

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO NO SETOR
DE USINAGEM DE UMA EMPRESA METAL
MECÂNICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Carla Hartmann Sturm

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO NO SETOR DE
USINAGEM DE UMA EMPRESA METAL MECÂNICA**

POR

Carla Hartmann Sturm

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Produção**.

Orientador (a): Morgana Pizzolato, Dra.

Santa Maria, RS, Brasil

2015

ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO NO SETOR DE USINGEM DE UMA EMPRESA METAL MECÂNICA

CARLA HARTMANN STURM (UFSM)

carlasturm@hotmail.com

MORGANA PIZZOLATO (UFSM)

morganapizzolato@ufsm.br

O presente artigo visa utilizar uma metodologia de Análise dos Sistemas de Medição (MSA), para verificar a qualidade dos sistemas de medição no setor de usinagem de uma empresa metal mecânica de médio porte. O estudo de caso abordou três etapas, iniciando com uma caracterização de todos os instrumentos de medição, planejamento, coleta e análise dos dados e por fim foram propostas ações de melhorias. O estudo demonstrou que, é possível aplicar a MSA no setor de usinagem, e o sistema de medição em questão apresenta alguns problemas. Para os quais a implantação das ações de melhoria sugeridas, é o primeiro passo para melhorar o uso do sistema de medição. As ações necessitam ser inseridas de forma cultural buscando qualidade e melhoria contínua, sendo capaz de diminuir custos e aumentar a qualidade e a produtividade da empresa.

Palavras-chave: ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO; USINAGEM; METAL MECÂNICA

This article deals with the use of the Measurement Systems Analysis (MSA) methodology to verify the applicability of the analysis of measurement systems of a manufacturing industry in a medium size company, located in Santa Maria, RS. The case studies addressed three stages, starting with a characterization of all measuring instruments, planning, collection and analysis of data and finally were proposed improvement actions. The study showed that it is possible to apply the MSA in the manufacturing industry, but it turns out that the implementation of the suggested improvement actions, is the first step to improve the use of the measuring system. Actions need to be inserted cultural form seeking quality and continuous improvement, being able to reduce costs and increase the quality and productivity of the company.

Keywords: MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS; MANUFACTURING; MECHANICAL METAL

1 Introdução

Nos dias de hoje, em função do crescimento do mercado competitivo e o aumento das exigências dos consumidores, as organizações buscam cada vez mais a melhoria contínua e a qualidade em seus processos produtivos (SILVA; KOVALESKI; GAIA, 2012). Vale ressaltar que qualidade é fundamental para o crescimento das empresas e também é um requisito básico exigido pelo consumidor final em qualquer processo (MAINARDES; LOURENÇO; TONTINI, 2010).

Assim, para uma empresa permanecer no mercado, atender as exigências do cliente e produzir produtos de qualidade, ela deve buscar sistemas e metodologias que visam à adequação e melhoria de todo e qualquer processo (AMARAL et al., 2011). Define-se que um produto de alta qualidade é aquele que apresenta conformidade com as especificações (MONTGOMERY, 2009). Dessa forma, pode-se dizer que a qualidade está diretamente ligada ao processo de medição, pois esse permite verificar, medir e avaliar se o produto está em conformidade com as especificações. Assim, o processo de medição é o responsável por comprovar que a grandeza medida está conforme os requisitos solicitados pelo cliente, por meio do uso de métodos ou instrumentos de medição (DUARTE Jr., 2008).

O processo de medição envolve instrumentos de medição, padrões, operações, métodos, pessoal e ambiente, os quais são utilizados para obter medições. O que, segundo AIAG (2010), configuram um sistema de medição. Além disso, o sistema de medição está presente em diversas indústrias. Um exemplo está em empresas do ramo metal mecânico, que na sua grande maioria possuem um setor de usinagem, no qual são fabricados produtos de precisão e alto valor agregado que necessitam de sistemas de medições para quantificar as medidas dos produtos.

Caso o produto não esteja em conformidade, as consequências geradas são insatisfação do cliente, retrabalho, custos e menor lucratividade, dentre outras. Por esses motivos, faz necessário garantir que o sistema de medição esteja adequado e garanta o resultado da medição, pois

Os sistemas de medição estão sujeitos a diversas fontes de variação que podem prejudicar a confiabilidade dos resultados, podendo levar uma decisão errada quanto a qualidade do produto. Então, como garantir que o sistema de medição utilizado pela empresa é adequado? Como saber se os instrumentos de medição utilizados são adequados para o uso pretendido? É viável aplicar a análise dos sistemas de medição em empresas de médio porte?

Através da Análise de Sistema de Medição (MSA) é possível quantificar a variabilidade do sistema de medição o que permite ao gestor verificar a adequação dos instrumentos de medição para o uso pretendido o que também indica a capacidade dos mesmos de fornecer resultados confiáveis (AIAG, 2010).

Deste modo, objetivo geral desse trabalho é avaliar a qualidade dos sistemas de medição no setor de usinagem de uma empresa metal mecânica de médio porte. Com os objetivos específicos busca-se identificar uma metodologia para aplicação do MSA e propor melhorias no setor de estudo.

Este trabalho está estruturado em seções sendo que na seção 1 tem-se a introdução, na seção 2 o referencial teórico com conceitos de Qualidade do produto, Sistema de medição e Análise do sistema de medição – MSA, posteriormente a seção 3 com os procedimentos metodológicos, apresentando a metodologia adotada para realizar a pesquisa e por fim, após a seção 4 dos resultados do estudo de caso da análise do sistema de medição e por fim a conclusão do trabalho.

2 Referencial teórico

2.1 Qualidade do produto

O conceito de qualidade relacionado a produção de bens de uma organização teve sua origem há milênios de anos atrás (COSTA et al., 2013). Nos últimos anos, a principal definição de qualidade está associada à satisfação do cliente com a adequação ao uso do produto (CARPINETTI, 2012).

Deming (1993) afirma que a qualidade é definida pelo ponto de vista do cliente. Entretanto, para Juran (2011), os principais significados da qualidade do produto são características que atendem às necessidades do consumidor e a ausência de deficiências. Crosby (1994) define qualidade como conformidade com os requisitos, sendo esses mensuráveis através da precisão das medidas.

Feigenbaum (1994) define a qualidade do produto como um conjunto de características de engenharia e de manufatura que determinam o grau com que o produto em uso irá satisfazer as necessidades do cliente. Assim, pode-se dizer que para produzir bens com qualidade, o produto deve estar em conformidade e atendendo as especificações exigidas pelo usuário (COSTA, 2014).

De acordo com Slack et al. (2013, p. 416), "qualidade é a conformidade consistente com as expectativas dos clientes". O mesmo autor ainda comenta que a qualidade é medida por meio de características do produto do tipo variáveis e/ou atributos. Variáveis são aquelas que podem ser medidas quantitativamente (comprimento, diâmetro, altura, etc.). Já os atributos são avaliados por julgamento, também nominadas características qualitativas.

A avaliação da qualidade do produto baseada em variáveis envolve apenas características quantitativas sendo assim, é essencial o uso de dispositivos e equipamentos de medição para conferir o valor exato da medida característica (PALADINI, 2009).

Uma forma de garantir a conformidade e as especificações do produto no âmbito industrial é através de técnicas baseadas em conceitos estatísticos (POSSO; ESTORILIO, 2009). Segundo Montgomery (2009), para analisar problemas da qualidade e melhorar o desempenho dos processos de produção são usadas, em geral, três técnicas: o controle estatístico de processo, o planejamento de experimentos e a amostragem de aceitação.

Fernandes (2011) afirma que a qualidade depende da normalização e da metrologia e que não há qualidade se não houver medição dos atributos-chave. Assim, pode-se dizer que a metrologia é o fundamento do controle de qualidade industrial o que contribui com o sistema de medição de forma que ele seja capaz de assegurar que as medições efetuadas sejam precisas e confiáveis (ISO; UNIDO, 2009).

2.2 Sistema de medição

Para o desenvolvimento e crescimento das empresas manufatureiras é necessário qualidade e confiabilidade do produto, fatores que dependem da análise e padronização do processo de medição (SILVA NETO, 2012). A cultura metrológica é considerada uma estratégia para que as empresas possam crescer, aumentando produtividade e a qualidade dos produtos, redução de custos e eliminação de desperdícios (INMETRO, 2012a).

Para INMETRO (2012b), o sistema de medição é um conjunto de um ou mais instrumentos de medição que fornecem as informações dos valores medidos, dentro de intervalos especificados. Entretanto, para AIAG (2010), o sistema de medição é um processo para obter medições que é composto de instrumentos de medição, padrões, operações, métodos, pessoal e ambiente. É possível observar que a primeira referência foca nos equipamentos de medição e a segunda no processo de medição como um todo.

O processo de medição quantitativo está sujeito a algumas fontes de variação, e alguns fatores responsáveis por essa variabilidade são: desgaste de componentes do instrumento de medição,

posição em que o item é colocado no aparelho de medição; condições ambientais, falta de treinamento dos operadores e falta de calibração do dispositivo de medição (WERKEMA, 2006).

Na indústria, para realizar medições da grandeza comprimento, os instrumentos básicos mais utilizados são: micrômetros, paquímetros e relógios comparadores (MITUTOYO, 2015). Suga (2007) apresenta alguns fundamentos e princípios básicos sobre esses instrumentos de medição.

O micrômetro é um instrumento portátil, com capacidade de ler até 1 μ m (micrômetro) sendo muito utilizado em empresas do setor metal mecânico. Pode ser do tipo analógico ou digital, externos, internos e de profundidade e é utilizado para medir elementos planos e paralelos, diâmetros externos, largura, espessura e profundidade. Os paquímetros são instrumentos de medição de fácil operação, durabilidade e baixo custo. São capazes de realizar medidas externas, internas e de profundidade em diversos elementos. Por fim, os relógios comparados são instrumentos de medição utilizados para avaliar condições como desvio circular ou transferência de altura em comparações com dimensões padrão. Esse tipo de medição é denominado medição por comparação. Vale ressaltar que a exatidão das medidas fornecidas por esses instrumentos depende também de quem realiza a medição.

Em síntese, os instrumentos de medição têm como objetivo principal adquirir dados de medição das partes produzidas para decidir sobre sua qualidade com foco em atendimento as especificações. Esses dados de medição podem ser utilizados de diversas maneiras, segundo o AIAG (2010), dentre seus usos estão os estudos estatísticos que orientam um melhor entendimento dos processos produtivos e sua consequente melhoria.

Os estudos estatísticos também permitem avaliar o grau de confiabilidade dos dados gerados pelo sistema de medição e são a base para a tomada de decisões, por isso a importância do estudo e da avaliação estatística dos dados de medição nas empresas (MENEZES, 2013).

Na indústria de transformação, um dos estudos estatísticos utilizado é a Análise do Sistema de Medição, o método MSA, que verifica a qualidade do sistema de medição através de propriedades estatísticas relacionados com as medidas obtidas com os instrumentos de medições (REITZ, 2009).

2.3 Análise do sistema de medição– MSA

A Análise do Sistema de Medição – MSA (*Measurement Systems Analysis*) é uma metodologia estatística que permite estudar e analisar as condições de operação de um sistema

de medição, analisar o seu comportamento e oferecer aumento da confiança e certeza dos dados obtidos (LIMA; FERREIRA; BARBOSA, 2010). O sistema de medição deve ser considerado um processo que possui elementos como operadores, método, dispositivos de medição, ambiente e medição.

Para analisar o sistema de medição, foi desenvolvido o Manual de referência por um Grupo de Trabalho de Análise do Sistema de Medição, aprovado por diversas companhias do setor automotivo e patrocinado pelo *Automotive Industry Action Group* (AIAG). O sistema de medição pode ser do tipo de variáveis ou atributos e replicáveis e não replicáveis (AIAG, 2010).

Portanto, o objetivo do MSA é avaliar a qualidade do sistema de medição e verificar se o mesmo é adequado e capaz de controlar determinado processo ou produto (GONÇALVES et al., 2014).

A escolha do sistema de medição pode ser de acordo com a importância de determinar a rejeição ou não do processo ou produto, o que está relacionado com a criticidade que os mesmos apresentam (AIAG, 2010). De acordo com AIAG (2010), para analisar o sistema de medição, é necessário que sejam executados os seguintes passos:

- 1) Identificar o problema: definir de forma clara as questões do sistema de medição, como a variação de medição e da sua contribuição no processo.
- 2) Identificar a equipe: o número de membro irá depender da complexidade do sistema de medição, podendo envolver no máximo 10 membros.
- 3) Fluxograma do sistema de medição e do processo: verificar os fluxogramas existentes e analisar as informações sobre o sistema.
- 4) Diagrama de causa e efeito: a equipe deve averiguar diagramas existentes sobre o sistema de medição e identificar as possíveis variáveis que contribuem ao problema.
- 5) Planejar – Fazer – Estudar – Agir (PDSA): usar como guia para planejar os experimentos, coletar os dados, estabelecer a estabilidade e gerar as hipóteses.
- 6) Solução possível e comprovação da correção: documentar e registrar a tomada de decisão e validar a solução encontrada para o sistema de medição.
- 7) Institucionalizar a mudança: aplicar as modificações necessárias para o problema não mais ocorrer.

Os sistemas de medição de variáveis replicáveis podem ser analisados quanto a estabilidade, tendência, linearidade e repetibilidade, reprodutibilidade. Conforme AIAG (2010), estabilidade é a variação total das medidas obtidas do sistema de medição em uma única peça ou peça padrão ao longo do tempo o que fornece a variação da tendência no decorrer do tempo.

A tendência, de acordo com INMETRO (2012b, p.22) é a “estimativa de um erro sistemático” que é a medida do erro encontrado em um sistema de medição. E a linearidade é a diferença da tendência ao longo do tempo de operação esperada do equipamento de medição (WERKEMA, 2006).

E por fim, a repetibilidade, é a variabilidade “do operador”, variação obtida por um único operador, utilizando o mesmo dispositivo de medição e método enquanto medindo uma mesma peça. Já reprodutibilidade é variabilidade “entre operadores” a qual pode ser definida como a variação das médias realizadas por diferentes operadores, com o mesmo dispositivo de medição, medindo a mesma característica de uma única peça (AIAG, 2010). Assim, de acordo com Portal Action (2015), a repetibilidade e reprodutibilidade (R&R), “é a soma das variações devido à falta de Repetitividade e Reprodutibilidade”.

Segundo Werkema (2006), esses estudos podem gerar ações como: critério para aceitar novos dispositivos de medição, base para avaliar um dispositivo considerado deficiente, nível de aceitação para um processo de produção e a probabilidade maior de aceitar uma peça com o valor verdadeiro.

O detalhamento de cada estudo do sistema de medição de variáveis replicável é apresentado nas seções subsequentes.

3 Metodologia

Esta pesquisa foi realizada no setor de usinagem de uma empresa metal mecânica, de médio porte, localizada na cidade de Santa Maria, RS. A empresa tem o foco de produção no setor industrial agrícola, fabricando helicóides e equipamentos afins. O processo de usinagem para a fabricação dos produtos utiliza operações como faceamento, desbaste, aplainamento e roscamento em cilindros de aço laminado. O fluxograma do processo produtivo é apresentado na Figura 1.

O setor possui cinco tornos convencionais, duas fresas universais, uma chaveteira e dois tornos de Controle Numérico Computadorizado (CNC) e conta com nove colaboradores. A principal peça produzida é a ponteira (eixo escalonado) que tem como função fornecer sustentação e precisão para o movimento do conjunto helicóide.

Além disso, o componente (ponteira) garante o encaixe do rolamento e o alinhamento do conjunto utilizado pela indústria de movimentação de grãos em colheitadeiras, carretas graneleiras e abastecedoras de fertilizantes.

Portanto, para alcançar os objetivos e verificar qualidade do sistema de medição na empresa em questão, esta pesquisa apresenta uma metodologia de natureza aplicada, uma pesquisa prática realizada que permite a análise e soluções dos problemas enfrentados pela empresa.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é de forma descritiva e explicativa. Uma pesquisa descritiva, pois será conduzido um entendimento sobre o sistema de medição adotado pela empresa, onde serão descritas as suas características envolvendo uma técnica padronizada para a coleta de dados (MIGUEL, 2010). E explicativa, porque visa demonstrar o método de análise do sistema de medição e com isso identificar os fatores que determinam a forma com que o sistema de medição ocorre (RAMOS, 2009). A abordagem do trabalho é quantitativa, pois utiliza recursos estatísticos, mostrando através de informações numéricas uma análise e solução para o problema (LAKATOS; MARCONI, 2011).

Em relação ao procedimento, o presente trabalho é classificado como estudo de caso, método que envolve a seleção da amostra, determinação do procedimento para a coleta e análise dos dados e um modelo para interpretação (GIL, 2009). Assim, é um trabalho que envolve uma pesquisa intensa e permite um amplo detalhamento sobre o problema.

Para realizar a pesquisa foram realizadas as etapas apresentadas na sequência.

Etapa 1 – Caracterização dos instrumentos de medição do setor: nessa etapa foi realizado um levantamento dos instrumentos de medição (IM) existentes na usinagem, verificando os tipos, quantidade, a resolução dos IM, a situação de operação em que se encontram e as tolerâncias que eles devem medir. Essa etapa contempla os passos 1 a 4 da metodologia apresentada por AIAG (2010).

Etapa 2 – Planejar a coleta de dados, realizar a coleta e a análise dos dados: com base na metodologia de análise dos sistemas de medição (AIAG, 2010) foi realizado o planejamento para a coleta de dados, a coleta propriamente dita e a análise estatística dos dados coletados. Essa etapa contempla parte inicial do passo 5 da metodologia AIAG (2010).

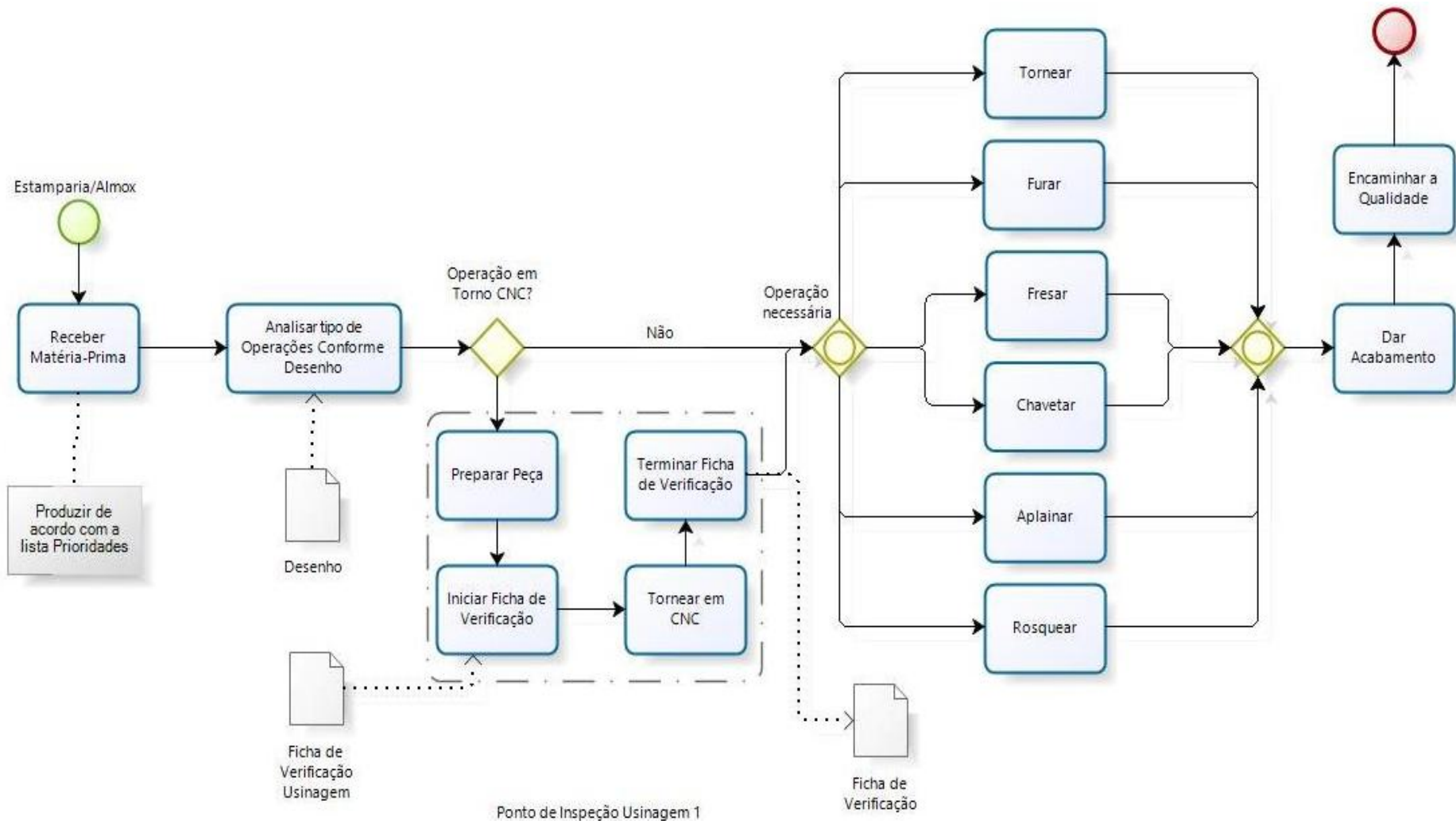


Figura 1 - Fluxograma do processo
 Fonte: Elaborado pela autora (2015)

Etapa 3 – Propor melhorias no sistema de medição: depois de analisar os dados coletados concluir a respeito do sistema de medição e propor ações de melhoria. Essa etapa contempla a parte final do passo 5 da metodologia AIAG (2010).

Os passos 6 e 7 da metodologia AIAG (2010) não serão executados nessa pesquisa, em função do prazo de tempo e do grau de maturidade da empresa em relação ao tema.

4 Resultados e discussão

Os resultados e a discussão são apresentados de acordo com as etapas da metodologia apresentadas na seção 3. Sendo assim, inicialmente foi realizada uma caracterização dos instrumentos de medição (IM) no setor de usinagem da empresa. Isso aconteceu por meio de conversa com os operadores do setor onde foi possível identificar os tipos, a resolução, a faixa de medição e as quantidades de IM utilizados por cada um. Essas informações são resumidamente apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização dos instrumentos de medição

Tipo de IM	Faixa de medição (mm)	Resolução (mm)	Quantidade
Paquímetro digital	0-150	0,01	8
	0-200	0,01	1
Paquímetro analógico	0-150	0,05	8
	0-200	0,05	2
	0-300	0,02	1
	0-500	0,02	1
Micrômetro digital	0-25	0,001	1
	25-50	0,001	3
	50-75	0,001	3
	75-100	0,001	1
Micrômetro analógico	0-25	0,01	1
	75-100	0,01	1
	100-125	0,01	1
	125-150	0,01	1
Total			33

Fonte: Elaborado pela autora (2015)

Assim, de acordo com a Tabela 1, são utilizados no setor de usinagem da empresa 33 instrumentos de medição de diferentes faixas e resoluções. Desse total, apenas sete estão com a calibração em dia, o restante ou está com a calibração atrasada (10) ou nunca foram calibrados (16), contudo todos os IM estão em operação. Como apresentado na seção 2.2, os instrumentos de medição devem estar calibrados para ser realizada a análise do sistema de medição. Entretanto, a empresa, no momento, não possui recursos financeiros suficientes para manter em dia a calibração de todos os IM da fábrica.

Para a produção das peças, o setor possui cinco tornos convencionais, duas fresas universais, uma chaveira e dois tornos de Controle Numérico Computadorizado (CNC). Em observação e em conversa com os colaboradores e o encarregado do setor, ficou claro que os tornos CNC são responsáveis pela maior produção do setor.

Além de possuírem alta produtividade, os tornos CNC produzem as peças mais críticas do processo em relação à complexidade e exigências do cliente (a ponteira). Em observação no setor e conforme dados fornecidos pela empresa foi possível identificar que no mês de setembro a empresa teve R\$ 4.000,00 de prejuízo com as peças refugadas por problemas dimensionais. Portanto, a fabricação das ponteiras é o principal processo do setor da usinagem, conseqüentemente, possui a maior necessidade de ser conhecido, dominado e adequado.

Além disso, de acordo com o encarregado do setor de qualidade, cerca de 5% do total das peças produzidas nos tornos CNC são completamente descartadas por defeitos de fabricação e por problemas dimensionais. Os tornos CNC são as únicas máquinas da usinagem que operam durante todo o horário de trabalho (8h48min por dia em cinco dias da semana). Quando as tolerâncias não são indicadas na cota, o desenho fornece uma tabela com essa informação a qual é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Tolerâncias admissíveis quando não indicado

Grau de tolerância (DIN7168)	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000	4000 a 8000
Fina	± 0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	-
Média	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3
Grossa	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5

Fonte: DIN 7168 (1991)

Levando em consideração todos os aspectos mencionados, a aplicação do estudo foi realizada com os equipamentos de medição utilizados pelos operadores (denominados Operador A e Operador B) dos tornos CNC, os quais sempre utilizam os mesmos instrumentos de medição.

Dos 33 IM da usinagem, 11 são utilizados nos tornos CNC, os quais são do tipo paquímetro e micrômetro digital. Desses foi realizada a MSA nos mais utilizados, sendo: dois paquímetros digitais (denominados Paquímetro 1 e 2), com faixa de medição de 0 a 150 mm e com resolução de 0,01 mm e dois micrômetros digitais (denominados Micrômetro 1 e 2) na faixa de medição de 25 a 50 mm e resolução com 0,001mm. Destaca-se que os micrômetros não estão calibrados e apenas os paquímetros digitais estão com a calibração em dia.

Para realizar o planejamento da coleta de dados (Etapa 2) foram levados em consideração os estudos a serem conduzidos: estabilidade, tendência, linearidade e RR conforme definidos por AIAG (2010). Vale ressaltar que as análises estatísticas foram realizadas no *software* de estatística gratuito *Action* e os resultados são apresentados conforme a saída fornecida pelo *software Action*.

Outro ponto importante na realização dos estudos é a definição dos valores de referência das peças padrão, os quais foram estabelecidos por meio de uma máquina de medição tridimensional de um laboratório da UFSM, cuja resolução é 0,0005 mm. Os relatórios das medições dessas peças são apresentados nos Anexos A e B.

4.1 Estudo de Estabilidade

O objetivo desse estudo é avaliara interação sistema de medição com o meio ambiente, o desgaste dos componentes e o ajuste dos dispositivos e sensores (PORTAL ACTION, 2015a). A falta de estabilidade pode ser relacionada com a falta de calibração, desgaste e/ou obsolescência dos instrumentos de medição, instrumentos de baixa qualidade, calibração inadequada e manutenção precária (AIAG, 2010).

Para determinar a estabilidade dos sistemas de medições deve-se escolher uma peça padrão, determinar seu valor de referência e medi-la ao longo do tempo com o instrumento de medição do estudo. Para registro dos dados coletados foi elaborado um formulário com informações de data, horário, operador e equipamento de medição. A coleta dos dados para o estudo de estabilidade ocorreu a cada dois dias de trabalho em diferentes horários durante 13 semanas (ver Apêndices A e B). A análise da estabilidade pode ser realizada utilizando as cartas de controle de \bar{X} (média) e da R (amplitude) ou cartas da \bar{X} e do s (desvio padrão). A análise foi realizada pelos dois pares de cartas de controle, entretanto não houve diferença nos resultados da estabilidade, por isso são apresentadas neste trabalho as análises baseadas nas cartas da \bar{X} e R .

Um sistema de medição é considerado com boa estabilidade quando não apresenta causas especiais (AIAG, 2010). Para este estudo foram consideradas causas especiais pontos fora dos limites de controle superior e inferior nas cartas da média e da amplitude. Nas figuras subsequentes são apresentadas as cartas de controle da \bar{X} e R para os sistemas de medição analisados.

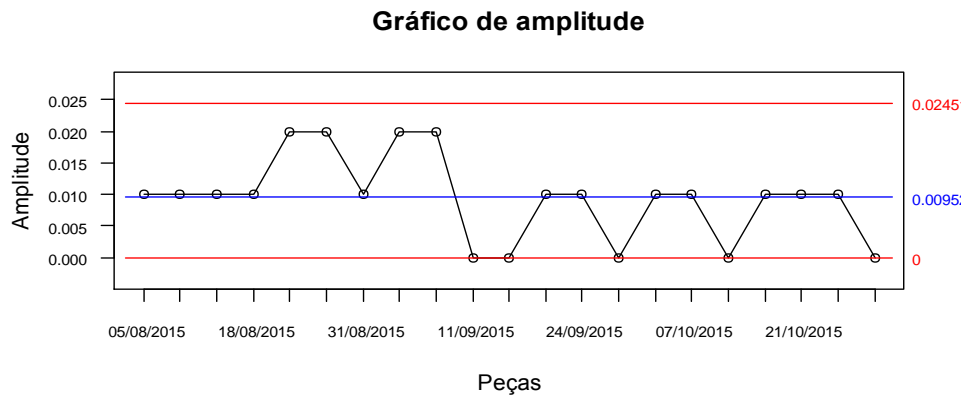
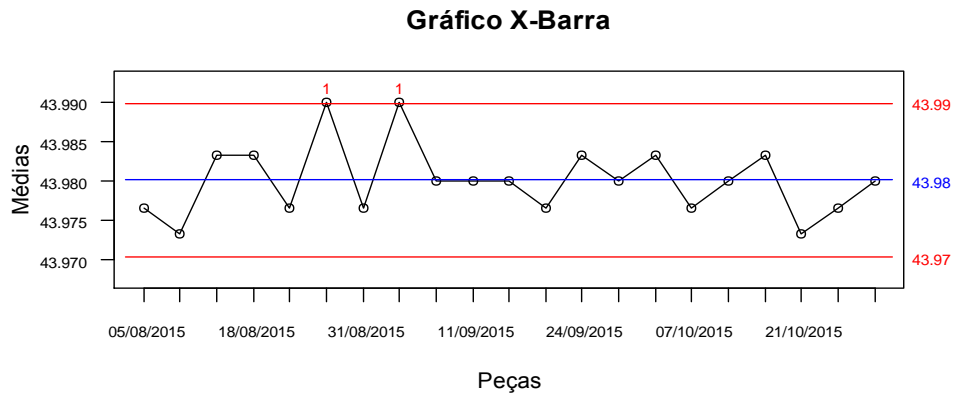


Figura 2 – Cartas de controle de \bar{X} e R Paquímetro 1 e Operador A (Fonte: Action (2015))

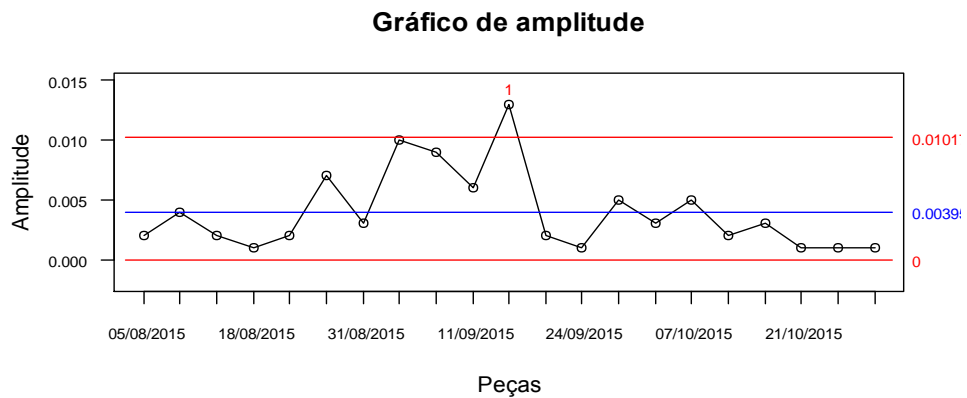
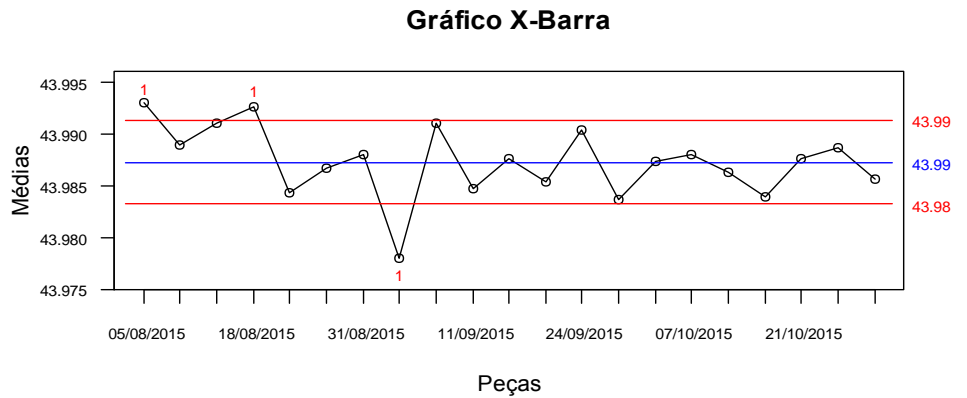


Figura 3 – Cartas de controle da \bar{X} e R do Micrômetro 1 e Operador A (Fonte: Action (2015))

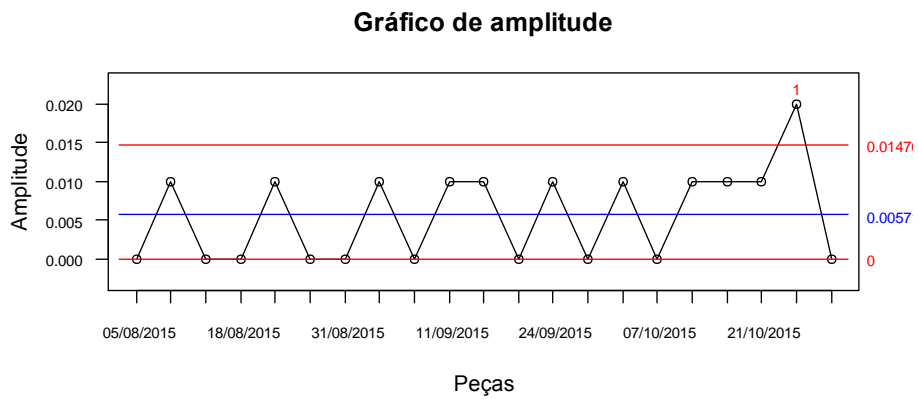
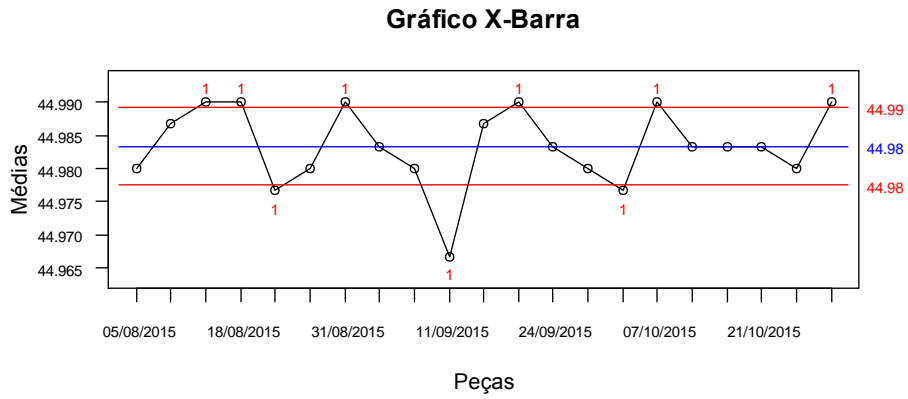


Figura 4 – Cartas de controle de \bar{X} e R Paquímetro 2 e Operador B (Fonte: Action (2015))

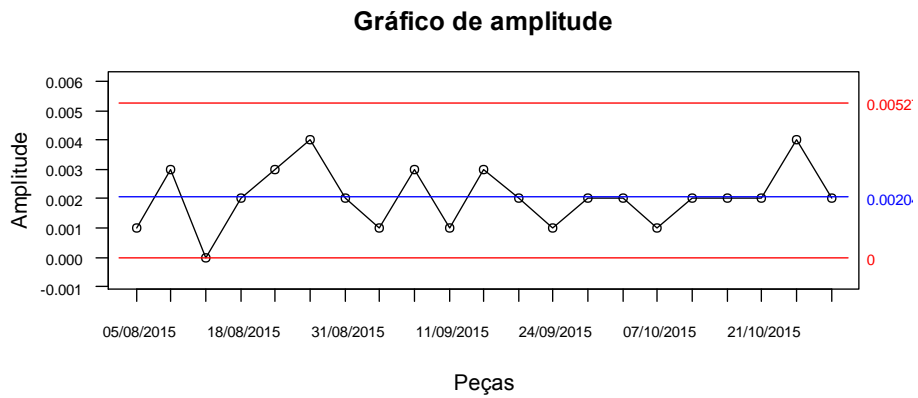
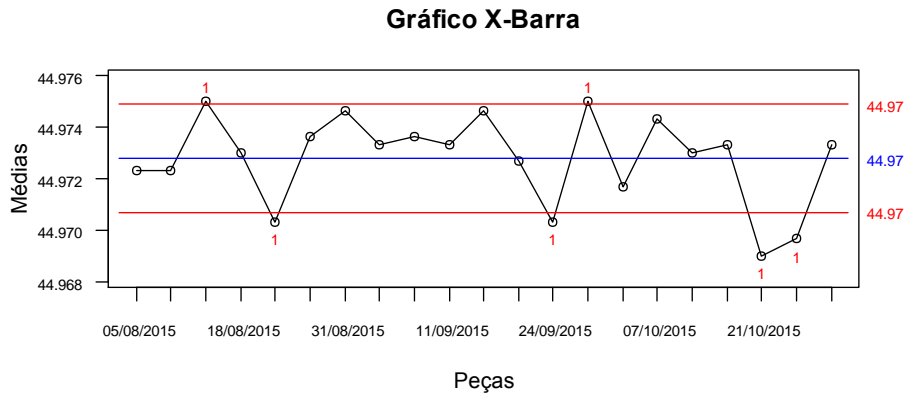


Figura 5 – Cartas de controle de \bar{X} e R Micrômetro 2 e Operador B (Fonte: Action (2015))

Analisando os gráficos das Figuras 2 a 5 é possível observar que todos os sistemas de medição têm problemas de estabilidade, pois existem pontos acima ou abaixo dos limites de controle tanto nas cartas da média quanto nas cartas da amplitude. Esse resultado pode indicar que a calibração dos instrumentos de medição não está mantida, que o instrumento de medição está com desgaste excessivo (pela idade do instrumento), há falta manutenção ou limpeza e ainda há desfavoráveis condições ambientais.

No caso do sistema de medição Paquímetro 2 e Operador B (Figura 4), além de pontos fora dos limites de controle, a carta da amplitude apresenta mais de 30% das amplitudes iguais a zero o que, de acordo com Portal Action (2015c), indica evidência de que o instrumento de medição não tem resolução adequada para esta medição.

De acordo com AIAG (2010), se os sistemas de medição não apresentam estabilidade adequada, a partir da identificação das causas, deve-se estabelecer ações corretivas e então, repetir o estudo de estabilidade até que se obtenha o resultado desejado. Entretanto, em virtude do tempo e do objetivo dessa pesquisa, a análise dos sistemas de medição foi continuada com os estudos de tendência e linearidade apresentada na seção 4.2.

4.2 Estudo de tendência e linearidade

Tendência é a diferença entre um valor de referência e a média observada das medições (AIAG, 2010). E, a linearidade mede a variação da tendência para diferentes valores de referência na faixa de interesse (POTAL ACTION, 2015d).

Problemas de tendência e linearidade têm como causas prováveis: desgaste, falta de calibração e/ou calibração vencida do instrumento de medição, manutenção precária, falta de habilidade do operador, fadiga e condição ambiental inadequada (AIAG, 2010).

Para conduzir o estudo foram selecionadas cinco peças ($g \geq 5$) cujas medidas atendem a faixa (25 a 50 mm) e determinou-se seus valores de referência. Em seguida, o operador que utiliza o instrumento de medição mediu cada peça 12 vezes. Os dados coletados foram registrados num formulário e são apresentados nos Apêndices C e D.

A análise da tendência e da linearidade acontece a partir da construção de um gráfico entre os dados dos valores de referência e os valores medidos. Com os pontos medidos é obtido, por meio da análise de regressão linear, um modelo com seu respectivo intervalo de confiança. Por meio da análise do gráfico, um sistema de medição é considerado bom para a linearidade quando a linha de tendência zero estiver completamente contida dentro do intervalo de confiança construído (AIAG, 2010). Já para a tendência, além de observar a dispersão dos

pontos no gráfico, também deve-se analisar o percentual da repetibilidade (VE%), o qual é considerado aceitável para valor iguais ou inferiores a 10% (AIAG, 2010). A VE% é calculada pelo *software* e apresentada em forma de tabela de dados.

A análise da primeira coleta de dados apresentou resultados duvidosos o que levou ao questionamento sobre sua qualidade e conseqüentemente foi realizado uma segunda coleta. Na nova coleta foram tomados cuidados adicionais em relação a qualidade dos dados. Os dados da segunda coleta são apresentados nos Apêndices E e F.

Nas Figuras 6 e 7 e na Tabela 3 a seguir, são apresentados os gráficos que permitem analisar a linearidade de cada sistema de medição com a respectiva tabela gerada pelo *Action* que fornece subsídios para a análise da tendência.

Sendo assim, é possível visualizar os resultados da análise estatística para a linearidade e tendência da seguinte forma: Figura 6- sistema de medição Paquímetro 1e Operador A; Figura 7 - Micrômetro 1 e Operador A; Figura 8- Paquímetro 2 e Operador B; Figura 9- Micrômetro 2 e Operador B.

Em nenhum dos quatro gráficos de linearidade a linha da tendência zero ficou dentro do intervalo de confiança para a grande parte dos valores de referência dos sistemas de medição analisados. Como mencionado anteriormente, isso indica problemas na linearidade do sistema de medição. Um sistema tem uma linearidade adequada quando sua tendência é a mesma ao longo da faixa do sistema de medição, essa situação poderia levar a linha de tendência zero a ficar dentro do intervalo de confiança.

Também deve-se analisar o contexto da aplicação desses sistemas de medição observando os cinco pontos utilizados para analisar a linearidade (25, 30, 40, 45 e 49 mm). Para esses pontos, as tolerâncias são aquelas apresentadas na Tabela 2, sendo que até 30 mm é de $\pm 0,2$ mm e acima é de $\pm 0,3$ mm. As tendências ao longo da faixa de medição apresentaram valores entre - 0,02 e + 0,04 mm (Tabela 3). Essa questão indica que, mesmo que estatisticamente os valores de linearidade não estejam adequados, tecnicamente, isso não seja problema. Para decidir melhor a respeito do sistema de medição é necessário prosseguir com os estudos.

Ainda observando os gráficos da linearidade é possível verificar que a dispersão dos dados é diferente nos cinco valores de referência e nos quatro sistemas de medição. Uma dispersão grande está relacionada a problemas de repetibilidade que também é analisado observando o valor do VE% como será comentado na sequencia.

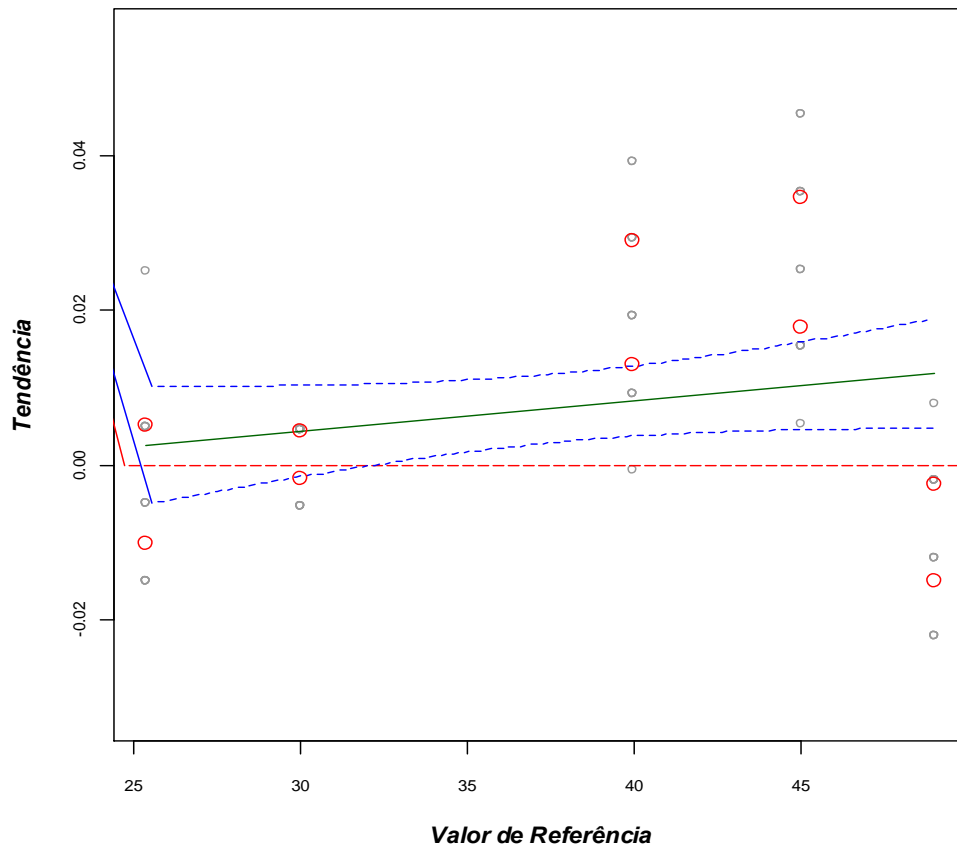


Figura 6 – Gráfico da linearidade Paquímetro 1 e Operador A (Fonte: Action (2015))

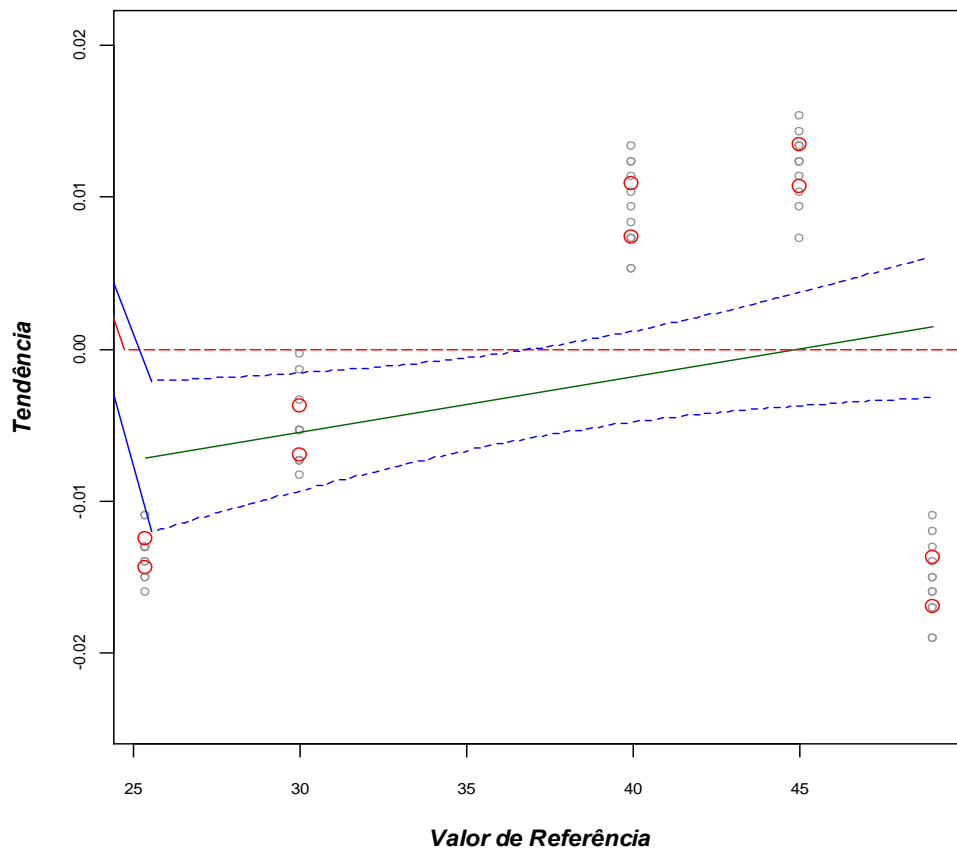


Figura 7 – Gráfico da linearidade Micrômetro 1 e Operador A (Fonte: Action (2015))

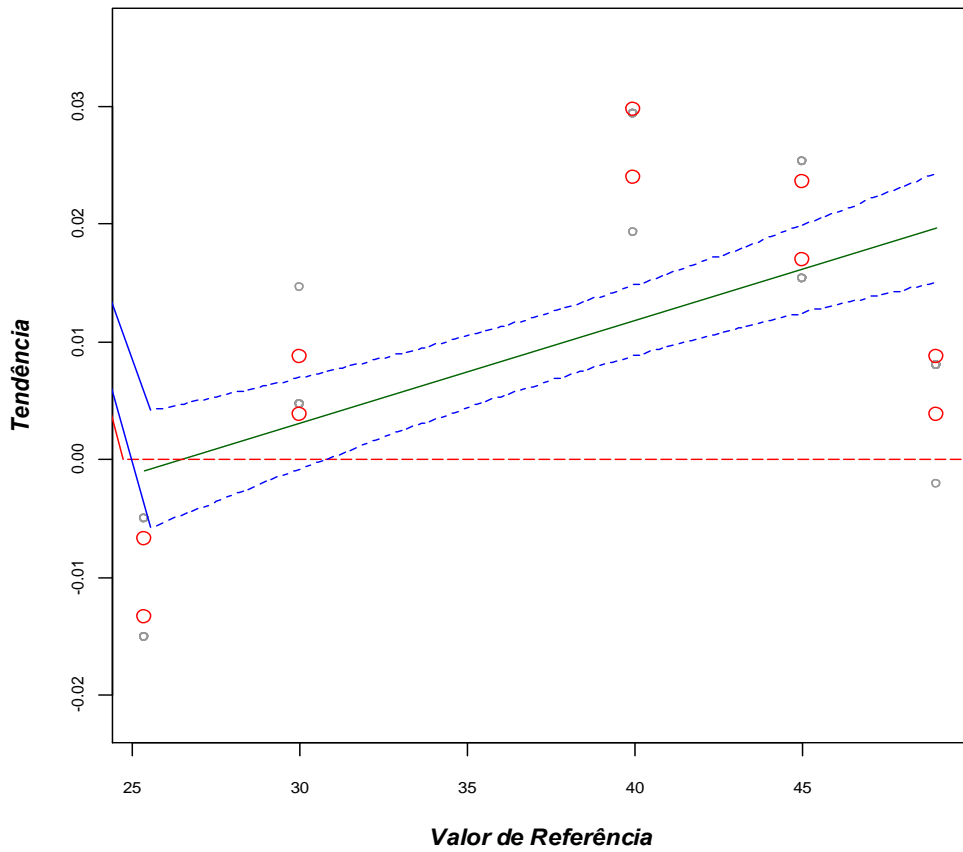


Figura 8 – Gráfico da linearidade Paquímetro 2 e Operador B (Fonte: Action (2015))

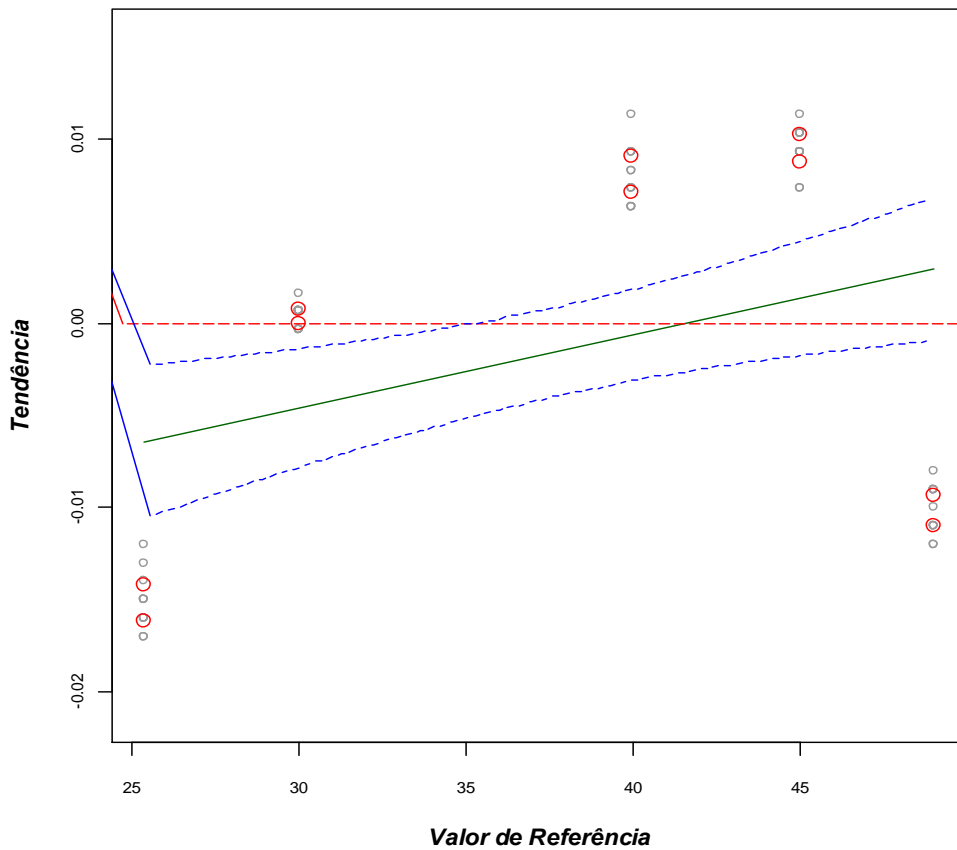


Figura 9 – Gráfico da linearidade Micrômetro 2 e Operador B (Fonte: Action (2015))

Em relação a tendência deve-se analisar a Tabela 3 para os quatro sistemas de medição em estudo. Como recomendado por AIAG (2010) a tendência pode ser considerada adequada para valores de VE% até 10%. Com exceção do sistema de medição Paquímetro 1 e Operador A, todos os outros tem valores de VE% para os cinco valores de referência inferiores a 10%, como pode ser observado na coluna “VE%” da Tabela 3. Esse mesmo sistema de medição possui dois pontos com VE% abaixo de 10% e os outros três acima.

Essa situação confirma o que foi comentado na análise da linearidade, apesar de a análise gráfica indicar problemas de linearidade e consequentemente tendência, a análise numérica indica que esses problemas podem não ter significado técnico em virtude dos sistemas de medição serem utilizados para medições com faixas de tolerância grandes (0,4 e 0,6 mm).

Tabela 3 - Resultados do estudo de tendência dos sistemas de medição

SM	Média	Tendência	Limite Inferior	Limite Superior	VE %
Paquímetro 1 e Operador A	25,3725	-0,0025	-0,0102	0,0052	18,2315
	29,9967	0,0013	-0,0018	0,0045	7,3855
	39,9917	0,0210	0,0129	0,0291	12,6730
	45,0108	0,0262	0,0178	0,0345	13,1137
	48,9733	-0,0087	-0,0149	-0,0024	9,8473
Micrômetro 1 e Operador A	25,3615	-0,0134	-0,0144	-0,0125	2,2576
	29,9900	-0,0053	-0,0069	-0,0037	3,7839
	39,9798	0,0092	0,0074	0,0109	2,7579
	44,9967	0,0121	0,0107	0,0135	2,2208
	48,9666	-0,0153	-0,0169	-0,0137	2,5346
Paquímetro 2 e Operador B	25,3650	-0,0100	-0,0133	-0,0067	7,8335
	30,0017	0,0063	0,0039	0,0088	5,8387
	39,9975	0,0268	0,0240	0,0297	4,5227
	45,0050	0,0203	0,0170	0,0237	5,2223
	48,9883	0,0063	0,0039	0,0088	3,8925
Micrômetro 2 e Operador B	25,3598	-0,0152	-0,0161	-0,0142	2,2913
	29,9958	0,0004	0,0000	0,0008	0,9324
	39,9788	0,0081	0,0071	0,0091	1,5448
	44,9942	0,0095	0,0087	0,0103	1,1934
	48,9718	-0,0102	-0,0110	-0,0093	1,3371

Fonte: Action (2015)

4.3 Estudo de repetibilidade e reprodutibilidade

Repetibilidade e reprodutibilidade (R&R) é a soma das variações obtidas com cada estimativa (PORTAL ACTION, 2015b). As possíveis causas são a variação entre peças, instrumentos, padrões, métodos, operadores e ambiente e erro de aplicação ou então falta de treinamento do operador (AIAG, 2010).

Quando a repetibilidade for maior que a reprodutibilidade, as causas podem ser a falta de manutenção no instrumento de medição, fixação ou posição de medições incorretas ou muita variação na própria peça. Caso a reprodutibilidade for maior que a repetibilidade, possíveis ações são: treinamento adequado para o operador sobre o sistema de medição e disponibilidade de um dispositivo de medição com demonstrações claras (AIAG, 2010).

O estudo de R&R foi realizado apenas para o Micrômetro 1 com dois operadores porque esse micrômetro é o instrumento de medição mais utilizado entre os quatro em estudo e em virtude do tempo necessário para realização da coleta de dados.

De acordo com AIAG (2010), nos estudos de R&R deve-se ter $n \times k \geq 15$, onde n é o número de peças e k o número de operadores. Para tanto, esse estudo foi realizado com dois operadores (A e B) e com oito peças, o que fornece $n \times k = 16$. Outro ponto importante na coleta de dados para o estudo do R&R é identificar as peças de forma que os operadores não consigam diferenciar entre elas. Esse cuidado evita a tendência natural das pessoas que obter o mesmo resultado que já observaram na medição anterior da peça. Além disso, outro cuidado nesse tipo de estudo é a aleatorização da coleta de dados para evitar confundir os efeitos principais do experimento. Por fim, definiu-se que cada peça seria medida três vezes pelo mesmo operador com o mesmo instrumento de medição. Os dados obtidos são apresentados no Apêndice G.

O estudo do R&R foi realizado com a Análise de Variância (ANOVA). Para determinar aceitabilidade do sistema de medição, são considerados os percentuais relativos a variação total (VT), que pode ser advinda da tolerância da peça ou do desvio padrão do processo. O resultado obtido no cálculo do R&R é comparado com os critérios definidos por AIAG (2010) onde se %RR for menor que 10% o sistema de medição é aceitável, se %RR estiver entre 10% e 30% o sistema de medição pode ser aceito desde que o cliente aceite e se %RR for maior que 30% o sistema de medição não pode ser aceito, pois sua variabilidade excessiva compromete a separação entre peças boas e ruins quando utilizado para verificar o atendimento as especificações.

E o passo final para conclusão da aceitabilidade do sistema de medição, é a determinação do número de distintas categorias (ndc) que o processo de medição pode ser dividido. O valor de ndc deve ser maior ou igual a 5 para ser aceitável para um sistema de medição utilizado para verificar o atendimento as especificações de peças críticas.

Antes de realizar o estudo do R&R por meio da ANOVA procedeu-se a verificação da normalidade dos dados. Os dados coletados foram testados com o *software Action* e verificou-se que os mesmos não seguiam a distribuição normal. Assim, foi utilizada a transformação Box-Cox, também pelo *Action*, para normalizar os dados.

A partir da normalização dos dados (Apêndice G), foram realizados os estudos de R&R e os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA)

ANOVA	GDL	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Pr(>F)
Peças	7	8,1871E-12	1,16959E-12	69,01451969	5,56953E-20
Operadores	1	5,04695E-14	5,04695E-14	2,978087255	0,09231528
Repetibilidade	39	6,60931E-13	1,69469E-14		

Fonte: Action (2015)

Analisando a ANOVA da Tabela 4, verifica-se que não há interação entre peça e operador, isso é um resultado esperado, pois indiferente da peça e do operador as medidas obtidas possuem valores aproximados. Comparando os fatores peças e operadores, percebe-se que apenas o fator peça é considerado significativo, pois o seu P-valor é menor que 0,05 ($\alpha = 5\%$). Esse também é um resultado esperado, pois a maior parte da variabilidade deve vir das peças e não dos operadores.

Na sequencia, deve-se analisar a Tabela 5 dos percentuais obtidos em relação a variação total (VT). Para esse estudo foi utilizado como VT a tolerância relacionada ao valor medido (para uma dimensão de 25,4 mm a faixa de tolerância da norma é 0,4 mm).

Tabela 5 - Porcentagem da variação total

Descrição	Desvio padrão	% em relação a VT
Repetibilidade	1,3018E-07	28,4
Reprodutibilidade	3,7373E-08	8,1
Operadores	3,7373E-08	8,1
Peças	4,3829E-07	95,5
Repetibilidade e reprodutibilidade	1,3544E-07	29,5
Total	4,5875E-07	100

Fonte: Action (2015)

Analisando os valores fornecidos pela Tabela 5 observa-se que a repetibilidade (28,4%) tem maior variação que a reprodutibilidade (8,1%). Isso indica que as causas da variabilidade estão relacionadas ao dispositivo de medição, como falta de calibração, manutenção e limpeza.

Outro número importante é a variação das peças (95,5%) que, como já mencionado, é bom para o sistema de medição que esse valor seja alto, pois indica que o processo de fabricação tem maior variação do que o sistema de medição. Por fim, tem-se para o R&R um valor de 29,5% colocando-o na faixa de possível aceitação, desde que o cliente concorde com isso e considerando os custos envolvidos para os ajustes necessários.

Além da análise numérica, também é possível fazer uma análise gráfica a partir das saídas fornecidas pelo *Action*. Na Figura 10 é apresentada uma das saídas que é um boxplot entre operadores o que leva a concluir que o operador 2 (B) tem maior variabilidade nas suas medições que o operador 1 (A). Esse resultado pode estar relacionado ao método utilizado por eles para realizar a medição.

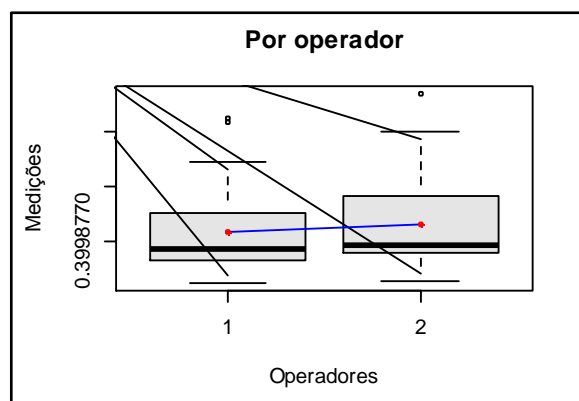


Figura 10 – Box plot para operadores
Fonte: Action (2015)

Por fim tem-se o valor de *ndc* calculado pelo *software* que foi igual a 4, o que indica que o número de discriminação de categorias desse instrumento de medição não é adequado para medição de peças críticas.

4.4 Ações propostas para melhoria dos sistemas de medição

Como observado até aqui os sistemas de medição utilizados no setor de usinagem da empresa não estão adequados, ou seja, não possuem uma boa qualidade para o uso pretendido e dessa forma, necessitam de melhorias. De acordo com AIAG (2010), se em alguma etapa os sistemas de medição não estiverem adequados deve-se proceder com a identificação das causas e posterior bloqueio, nova coleta, nova análise e assim por diante até obter resultados adequados ao uso dos sistemas de medição.

Como também mencionado anteriormente, todos os estudos foram realizados para executar todas as análises. Isso permitiu ao pesquisador verificar a qualidade dos sistemas de medição no setor de usinagem de uma empresa de médio porte do setor metal mecânico. O próximo

passo é a eliminação das causas que levaram a falta de estabilidade e a problemas de variabilidade.

Recomenda-se que a empresa realize a calibração de todos os instrumentos de medição do setor de usinagem numa frequência trimestral. Depois de realizar três calibrações sucessivas, se os resultados permanecerem bons a frequência de calibração pode ser aumentada. Para tanto é necessário que sejam definidos os critérios de aceitação dos instrumentos de medição depois de calibrados, com isso será possível identificar se os instrumentos de medição servem para o uso pretendido e caso contrário eles poderão ser realocados.

Além disso, os operadores responsáveis pelos instrumentos de medição devem realizar limpeza e ajustes diários para garantir a qualidade dos resultados das medições, sugere-se nesse caso a elaboração de um procedimento com todas as orientações necessárias. A limpeza, além de aumentar a vida útil permite ao operador verificar qualquer defeito no instrumento de medição e evitar que seu uso prejudique a decisão sobre as peças atenderem as especificações ou não.

Ainda sobre os operadores é necessário realizar um treinamento para reciclagem em relação ao método de medição utilizado por eles, pois no estudo do R&R ficou claro que existe diferença no procedimento que eles utilizam para medição. Esse treinamento pode abordar temas como manuseio, uso, manutenção, limpeza e armazenamento.

Sendo assim, foi possível verificar a qualidade dos sistemas de medição através do uso da metodologia do MSA no setor de usinagem de em uma empresa de médio porte. Contudo verifica-se a que a implantação das ações de melhoria sugeridas, é o primeiro passo para melhorar o uso do sistema de medição. As ações necessitam ser inseridas de forma cultural buscando qualidade e melhoria contínua, sendo capaz de diminuir custos e aumentar a qualidade e a produtividade da empresa, além de garantir um sistema de medição adequado.

Vale ressaltar que, para a aplicação da MSA na empresa, a maior dificuldade foi a disponibilidade dos operadores durante o turno de trabalho, visto que é necessário várias coletas de dados para realizar os estudos. Dificuldade também em motivá-los e mostrar a importância da coleta dos dados para obter bons resultados.

5 Conclusão

A permanência das empresas no mercado atual depende diretamente do atendimento das exigências dos clientes produzindo produtos de alta qualidade. Um produto de alta qualidade é aquele que apresenta conformidade com as especificações. E para um setor de usinagem identificar se um produto está em conformidade ou não, é necessário utilizar um sistema de medição confiável e adequado. Assim, esse trabalho teve por objetivo verificar a qualidade dos sistemas de medição no setor de usinagem de uma empresa metal mecânica de médio porte.

Assim, na Etapa 1, foi realizado uma caracterização dos instrumentos de medição do setor e com base nessa caracterização, identificou-se a necessidade de realizar o estudo em 4 sistemas de medição: dois paquímetros digitais, com faixa de medição de 0 a 150 mm com resolução de 0,01 mm e dois micrômetros digitais na faixa de medição de 25 a 50 mm e resolução 0,001mm.

Já na Etapa 2, com o planejamento foi realizada a coleta e análise dos dados com base na metodologia de Análise dos Sistemas de Medição (AIAG, 2010). Nessa etapa foi possível identificar que os sistemas de medição não estão adequados, bem como seus problemas. Em relação a estabilidade todos os sistemas de medição apresentaram problemas. Em relação a tendência e linearidade, ficou claro a importância da análise técnica para decidir sobre os sistemas de medição. E, por fim, com o estudo de R&R foi possível confirmar também que o método utilizado pelos dois operadores não está adequado.

Com isso, na Etapa 3 foram propostas ações de melhorias para atuar nas principais causas e adequar todos os sistemas de medições do setor. Dessa forma, o objetivo geral de verificar a qualidade dos sistemas de medição foi alcançado, bem como os objetivos específicos de identificar uma metodologia e propor melhorias ao setor.

Também foram levantadas como principais dificuldades para realizar a presente pesquisa, a disponibilidade de tempo dos operadores para realizar as medições durante o turno de trabalho e mostrar a eles a importância de uma boa coleta para obter resultados confiáveis na análise.

Como trabalhos futuros sugere-se a implantação das ações propostas e a nova análise dos sistemas de medição. Numa outra linha de trabalho é possível verificar a aplicabilidade do MSA em outros setores da própria empresa e de outras empresas de outros setores de Santa Maria, RS.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, R. A. **Implementação de um sistema de gestão da qualidade: estudo de caso em uma empresa do segmento metal mecânico.** In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7., 2011, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: CNEG, 2011. Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/portals/2/documents/cneg7/anais/t11_0328_1681.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2015.
- AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (AIAG). Análise do Sistema de Medição – MSA.* Trad. Instituto da Qualidade Automotiva. 4 ed. São Paulo, 2010.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- COSTA, I. et al. **Qualidade em tecnologia da informação: conceitos de qualidade nos processos, produtos, normas, modelos e testes de software no apoio às estratégias empresariais.** São Paulo: Atlas, 2013.
- COSTA, P. C. **Uma análise do controle de qualidade centralizado e descentralizado: resultados em termos de logística, mão de obra e qualidade final do produto.** In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 28., 2014, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ANPAD, 2014.
- CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento.** 6. ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1994.
- DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução na administração.** Rio de Janeiro: Saraiva, 1993.
- Deutsches Institut für Normung (DIN). DIN 7168: General tolerances for linear and angular dimension and geometrical. Berlin, 2 ed., 1991.
- DUARTE JR., N. S. F. **Sistema de Gestão de Medição: importante, mas nem sempre reconhecido.** Revista Metrologia & Instrumentação, São Paulo, n. 56, ano 7, out./nov. 2008.
- FEIGENBAUM, A. V. **Controle da qualidade total.** v. 4. São Paulo: Makron Books, 1994.
- FERNANDES, W. A. **O Movimento da Qualidade no Brasil.** São Paulo, Essential Idea, 2011.
- GIL, A. C. **Estudo de caso.** São Paulo: Atlas, 2009.
- GONÇALVES, J. B. et al. **Implicações do uso integrado do estudo de MSA e CEP na produtividade industrial.** Espacios, Caracas, v. 35, n. 9, p. 2, 2014. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/>>. Acesso em: 12 ago. 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLGIA (INMETRO). **Sistema Internacional de Unidades: SI.** - Duque de Caxias, Rio de Janeiro: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012a. 94 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLGIA (INMETRO). **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados.** Duque de Caxias, Rio de Janeiro: INMETRO, 2012b. 94 p.
- ISO; UNIDO. **Construindo confiança: a caixa de ferramentas de avaliação da conformidade.** Rio de Janeiro: ABNT; ISO, 2009. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/building_trust_pt.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2013.
- JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- LIMA, J. T.; FERREIRA, T. F.; BARBOSA L. **Measurement Systems Analysis (MSA): garantindo a consistência dos controles nos processos de fabricação.** Revista Banas Qualidade, São Paulo, ano 19, n. 26, p. 74-79, jun. 2010.

- MAINARDES, E. W.; LOURENÇO L.; TONTINI, G. **Percepções dos Conceitos de Qualidade e Gestão pela Qualidade Total: estudo de caso na universidade**. Revista Eletrônica de Gestão Organizacional, v. 8, n. 2, p. 279-297, mai. 2010. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/gestaoorg/index.php/gestao/article/viewFile/200/181>>. Acesso em: 22 mai. 2015.
- MENEZES, F. M. MSA - **ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO**. Apostila. Prodttare, Porto Alegre, 2013.
- MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa para engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MITUTOYO SUL AMERICANA. **CATÁLOGO DE PRODUTOS BÁSICOS PARA METROLOGIA DIMENSIONAL**. Disponível em: <http://www.mitutoyo.com.br/site/produtos/pdf/PB313_web_baixa.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2015.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- PALADINI, E. P. **Gestão estratégica da qualidade: princípios, métodos e processos**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- PORTAL ACTION. **Análise dos Sistemas de Medição**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/analise-dos-sistemas-de-medicao/24-repetitividade-e-reprodutibilidade>>. Acesso em: 07 dez. 2015.
- PORTAL ACTION. **Análise dos Sistemas de Medição**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/analise-dos-sistemas-de-medicao/21-estabilidade>>. Acesso em: 19 out. 2015a.
- PORTAL ACTION. **Análise dos Sistemas de Medição**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/analise-dos-sistemas-de-medicao/24-repetitividade-e-reprodutibilidade>>. Acesso em: 21 out. 2015b.
- PORTAL ACTION. **Análise dos Sistemas de Medição**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/analise-dos-sistemas-de-medicao/21-estabilidade>>. Acesso em: 21 out. 2015c.
- PORTAL ACTION. **Análise dos Sistemas de Medição**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/analise-dos-sistemas-de-medicao/23-tendencia-e-linearidade>>. Acesso em: 21 out. 2015d.
- POSSO, R.; ESTORILIO, C. **Identificação dos Fatores de Influência na Aplicação do Método Failure Mode and Effect Analysis- FMEA de Processo: um estudo em produtos estampados**. Produto & Produção, v. 10, n. 2, p. 87-107, jun. 2009.
- RAMOS, A. **Metodologia da pesquisa científica: como uma monografia pode abrir o horizonte do conhecimento**. São Paulo: Atlas, 2009.
- REITZ, F. J. et al. **Aplicando o MSA na medição da rugosidade superficial**. Revista Banas Qualidade, São Paulo, ano 18, n. 19, p. 118-125, set. 2009.
- SILVA NETO, J. C. **Metrologia e controle dimensional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- SILVA, L. C. S.; KOVALESKI, J. L.; GAIA, S. **Gestão da qualidade do produto no processo de produção industrial: um estudo de caso em uma indústria de bebidas**. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v.4, n.1, p.55-67, abr. 2012. Disponível em: <<http://www.revistaret.com.br/ojs2.2.3/index.php/ret/article/view/98>>. Acesso em: 12 mai. 2015.
- SLACK, Nigel et al. **Gerenciamento de operações e de processos: princípios e práticas de impacto estratégico**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- SUGA, N. **Metrologia Dimensional - A Ciência da Medição**. Mitutoyo Sul Americana Ltda., 2007.

WERKEMA, M. C. C. **Avaliação de Sistemas de Medição**. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Coleta de dados para estudos de estabilidade para Operador A

Data	Horário	Medidas			Data	Horário	Medidas		
		1	2	3			1	2	3
05/08/2015	08:41	43,98	43,97	43,98	16/09/2015	13:38	43,98	43,98	43,98
10/08/2015	16:25	43,98	43,97	43,97	21/09/2015	13:15	43,98	43,97	43,98
13/08/2015	08:20	43,98	43,98	43,99	24/09/2015	15:43	43,98	43,98	43,99
18/08/2015	14:52	43,98	43,98	43,99	29/09/2015	13:18	43,98	43,98	43,98
21/08/2015	11:15	43,99	43,97	43,97	02/10/2015	13:20	43,98	43,98	43,99
26/08/2015	08:16	43,98	43,99	44,00	07/10/2015	13:53	43,97	43,98	43,98
31/08/2015	14:05	43,98	43,97	43,98	13/10/2015	13:55	43,98	43,98	43,98
03/09/2015	15:45	44,00	43,99	43,98	16/10/2015	14:05	43,98	43,99	43,98
08/09/2015	16:41	43,99	43,98	43,97	21/10/2015	08:45	43,97	43,98	43,97
11/09/2015	13:51	43,98	43,98	43,98	26/10/2015	09:10	43,98	43,97	43,98
Paquímetro 1/ Operador A						10:30	43,98	43,98	43,98

Data	Horário	Medidas			Data	Horário	Medidas		
		1	2	3			1	2	3
05/08/2015	08:41	43,993	43,992	43,994	16/09/2015	13:38	43,993	43,980	43,990
10/08/2015	16:25	43,991	43,989	43,987	21/09/2015	13:15	43,986	43,984	43,986
13/08/2015	08:20	43,992	43,990	43,991	24/09/2015	15:43	43,990	43,991	43,990
18/08/2015	14:52	43,993	43,993	43,992	29/09/2015	13:18	43,981	43,986	43,984
21/08/2015	11:15	43,983	43,985	43,985	02/10/2015	13:20	43,987	43,986	43,989
26/08/2015	08:16	43,983	43,990	43,987	07/10/2015	13:52	43,987	43,986	43,991
31/08/2015	14:07	43,989	43,989	43,986	13/10/2015	13:55	43,987	43,987	43,985
03/09/2015	15:45	43,974	43,976	43,984	16/10/2015	14:05	43,985	43,982	43,985
08/09/2015	16:41	43,987	43,996	43,990	21/10/2015	08:45	43,988	43,988	43,987
11/09/2015	13:51	43,982	43,988	43,984	26/10/2015	09:15	43,988	43,989	43,989
Micrômetro 1/ Operador A					29/10/2015	10:30	43,986	43,986	43,985

APÊNDICE B - Coleta de dados para estudos de estabilidade para Operador B

Data	Horário	Medidas			Data	Horário	Medidas		
		1	2	3			1	2	3
05/08/2015	08:43	44,98	44,98	44,98	16/09/2015	12:48	44,98	44,99	44,99
10/08/2015	16:26	44,99	44,99	44,98	21/09/2015	13:16	44,99	44,99	44,99
13/08/2015	09:50	44,99	44,99	44,99	24/09/2015	15:40	44,98	44,98	44,99
18/08/2015	15:12	44,99	44,99	44,99	29/09/2015	13:20	44,98	44,98	44,98
21/08/2015	11:18	44,97	44,98	44,98	02/10/2015	13:20	44,98	44,97	44,98
26/08/2015	11:14	44,98	44,98	44,98	07/10/2015	13:58	44,99	44,99	44,99
31/08/2015	14:00	44,99	44,99	44,99	13/10/2015	13:58	44,99	44,98	44,98
03/09/2015	15:45	44,98	44,98	44,99	16/10/2015	08:53	44,99	44,98	44,98
08/09/2015	16:40	44,98	44,98	44,98	21/10/2015	14:22	44,98	44,98	44,99
11/09/2015	13:52	44,97	44,96	44,97	26/10/2015	09:41	44,97	44,98	44,99
Paquímetro 2/ Operador B					29/10/2015	09:40	44,99	44,99	44,99

Data	Horário	Medidas			Data	Horário	Medidas		
		1	2	3			1	2	3
05/08/2015	08:43	44,973	44,972	44,972	16/09/2015	12:48	44,975	44,976	44,973
10/08/2015	16:25	44,971	44,974	44,972	21/09/2015	13:16	44,974	44,972	44,972
13/08/2015	09:50	44,975	44,975	44,975	24/09/2015	15:40	44,970	44,971	44,970
18/08/2015	15:12	44,972	44,974	44,973	29/09/2015	13:20	44,974	44,975	44,976
21/08/2015	11:17	44,970	44,969	44,972	02/10/2015	13:10	44,971	44,973	44,971
26/08/2015	08:13	44,972	44,973	44,976	07/10/2015	13:57	44,975	44,974	44,974
31/08/2015	14:00	44,974	44,974	44,976	13/10/2015	13:58	44,974	44,972	44,973
03/09/2015	15:45	44,973	44,973	44,974	16/10/2015	08:53	44,974	44,974	44,972
08/09/2015	16:40	44,972	44,974	44,975	21/10/2015	14:22	44,969	44,970	44,968
11/09/2015	13:52	44,974	44,973	44,973	26/10/2015	09:10	44,969	44,972	44,968
Micrômetro 2/ Operador B					29/10/2015	09:40	44,972	44,974	44,974

APÊNDICE C - Primeira coleta de dados para estudos de tendência e linearidade Operador A

Paquímetro 1/ Operador A						
Repetições	Valor de referência	1	2	3	4	5
		25,387	29,995	39,971	44,985	49,014
	1	25,41	30,00	39,98	45,00	49,02
	2	25,39	29,99	39,97	45,00	49,02
	3	25,4	30,02	39,97	44,99	49,02
	4	25,43	30,03	39,97	45,00	49,02
	5	25,4	30,03	39,97	45,00	49,02
	6	25,39	30,00	39,99	45,02	49,07
	7	25,39	30,00	39,98	45,00	49,03
	8	25,39	30,02	39,97	45,01	49,02
	9	25,39	29,99	39,98	45,00	49,03
	10	25,4	29,99	39,96	45,00	49,03
	11	25,39	30,00	39,97	45,03	49,03
12	25,4	30,01	39,97	45,01	49,05	

Micrômetro 1/ Operador A						
Repetições	Valor de referência	1	2	3	4	5
		25,387	29,995	39,971	44,985	49,014
	1	25,386	29,992	39,98	44,998	49,021
	2	25,385	29,989	39,971	45,001	49,016
	3	25,386	29,991	39,974	44,998	49,015
	4	25,383	29,992	39,972	45,002	49,014
	5	25,381	29,989	39,974	45,002	49,015
	6	25,385	29,992	39,976	44,997	49,014
	7	25,384	29,992	39,974	44,997	49,013
	8	25,384	29,992	39,978	45,002	49,013
	9	25,383	29,992	39,977	45,001	49,013
	10	25,382	29,984	39,979	45,002	49,011
	11	25,385	29,992	39,98	44,998	49,013
12	25,38	29,991	39,978	45,000	49,011	

APÊNDICE D - Primeira coleta de dados para estudos de tendência e linearidade Operador B

Paquímetro 2/ Operador B						
Repetições	Valor de referência	1	2	3	4	5
		25,387	29,995	39,971	44,985	49,014
	1	25,39	30,02	40,00	45,03	49,02
	2	25,39	30,02	40,01	45,04	49,02
	3	25,38	30,02	40,01	45,05	49,03
	4	25,38	30,02	40,00	45,04	49,03
	5	25,38	30,02	40	45,04	49,02
	6	25,38	30,01	40,01	45,04	49,03
	7	25,38	30,02	40,01	45,04	49,02
	8	25,38	30,03	40,01	45,03	49,02
	9	25,38	30,02	40,01	45,04	49,03
	10	25,38	30,02	40,02	45,03	49,03
	11	25,37	30,05	40,01	45,04	49,02
12	25,4	30,01	40,01	45,04	49,03	

Micrômetro 2/ Operador B						
Repetições	Valor de referência	1	2	3	4	5
		25,387	29,995	39,971	44,985	49,014
	1	25,399	29,997	39,979	44,999	49,01
	2	25,391	29,995	39,977	45,002	49,01
	3	25,393	29,994	39,980	44,999	49,01
	4	25,392	29,997	39,980	45,001	49,009
	5	25,391	29,995	39,980	44,999	49,01
	6	25,391	29,995	39,980	45,000	49,008
	7	25,39	29,993	39,980	45,001	49,01
	8	25,389	29,933	39,980	45,002	49,009
	9	25,388	29,933	39,979	45,000	49,008
	10	25,391	29,994	39,982	45,003	49,003
	11	25,388	29,995	39,981	45,000	49,001
12	25,388	29,995	39,980	45,001	49,007	

APÊNDICE E - Segunda coleta de dados para estudos de tendência e linearidade Operador A

Paquímetro 1/ Operador A						
Repetições	Valor de referência	1	2	3	4	5
		25,375	29,995	39,971	44,985	48,982
	1	25,40	29,99	40,00	45,00	48,96
	2	25,38	30,00	39,97	44,99	48,99
	3	25,38	30,00	39,98	45,01	48,97
	4	25,36	29,99	39,98	45,00	48,96
	5	25,38	30,00	39,99	45,02	48,98
	6	25,36	30,00	39,98	45,03	48,96
	7	25,36	29,99	39,99	45,00	48,98
	8	25,36	30,00	40,00	45,01	48,98
	9	25,37	29,99	40,00	45,00	48,98
	10	25,38	30,00	40,01	45,02	48,98
	11	25,37	30,00	39,99	45,03	48,97
12	25,37	30,00	40,01	45,02	48,97	

Micrômetro 1/ Operador A						
Repetições	Valor de referência	1	2	3	4	5
		25,375	29,995	39,971	44,985	48,982
	1	25,361	29,994	39,984	44,996	48,971
	2	25,364	29,988	39,983	44,998	48,970
	3	25,364	29,995	39,981	44,997	48,969
	4	25,361	29,990	39,983	44,997	48,968
	5	25,362	29,987	39,980	44,999	48,966
	6	25,362	29,992	39,976	44,998	48,967
	7	25,359	29,990	39,976	44,994	48,965
	8	25,360	29,988	39,978	44,998	48,966
	9	25,362	29,988	39,978	44,997	48,965
	10	25,36	29,990	39,979	44,995	48,963
	11	25,362	29,990	39,978	44,992	48,963
12	25,362	29,988	39,982	45,000	48,967	

APÊNDICE F - Segunda coleta de dados para estudos de tendência e linearidade Operador B

Paquímetro 2/ Operador B						
Repetições	Valor de referência	1	2	3	4	5
		25,375	29,995	39,971	44,985	48,982
	1	25,37	30,00	39,99	45,01	48,99
	2	25,37	30,01	40,00	45,00	48,99
	3	25,36	30,01	40,00	45,01	48,99
	4	25,36	30,00	39,99	45,01	48,99
	5	25,37	30,00	40,00	45,01	48,98
	6	25,36	30,00	40,00	45,00	48,99
	7	25,36	30,00	40,00	45,01	48,99
	8	25,36	30,00	40,00	45,00	48,99
	9	25,37	30,00	40,00	45,00	48,99
	10	25,36	30,00	40,00	45,00	48,98
	11	25,37	30,00	39,99	45,01	48,99
12	25,37	30,01	40,00	45,00	48,99	

Micrômetro 2/ Operador B						
Repetições	Valor de referência	1	2	3	4	5
		25,375	29,995	39,971	44,985	48,982
	1	25,363	29,996	39,977	44,995	48,973
	2	25,362	29,997	39,978	44,994	48,974
	3	25,359	29,996	39,978	44,994	48,973
	4	25,359	29,996	39,977	44,994	48,973
	5	25,358	29,996	39,980	44,992	48,973
	6	25,360	29,996	39,978	44,994	48,971
	7	25,358	29,996	39,977	44,995	48,972
	8	25,361	29,995	39,979	44,994	48,971
	9	25,360	29,995	39,979	44,995	48,971
	10	25,360	29,995	39,980	44,992	48,970
	11	25,359	29,995	39,982	44,995	48,971
12	25,359	29,996	39,980	44,996	48,970	

APÊNDICE G - Coleta de dados para o estudo de RR

Peças	Operador	Medições	Dados transformados	Peças	Operador	Medições	Dados transformados
1	1	25,403	0,399877016	1	2	25,411	0,399877113
2	1	25,387	0,399876822	2	2	25,395	0,399876919
3	1	25,495	0,399878123	3	2	25,486	0,399878015
4	1	25,386	0,39987681	4	2	25,397	0,399876944
5	1	25,37	0,399876616	5	2	25,374	0,399876665
6	1	25,393	0,399876895	6	2	25,398	0,399876956
7	1	25,390	0,399876859	7	2	25,427	0,399877306
8	1	25,446	0,399877535	8	2	25,461	0,399877716
1	1	25,404	0,399877028	1	2	25,401	0,399876992
2	1	25,384	0,399876786	2	2	25,389	0,399876847
3	1	25,462	0,399877728	3	2	25,466	0,399877776
4	1	25,391	0,399876871	4	2	25,39	0,399876859
5	1	25,392	0,399876883	5	2	25,374	0,399876665
6	1	25,371	0,399876628	6	2	25,394	0,399876907
7	1	25,402	0,399877004	7	2	25,405	0,399877041
8	1	25,44	0,399877463	8	2	25,444	0,399877511
1	1	25,401	0,399876992	1	2	25,41	0,399877101
2	1	25,385	0,399876798	2	2	25,396	0,399876932
3	1	25,493	0,399878099	3	2	25,515	0,399878361
4	1	25,391	0,399876871	4	2	25,397	0,399876944
5	1	25,399	0,399876968	5	2	25,371	0,399876628
6	1	25,378	0,399876713	6	2	25,395	0,399876919
7	1	25,405	0,399877041	7	2	25,389	0,399876847
8	1	25,441	0,399877475	8	2	25,453	0,399877619