	0,035
9	0,045	0,045	0,045
10	0,028	0,035	0,035

Tabela 8: Medidas de batimento axial do operador 3.

Operador 3 - Batimento Axial (em polegadas)			
Peça	Medida 1	Medida 2	Medida 3
1	0,032	0,015	0,030
2	0,030	0,015	0,030
3	0,040	0,030	0,035
4	0,025	0,040	0,035
5	0,015	0,015	0,015
6	0,025	0,025	0,025
7	0,032	0,030	0,025
8	0,032	0,032	0,032
9	0,040	0,035	0,035
10	0,030	0,030	0,032

5.1 BATIMENTO RADIAL

Através dos dados coletados e com o auxílio do software Minitab, foi possível a aplicação da ANOVA, a fim de identificar quais fontes eram significativas, com nível de significância de 0,5%, a Tabela 9 mostra os resultados obtidos.

Tabela 9: ANOVA para Batimento radial

Fonte	Graus de liberdade	Soma Quadrática	Quadrado Médio	F	P
Peças	9	0,0014242	0,0001582	10,7449	0,000
Operador	2	0,0001507	0,0000753	5,1160	0,017
Interação	18	0,0002651	0,0000147	0,6607	0,835
Reptitividade	60	0,0013373	0,0000223		
Total	89	0,0031773			

Como se pode observar, analisando o valor de P, fornecido pelo Minitab, a fonte que se mostrou significativa foi devida às peças, ou seja, há diferença de média entre as peças coletadas. A fim de verificar a contribuição de cada um dos componentes na variação total do sistema, a Tabela 10 foi montada.

Tabela 10: Contribuição das fontes para o batimento radial.

Fonte	Contribuição
Reprodutibilidade	22,02%
Repetitividade	73,85%
R&R	77,06%
Peça a peça	63,73%
Total	100,00%

Verifica-se que há uma grande contribuição devida à repetitividade, sendo esta maior do que a do processo em si (peça a peça). A reprodutibilidade também se apresenta alta, porém ainda abaixo de 30%, mas o valor total do R&R, como visto, está muito acima do aceitável.

A análise gráfica também pôde ser feita, a fim de verificar os resultados obtidos. Com a ajuda do Minitab, os gráficos mostrados na Figura 8 foram construídos.

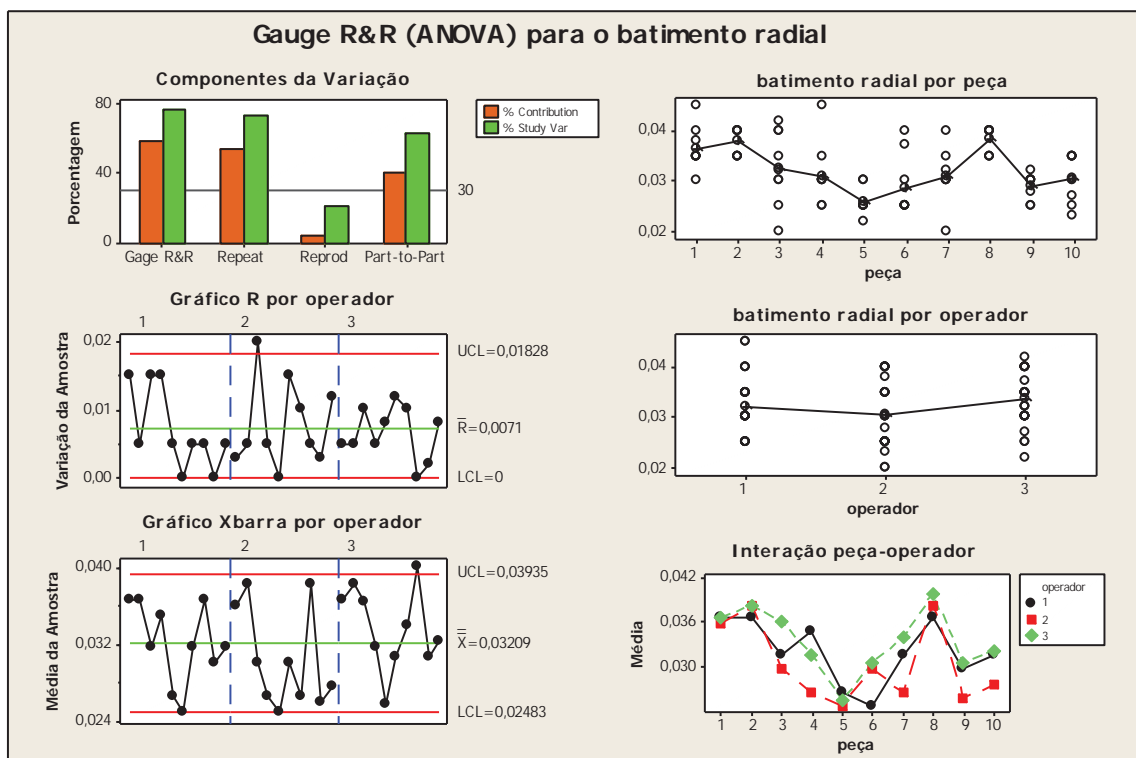


Figura 8: Gráficos para o estudo de R&R para batimento radial (Fonte: Autor).

Componentes da Variação

O gráfico mostra, como já visto anteriormente, que o R&R está acima do aceitável e isso é devido, principalmente, à repetitividade. A linha de 30%, traçada como referência, auxilia nessa análise.

Gráfico R por operador

Observando os pontos, pode se verificar a existência de um ponto que excede o limite superior de controle, isso ocorre durante a terceira peça para o operador dois, indicando que não há repetitividade.

Gráfico Xbarra por operador

Com esse gráfico é possível enxergar que existe um padrão comparável entre os operadores, indicando que a interação entre peça e operador não deve ser significativa. Porém, os pontos não foram para fora dos limites, indicando que a variância do dispositivo é maior que a variabilidade dentro das peças.

Batimento radial por peça

Este gráfico mostra os dados para todas as dez peças, para todos os operadores juntos. Como as peças mostraram grandes amplitudes, há um indicio de que as peças foram mal selecionadas, pois a característica medida não foi clara nas mesmas.

Batimento radial por operador

Esse gráfico mostra se um ou mais operadores têm alguma tendência de medir maior ou menor, portanto o ideal é que haja uma linha horizontal entre os mesmos. Como se vê, isso não ocorre, o operador dois mostrou ter uma tendência de medir menor em relação aos outros operadores.

Interação entre peça e operador

Nesse gráfico se pode ilustrar que em alguns pontos os operadores seguem a mesma tendência, porém em outros há uma grande diferenciação, indicando que é necessário fazer uma investigação sobre o problema, contudo é possível afirmar que não há interação.

5.2 BATIMENTO LATERAL

Analogamente ao batimento radial, o estudo foi feito para o batimento lateral. A Tabela 11 a seguir mostra a aplicação da ANOVA.

Tabela 11: ANOVA para Batimento radial

Fonte	Graus de liberdade	Soma Quadrática	Quadrado Médio	F	P
Peças	9	0,0047927	0,0005325	18,0040	0,000
Operador	2	0,0000145	0,0000072	0,2449	0,785
Interação	18	0,0005324	0,0000296	1,2970	0,222
Repetitividade	60	0,0013673	0,0000228		
Total	89	0,0067069			

Assim como para o batimento radial, nesse estudo se verifica que a fonte que se mostra significativa, para o nível de significância de 0,5%, foi devida às peças. A Tabela 12 mostra a contribuição de cada fonte na variação total do sistema de medição

Tabela 12: Contribuição das fontes para o batimento lateral.

Fonte	Contribuição
Reprodutibilidade	16,72%
Repetitividade	53,06%
R&R	55,64%
Peça a peça	83,09%
Total	100,00%

Analisando os valores obtidos, pode se dizer que o R&R está acima do aceitável, e que isto se dá, principalmente, devido à repetitividade.

A Figura 9, mostram os gráficos obtidos, com auxílio do Minitab, para o batimento lateral.

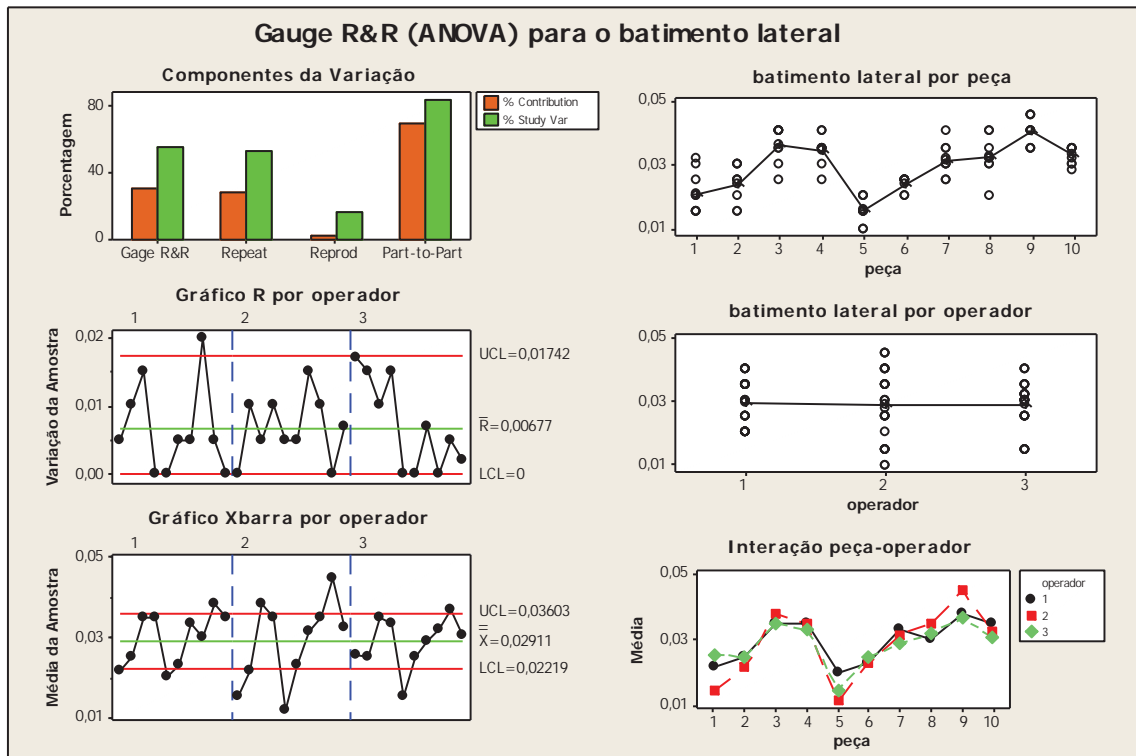


Figura 9: Gráficos para o estudo de R&R para batimento lateral (Fonte: Autor).

Componentes da Variação

Esse gráfico confirma que o R&R está acima do aceitável, e que isso se deve principalmente à repetitividade.

Gráfico R por operador

Observando os pontos, pode se verificar a existência de um ponto que excede o limite superior de controle, isso ocorre durante a oitava peça para o operador 1, indicando que não há repetitividade.

Gráfico Xbarra por operador

Com esse gráfico é possível enxergar que existe um padrão comparável entre os operadores, indicando que a interação entre peça e operador não deve ser significativa. Há um maior número de pontos fora do limite superior de controle, quando comparado com o mesmo gráfico do batimento radial, mostrando que a variabilidade do dispositivo, nesse caso, foi menor, porém ainda inaceitável.

Batimento radial por peça

Apesar das peças demonstrarem uma menor amplitude, quando comparadas com o mesmo gráfico do estudo anterior, as mesmas ainda não constituem o ideal, pois houve variação. Porém a variação entre peças foi maior, mostrando que a seleção das mesmas foi feita de maneira satisfatória.

Batimento radial por operador

Esse gráfico mostra se um ou mais operadores têm alguma tendência de medir maior ou menor, portanto o ideal é que haja uma linha horizontal entre os mesmos. Como é visto, a linha formada não é horizontal, mas está muito próxima disso, indicando que não há diferença significativa entre os operadores.

Interação entre peça e operador

Nesse gráfico se pode verificar que os operadores seguem uma tendência, apesar de haverem pontos incomuns. Isso significa que existem pontos a serem investigados, porém não se pode afirmar que há interação entre peça e operador.

5.3 ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

Como visto nos itens anteriores, tanto o estudo para o batimento radial quanto para o lateral, se mostraram inaceitáveis, a fim de melhorar os resultados obtidos, decidiu-se investigar as possíveis causas de tal distorção. Para isso foi feito um *brainstorm* junto às equipes envolvidas, que no caso foram, a engenharia de qualidade, metrologia e linha de produção.

O primeiro problema detectado se diz quanto às leituras dos operadores, que na realidade buscavam valores que não variavam conforme a escala dos relógios. Por exemplo, o operador 1 fez as leituras utilizando valores que variavam a cada 0,005 polegadas, enquanto que os relógios são capazes de fazer leituras que variem a cada 0,001 polegadas.

Outro ponto importante foi devido ao método de leitura executado pelos operadores, dito quanto ao modo de zerar os relógios, fato que na realidade não ocorre. Os operadores preferem fazer a soma das leituras mentalmente, isto é, ao invés de zerar os relógios no menor

ponto, para obter o zero como referência, eles memorizam o valor que estiver no menor ponto, e fazem o cálculo levando isso em consideração. Exemplificando, se o menor ponto de leitura se dá com o valor em 0,020” negativos (que corresponde à 0,080” com o ponteiro girando no sentido anti-horário), e o maior se dá à 0,015, se diz que o valor do batimento é de 0,035. Tal método utilizado pode causar erros não satisfatórios.

A sujeira instalada durante a medição, também é um fator importante. Por se tratar de uma indústria pesada, onde as utilizações de lubrificantes e graxas se fazem necessário, além da alta incidência de cavaco durante o processo produtivo, essa é difícil de ser controlada, chegando a causar interferências nas medições. A Figura 10 mostra o acúmulo de sujeira que ocorre no dispositivo de medição.



Figura 10: Acúmulo de sujeira no dispositivo de medição (Fonte: Autor).

A velocidade com que o aro é girado para a medição também pode influenciar de maneira negativa os dados obtidos, pois por se tratar de instrumentos analógicos, a visualização dos ponteiros, com os mesmos variando de maneira excessivamente rápida, é dificultada.

A fixação do braço do dispositivo que fixa os relógios é móvel, o que pode causar distorções nas leituras dependendo do posicionamento do mesmo, qualquer mudança de direção desse, alterará o valor da leitura feita. A Figura 11 ilustra a situação em que a medição esta sendo efetuada.



Figura 11: Posicionamento do braço com os relógios no momento da leitura (Fonte: Autor).

Como se vê na Figura 12, esse braço não contém nenhum tipo de travamento, podendo se movimentar devido a qualquer toque durante as medições.



Figura 12: Movimentação do braço dos relógios (Fonte: Autor).

Com a obtenção dessas informações foi possível a construção de um diagrama de causa e efeito, como pode ser visto na Figura 13.

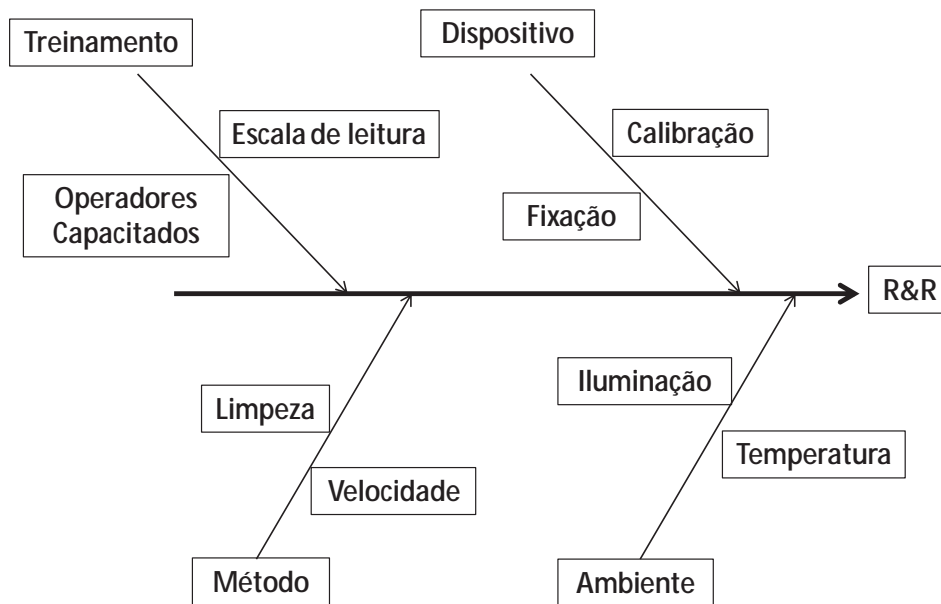


Figura 13: Diagrama de causa e efeito (Fonte: Autor).

Com a análise verificou-se que todos os operadores envolvidos eram igualmente capazes de efetuar as medições e estavam habituados a fazê-las na rotina de trabalho. Quanto à calibração dos equipamentos, é garantido que todo instrumento de medição que circula dentro da fábrica sob um número de registro, está calibrado e liberado pelo setor de metrologia para atuar suas funções de maneira desejável dentro da empresa, que é o caso dos relógios utilizados no estudo.

O ambiente em que se encontra o dispositivo, tem as mesmas características que todo o processo produtivo em si, com iluminação adequada conforme solicitação do setor de Segurança Industrial, e temperatura dentro do desejável, sendo que esta última não influencia quanto ao tamanho da peça, já que se trata de produtos robustos e o batimento mede uma variação.

Com essas prévias feitas eliminaram-se então algumas das possíveis causas do problema, restando apenas os erros quanto à escala de leitura dos operadores, sujeira, velocidade de giro na medição e fixação do equipamento. Porém esse último é de difícil acessibilidade, pois seria necessária a mudança estrutural do dispositivo de medição, então se

decidiu atuar nas outras causas para verificar se existe melhora nos dados a serem trabalhados, como mostra a Figura 14 .

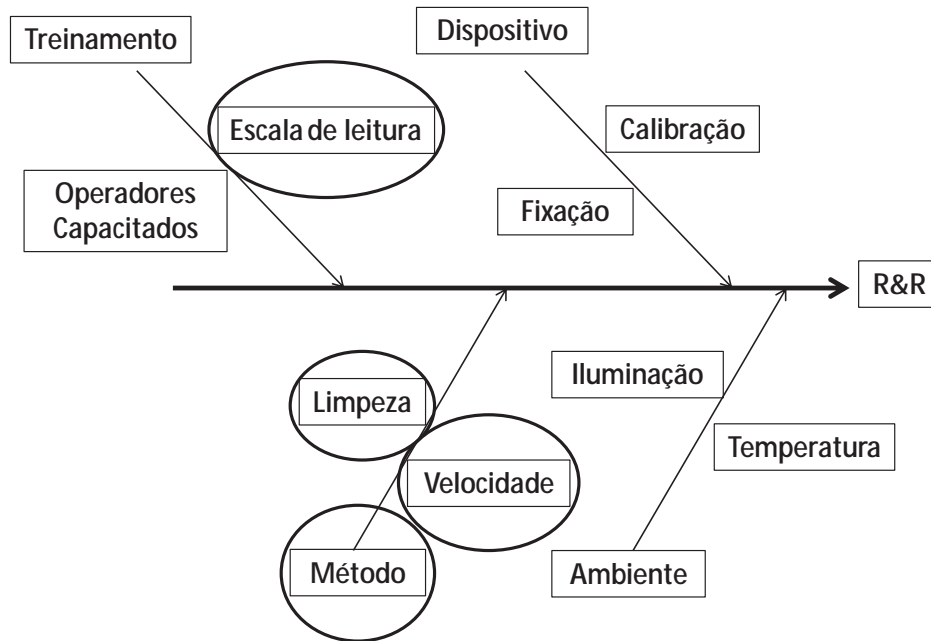


Figura 14: Diagrama de causa e efeito destacando as mudanças propostas (Fonte: Autor).

As mudanças propostas foram a limpeza tanto dos aros, quanto do dispositivo de medição em si, que inclui a placa expansiva e os relógios, já que estes estão em contato direto com as peças, a utilização de uma velocidade de giro mais baixa, apesar dessa não poder ser quantificada, e a instrução para leitura correta dos relógios, o que corresponde à zerar o aparelho no menor valor, para este ser a referência, além de fazer medidas levando em consideração a capacidade total do mesmo, ou seja, leituras com 0,001 polegadas de variação.

5.4 AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS PROPOSTAS

Para avaliar se as mudanças propostas foram satisfatórias, isto é, proporcionou uma melhora no resultado do R&R total do sistema de medição, um novo estudo foi feito. Porém devido à falta de tempo disponível na linha de produção, foi necessário utilizar o método curto, em que são precisos dois operadores e cinco peças, sendo que cada uma dessas é medida duas vezes por cada avaliador.

As medições foram feitas pela equipe da engenharia da qualidade, durante o horário de almoço da linha produtiva, para não comprometer a mesma quanto à produtividade e alcance de metas. Os dados obtidos foram organizados de maneira similar ao estudo anterior e estão expostos nas Tabelas de 13 a 16.

Tabela13: Medidas de batimento radial do operador 1.

Operador 1 - Batimento Radial (em polegadas)		
Peça	Medida 1	Medida 2
1	0,038	0,037
2	0,023	0,026
3	0,030	0,036
4	0,025	0,024
5	0,033	0,038

Tabela 14: Medidas de batimento radial do operador 2.

Operador 2 - Batimento Radial (em polegadas)		
Peça	Medida 1	Medida 2
1	0,038	0,037
2	0,022	0,026
3	0,030	0,035
4	0,028	0,025
5	0,033	0,030

Tabela 15: Medidas de batimento axial do operador 1.

Operador 1 - Batimento Axial (em polegadas)		
Peça	Medida 1	Medida 2
1	0,036	0,031
2	0,029	0,025
3	0,035	0,032
4	0,023	0,028
5	0,040	0,032

Tabela 16: Medidas de batimento axial do operador 2.

Operador 2 - Batimento Axial (em polegadas)		
Peça	Medida 1	Medida 2
1	0,034	0,030
2	0,028	0,027
3	0,033	0,033
4	0,022	0,025
5	0,039	0,031

Com os dados foi possível verificar a contribuição de cada componente para a variação total do sistema de medição, para isso o software Minitab foi utilizado. Como o intuito desse tópico é demonstrar o resultado das melhorias implantadas, o detalhamento dos métodos de cálculos não foi ilustrado, já que se trata do mesmo utilizado nos itens anteriores. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 17 e 18 .

Tabela 17: Contribuição das fontes para o batimento radial após as melhorias propostas.

Fonte	Contribuição
Reprodutibilidade	0,00%
Repetitividade	37,62%
R&R	37,62%
Peça a peça	92,66%
Total	100,00%

Tabela 18: Contribuição das fontes para o batimento lateral após as melhorias propostas.

Fonte	Contribuição
Reprodutibilidade	0,00%
Repetitividade	55,56%
R&R	55,56%
Peça a peça	83,15%
Total	100,00%

Pode se ver que os resultados obtidos continuam fora do limite de aceitabilidade, porém houve uma melhora significativa nos resultados, portanto, as mudanças proposta levaram a melhorias no sistema de medição.

Os resultados também foram analisados graficamente para ambos os tipos de batimento. A Figura 15 mostra os gráficos para o estudo feito sobre o batimento radial.

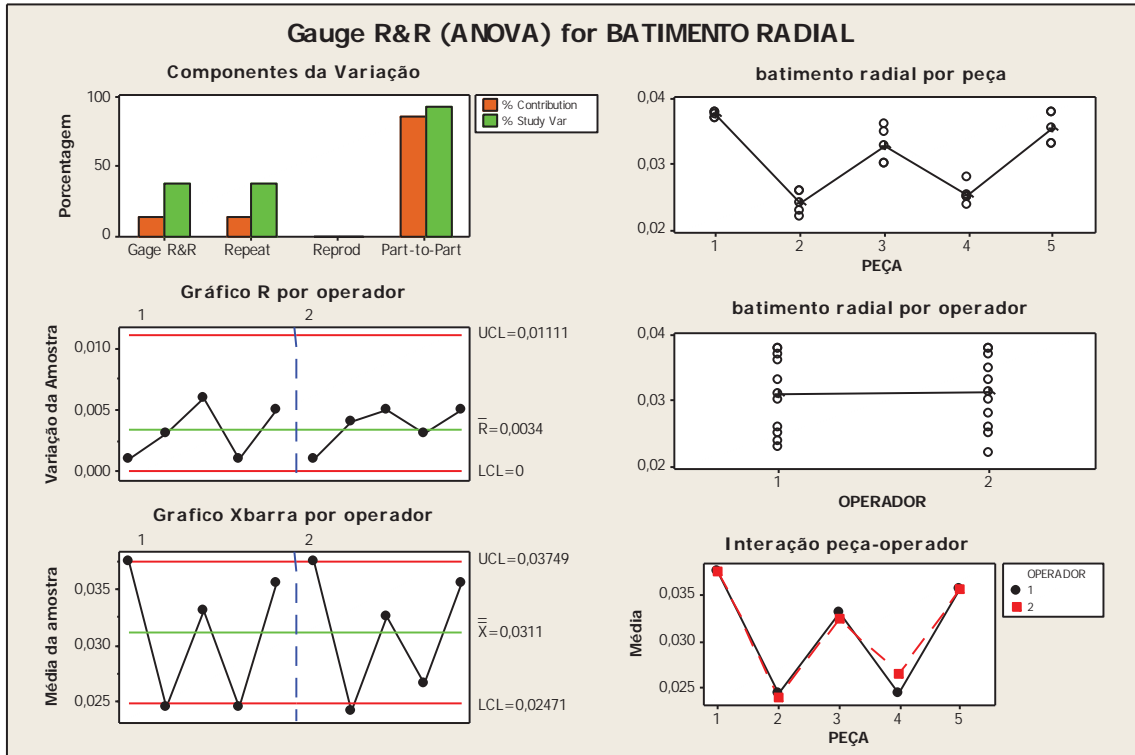


Figura 15: Gráficos para o estudo de R&R para batimento radial método curto (Fonte: Autor).

Componentes da Variação

Esse gráfico confirma que o R&R está acima do aceitável, apesar de ter tido uma melhora significativa. Verifica-se também que toda a variação é devida à repetitividade.

Gráfico R por operador

Observa-se que todos os pontos estão dentro do limite superior de controle, assim essa análise e o operador são considerados repetíveis..

Gráfico Xbarra por operador

O gráfico mostra que houve um padrão de comparação entre os avaliadores, porém todos os pontos se encontram dentro dos limites de controle, o que significa que a variabilidade do dispositivo é alta.

Batimento radial por peça

Com esse gráfico é possível observar que a variação entre peças foi bem menor, quando comparado com o estudo antes das melhorias, também se verifica que as mesmas variaram bastante entre si, mostrando que a seleção das peças foi feita de maneira satisfatória, chegando a atingir três categorias distintas.

Batimento radial por operador

O gráfico mostra que a linha formada entre os operadores está bem próxima de ser horizontal, mostrando que os operadores não têm tendências a medir valores maiores ou menores entre si.

Interação entre peça e operador

Pode se verificar que os operadores seguem a mesma tendência, apenas no ponto quatro existe uma pequena diferença, porém é possível afirmar que não há interação entre operador e peça.

A Figura 16 ilustra os gráficos obtidos para o estudo sobre batimento lateral.

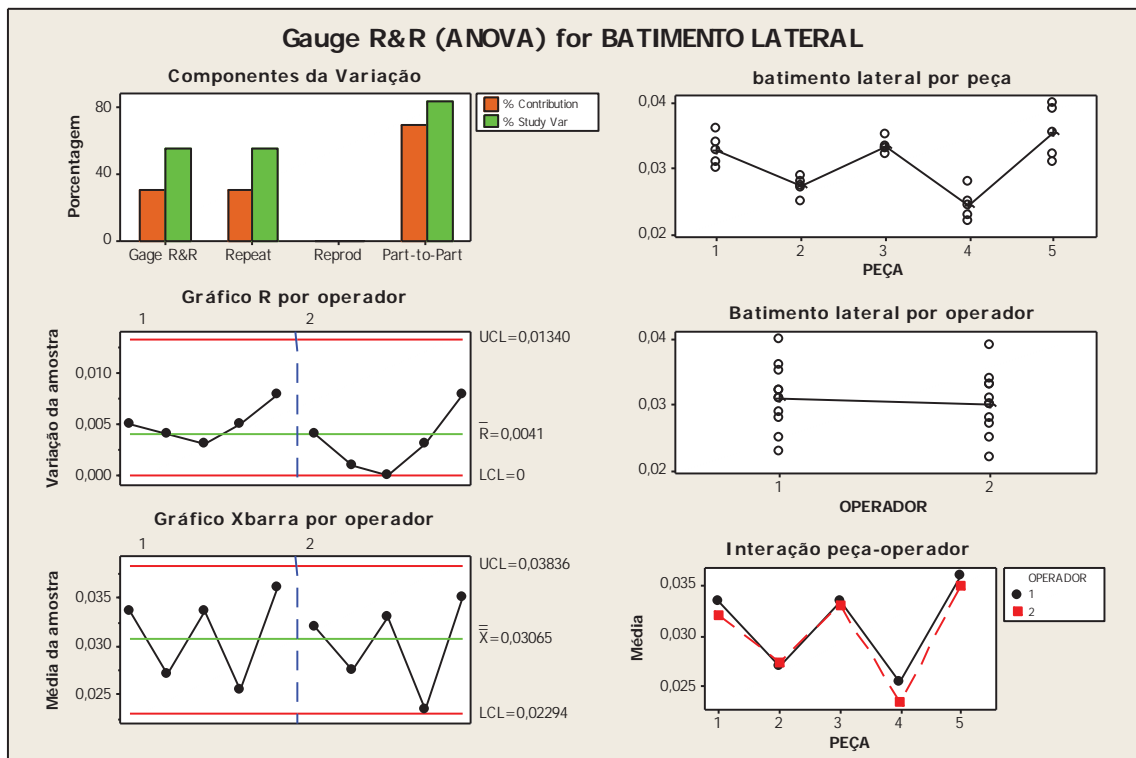


Figura 16: Gráficos para o estudo de R&R para batimento lateral método curto (Fonte: Autor).

Componentes da Variação

Apesar de ter havido uma pequena melhora nos resultados, o valor do R&R continua fora do aceitável. Verifica-se também que toda a variação é devida à repetitividade.

Gráfico R por operador

Assim como para o batimento radial, observa-se que todos os pontos estão dentro do limite superior de controle, assim essa análise e o operador são considerados repetíveis..

Gráfico Xbarra por operador

O gráfico mostra que houve um padrão de comparação entre os avaliadores, porém todos os pontos se encontram dentro dos limites de controle, o que significa que a variabilidade do dispositivo é alta, fato que também ocorreu para o batimento radial.

Batimento radial por peça

Com essa gráfico verifica-se que a peça número cinco apresentou uma maior variação, porém no geral as peças apresentaram menor variação quando comparadas com o estudo feito antes da implementação das mudanças.

Batimento radial por operador

O gráfico mostra que a linha formada entre os operadores tem uma pequena caída, significando que o operador dois tem uma leve tendência em medir menor quando comparado com o operador um.

Interação entre peça e operador

Pode se verificar que há a mesma ocorrência que houve para o estudo do batimento radial, os operadores seguem a mesma tendência, apenas no ponto quatro existe uma pequena diferença, porém é possível afirmar que não existe interação entre operador e peça.

6. CONCLUSÃO

De um modo geral os objetivos propostos pelo trabalho foram alcançados, trazendo resultados relevantes dentro do aspecto industrial e demonstrando a importância da análise de sistemas de medição antes da implantação de um dispositivo, evitando assim desperdícios, como tempo e mão de obra, em operações que não representam resultados pertinentes.

A aplicação do estudo dentro de uma linha produtiva de rodas foi feita de maneira satisfatória, apesar do resultado do mesmo não apresentar conclusão igual, ou seja, verificou-se que o sistema de medição analisado não é aceitável dentro dos parâmetros propostos no presente trabalho, para ambas as características de batimento, radial e axial.

As mudanças aplicadas para a melhoria do sistema de medição se mostraram capazes de tal efeito, porém não o suficiente para adequar o mesmo às condições desejáveis que se buscavam. Deve-se atentar para a fixação do braço que contém os relógios apalpadores, possível causa do problema, apontado no presente trabalho, porém, uma avaliação mais complexa quanto ao mesmo não pôde ser feita.

6.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se para futuros trabalhos uma análise das mudanças propostas utilizando o método longo, isto é, com três operadores e dez peças, sendo que cada operador realiza a medição de cada peça três vezes, resultando num total de 90 dados, bem como a construção de um novo diagrama de causa e efeito, utilizando equipes multidisciplinares, a fim de indicar outros possíveis problemas dentro do sistema.

Outra proposta seria a aquisição de um aparelho denominado *gage check* para ser implantado na linha de produção, porém o alto investimento necessário e a alta sensibilidade do equipamento devem ser considerados, já que a utilização dar-se-á em uma indústria pesada e robusta.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CERCAL, A.J.; ZVIRTS, L.; CORTIVO, N.D. Sistemática para a análise de sistemas de medição (MAS): estudo aplicado em uma empresa fornecedora de produtos para a indústria automotiva. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXIX, 2009, Salvador.

COSTA, F.B; EPPRECHT, E.; CARPINETTI, L.C.; Controle Estatístico de Qualidade; São Paulo: Editora Atlas S.A., 2004.

DETONI, D.; BALESTRASSI, P. P.; BARCA, L. F. Arthur e Arthura Antropometria Ltda - Aplicação Didática para aprendizado de repetitividade e reprodutividade em um contexto seis sigma. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXIII, 2003, Ouro Preto.

FOIATTO, N.; DA JORNADA, D. H.; WERNER, L. Tomadas de decisões mais confiáveis na área da saúde: um estudo de R&R na medição de oximetria de pulso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVIII, 2008, Rio de Janeiro.

IQA. Análise de sistemas de medição – MSA, Manual de referência Instituto da Qualidade Automotiva, 2. ed., São Paulo: IQA., 2004.

MANUAL DE REFERÊNCIA AIAG - Automotive Industry Action Group Manual, (2003).

MANUAL DE REFERÊNCIA MSA – Análise dos Sistemas de Medição, 4ª edição, 2010.

MONTGOMERY, C., D.; Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade; 4ªEd. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 2004

MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiment. New York John Wiley and Sons, 2001.

MONTGOMERY, D.C.&RUNGER, G.C.Applied Statistics and Probability for Engineers (3rd ed.). New York: John Wiley, 2003

MURRAY, R. S. Estatística, 3ª edição. São Paulo: Makron books, 1993.

PEDOTT, A.H.; FOGLIATTO, F.S. Estudo de repetitividade e reprodutibilidade para dados funcionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXI, 2011, Belo Horizonte.

PIZZOLATO, M. ; CATEN, C.S.T. Comprovação metrológica de empresas na região metropolitana de porto alegre. Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM). 2003. Recife, Pernambuco, Brasil

ROTONDARO, Roberto G. (Coord.) et al. Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2002.

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

SLACK, N.; CHAMBERS S.; HARLAND C.; HARRISON A.; JOHNSTON R. Administração da produção. São Paulo. Editora Atlas S.A. 2006. 526 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

THIOLLENT, M. Metodologia da Pesquisa Ação. São Paulo: Atlas, 1997

VIM. Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia. Portaria INMETRO nº 029 de 1995 / INMETRO, SENAI - Departamento Nacional. 5. ed. Rio de Janeiro: Ed. SENAI, 2007. 72p.; 21 cm. ISBN 978-85-99002-18-6 72p.

WERKEMA, M. C., Avaliação da Qualidade de Medidas, 1º ed., Belo Horizonte: FCO, 1996.