

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

Curso de Engenharia de Produção

**RENAN FLAUZINO DE CASTRO**

**MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS (MSA) COMO  
FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE  
MEDIÇÃO EM UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA**

Campinas

2015

**Renan Flauzino de Castro - R.A. 004201000399**

**MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS (MSA) COMO  
FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE  
MEDIÇÃO EM UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Profº. Dr. Adalberto Nobiato Crespo

Campinas

2015

**Renan Flauzino de Castro**

**MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS (MSA) COMO  
FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE  
MEDIÇÃO EM UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

**Data de aprovação:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Adalberto Nobiato Crespo (Orientador)

Universidade São Francisco

---

Prof.ª

Universidade São Francisco

---

Prof.º

Universidade São Francisco

**ATA DE ARGUIÇÃO FINAL DA MONOGRAFIA DO ALUNO  
RENAN FLAUZINO DE CASTRO**

Aos 02 dias do mês de dezembro do ano de 2015, às 19 horas, nas dependências da Universidade São Francisco, Campus Campinas, reuniu-se a Comissão da Banca Examinadora, para avaliação da Monografia do Trabalho intitulado “**Measurement System Analysis (MSA) como ferramenta de avaliação do sistema de medição em uma indústria siderúrgica**”, apresentada pelo aluno Renan Flauzino de Castro, como exigência parcial para conclusão do curso de graduação no Curso de Engenharia de Produção - Automação e Sistemas, da Universidade São Francisco, Campus de Campinas. Os trabalhos foram instalados às 19 horas pelo Prof. Dr. Adalberto Nobiato Crespo , Orientador do candidato e Presidente da Banca Examinadora, constituída pelos seguintes Professores: Prof. Dr. \_\_\_\_\_, da Universidade São Francisco, e pelo Prof. Dr. \_\_\_\_\_ , da Universidade São Francisco. A Banca Examinadora tendo decidido aceitar a monografia, passou à Arguição Pública do candidato. Encerrados os trabalhos às \_\_\_\_\_ horas, os examinadores, consideraram o candidato aprovado e com média final \_\_\_\_\_. E, para constar, eu Prof. Dr. Adalberto Nobiato Crespo, lavrei a presente Ata, que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Campinas, 02 de dezembro de 2015.

---

**Prof Dr. Adalberto Nobiato Crespo**

**Orientador e Presidente**

Universidade São Francisco

---

**Prof.**

Universidade São Francisco

---

**Prof.**

Universidade São Francisco

Dedico essa monografia à minha mãe, pela inspiração, pelos ensinamentos e sobretudo, pelo exemplo de coragem e perseverança. Aos meus avós e às minhas irmãs por todo o amor e ao Cristiano, pela amizade e companheirismo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à indústria siderúrgica, a qual realizo estágio na área de qualidade, por providenciar o material necessário para concretização desse trabalho. Agradeço também ao metrologista Márcio Oliveira, por todos os ensinamentos e auxílios na condução do estudo de MSA. Por fim, agradeço à Professora Elén Besteiro por toda a orientação sobre metodologia científica e principalmente ao meu orientador Adalberto Crespo, uma vez que o seu grande conhecimento no tema abordado e dedicação mostraram-se indispensáveis para a realização desse trabalho.

“Quando consegues quantificar aquilo de que falas, e expressá-lo numericamente, então sabes algo sobre o assunto; mas quando não o consegues quantificar, quando não o consegues expressar numericamente, o teu conhecimento sobre isso é vago e insatisfatório”. Lord Kelvin (1824-1907)

## RESUMO

Além de ser um estudo obrigatório para as indústrias que estão inseridas na cadeia automotiva, o MSA garante que os dados obtidos através de um sistema de medição são confiáveis e podem ser usados para a tomada de decisão. Primeiramente deve-se ter em mente a característica a ser medida e realizar um criterioso estudo de cenário. É necessário também identificar as fontes de variação e os estudos estatísticos a serem realizados. No presente estudo foram realizadas análises estatísticas envolvendo a Repetitividade, Reprodutibilidade, Linearidade, Tendência e Estabilidade do sistema de medição do micrômetro, presente na inspeção final do acabamento de barras e acabamento de aço fino na indústria siderúrgica estudada. As amostras a serem analisadas nesse estudo foram determinadas, considerando fatores como diâmetro, liga de aço e cliente. Posteriormente foram realizadas coletas de dados para cada análise estatística mencionada e então os dados foram avaliados através dos estudos de Média e Amplitude e ANOVA, com o auxílio do software Minitab. O objetivo do presente estudo foi alcançado, pois foi possível avaliar se o sistema de medição estudado é aceitável de acordo com os parâmetros do manual de MSA, tendo em vista os estudos estatísticos realizados. Não somente o objetivo do trabalho foi alcançado, mas também foi possível elaborar sugestões de melhoria para o sistema de medição, uma vez que o estudo de ANOVA possibilitou uma análise bastante detalhada da variação do sistema de medição dos micrômetros e a interação de seus componentes.

**Palavras-chave:** MSA, Sistema de Medição, Média e Amplitude, ANOVA, estatística.

## ABSTRACT

Besides being a mandatory study for any industry that is part of the automotive supply chain, the MSA methodology ensures that the data gathered from a measurement system is reliable and can be used to make decisions. First of all, it is necessary to determine the parameter to be measured and perform a meticulous scenario analysis. It is also imperative to determine the sources of variation and the statistical studies to be performed in order to develop a successful study. This study comprehends statistical analysis concerning the Repeatability, Reproducibility, Linearity, Bias and Stability of the micrometer measurement system. This measurement system is found at the finishing shops of the steel industry approached in this study. The samples analyzed in this study were chosen according to their diameter, steel alloy and customer involved. Afterwards, data collection was performed for each statistical analysis mentioned above and then the gathered data were evaluated through Average and Range and ANOVA studies, with the help of Minitab software. The main goal of this study was achieved, since it was possible to determine whether or not the measurement system is acceptable and in accordance with the MSA guidelines. Not only was the main goal of this study achieved, but as well as improvement suggestions were developed, once the ANOVA study allowed for an in-depth analysis of the measurement system variation and its constituents interaction.

**Key words:** MSA, Measurement System, Average and Range, ANOVA, statistics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Melhoria Contínua dos Processos de SGQ .....	9
Figura 2 – Ciclo PDCA.....	15
Figura 3 – Variabilidade do Sistema de Medição.....	21
Figura 4 – Exemplo das Características da Variação do Processo de Medição .....	22
Figura 5 – Tendência .....	23
Figura 6 – Estabilidade .....	24
Figura 7 – Análise da Estabilidade .....	25
Figura 8 – Linearidade.....	25
Figura 9 – Fórmulas para cálculo da linearidade.....	26
Figura 10 – Gráfica da Linearidade .....	26
Figura 11 – Repetitividade.....	27
Figura 12 – Reprodutibilidade .....	28
Figura 13 – R&R .....	29
Figura 14 – Cartas de Média e Amplitude.....	31
Figura 15 – Run Chart .....	31
Figura 16 – Gráfico de Dispersão .....	31
Figura 17 – Gráfico X-Y de médias por tamanho .....	32
Figura 18 – Gráfico de comparação X-Y .....	32
Figura 19 – Gráfico de Resíduos .....	33
Figura 20 – Micrômetro Analisado no Estudo de MSA .....	40
Figura 21 – Diagrama de Ishikawa.....	41
Figura 22 – Amostras antes das ações de melhoria, sem campo de medição.....	43
Figura 23 – Amostras antes das ações de melhoria, com campo de medição .....	44
Figura 24 – Novo campo de medição, após as ações de melhoria .....	44
Figura 25 – Análise do Estudo de R&R, com uso do software Minitab .....	46
Figura 26 – Análise do Estudo de R&R, Média e Amplitude com uso do Minitab .....	47
Figura 27 – Análise do Estudo de R&R, ANOVA com uso do software Minitab .....	47
Figura 28 – Análise da Linearidade com uso do software Minitab.....	50
Figura 29 – Carta de controle I-MR do estudo de estabilidade .....	52

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Abordagens da Qualidade.....	6
Quadro 2 – Benefícios da Normalização.....	13
Quadro 3 – Estrutura da Norma ISO 9001:2008.....	16
Quadro 4 – Aços válvula austeníticos e martensíticos produzidos pela empresa.....	38
Quadro 5 – Ligas especiais produzidos pela empresa estudada.....	39
Quadro 6 – Amostragem do estudo de R&R.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coleta de Dados do Estudo de R&R .....	45
Tabela 2 – Coleta de Dados do Estudo de Linearidade .....	48
Tabela 3 – Coleta de Dados do Estudo de Estabilidade .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
APQP	<i>Advance Product Quality Plan</i>
BSI	<i>British Standards Institution</i>
FMEA	<i>Failure Mode Effective Analysis</i>
IATF	<i>International Automotive Task Force</i>
IM-R	<i>Individual and Moving-Range</i>
IQA	Instituto da Qualidade Automotiva
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MSA	<i>Measurement System Analysis</i>
NQA	<i>National Quality Assurance</i>
PPAP	<i>Production Part Approval Process</i>
R&R	Repetitividade e Reprodutibilidade
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
SPC	<i>Statistical Process Control</i>
TS	<i>Technical Specification</i>

## SUMÁRIO

Dedicatória.....	v
Agradecimento.....	vi
Epígrafe .....	vii
Resumo .....	viii
Abstract.....	ix
Lista de Figuras .....	x
Lista de Quadros.....	xi
Lista de Tabelas.....	xii
Lista de Abreviaturas e Siglas .....	xiii
Sumário.....	xiv
1 Introdução.....	1
1.1 Questão de Pesquisa.....	2
1.2 Justificativa .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.4 Hipótese .....	4
2 Revisão da Literatura.....	5
2.1 Qualidade .....	5
2.2 Sistemas de Gestão da Qualidade .....	8
2.3 Normalização .....	12
2.3.1 ISO 9001:2008 .....	14
2.3.2 ISO/TS 16949 .....	17
2.4 Measurement System Analysis .....	19
2.4.1 Fontes de Variação.....	20
2.4.2 Variação do Processo de Medição .....	21
2.4.3 Variação da Localização .....	22
2.4.3.1 Tendência .....	22
2.4.3.2 Estabilidade.....	24
2.4.3.3 Linearidade.....	25
2.4.4 Variação da Dispersão .....	27
2.4.4.1 Repetitividade .....	27
2.4.4.2 Reprodutibilidade.....	28

2.4.4.3 R&R do Dispositivo de Medição .....	29
2.4.4.4 Diretrizes para a Determinação da R&R.....	29
2.4.4.4.1 Método da Amplitude .....	30
2.4.4.4.2 Método de Amplitude e Média .....	30
2.4.4.4.3 Método ANOVA.....	33
3 Metodologia.....	34
4 Apresentação dos Resultados .....	36
4.1 A Empresa.....	36
4.1.2 Estado Atual .....	37
4.2 Resultados Obtidos .....	40
4.3 Análise dos Resultados .....	53
5 Considerações Finais .....	56
6 Referências Bibliográficas.....	58

## 1. Introdução

A disputa de mercado está cada vez mais acirrada. As indústrias buscam incessantemente por redução de custos e melhoria da qualidade para se manterem competitivas em um tão ambiente concorrido. A exigência crescente dos clientes, bem como normas rigorosas e crises econômicas agravam ainda mais essa disputa, tornando a qualidade imprescindível para a sobrevivência das empresas.

No setor siderúrgico, o cenário não é diferente. Existem diversos competidores, e a conformidade com normas rigorosas é necessária para o fornecimento. O setor automotivo representa a maioria dos clientes da indústria estudada neste trabalho, e uma das normas mais relevantes exigidas pelos clientes automotivos é a ISO/TS 16949.

Segundo a *International Organization for Standardization* (2013), a ISO/TS 16949:2009 juntamente com a ISO 9001:2008 define os sistemas de gerenciamento da qualidade, produção, e quando relevante, instalações e serviços relacionados aos produtos fornecidos para o setor automotivo. Auditorias externas são realizadas nas empresas para manter a certificação da ISO/TS 16949, bem como auditorias internas para a manutenção e verificação dos requisitos.

As normas da ISO/TS 16949 (2009) especificam que estudos estatísticos devem ser desenvolvidos para analisar a variação presente nos resultados dos sistemas e equipamentos de medição e ensaio. Tal requisito deve se estender aos sistemas de medição referenciados no plano de controle. Portanto, a metodologia MSA auxilia as empresas a cumprirem esse requisito, ao proporcionar diretrizes de estudos estatísticos e parâmetros de avaliação do sistema de medição.

De acordo com a quarta edição do manual de MSA desenvolvido pelo AIAG (2010, p.5): “Sistema de medição é o conjunto de instrumentos ou dispositivos de medição, padrões, operações, métodos, dispositivos de produção, software, pessoal, ambiente e premissas usadas para quantificar uma unidade de medição ou corrigir a avaliação da característica sendo medida; o processo completo utilizado para obter medições. ”

A importância dos sistemas de medições está no fato de que as medidas obtidas nesse sistema são utilizadas para tomada de decisão, logo quanto mais erro houver nas medidas obtidas, mais equivocada será a decisão tomada com base nessas medidas. O propósito do MSA, ou análise dos sistemas de medição, é qualificar o sistema de medição com base na sua acurácia, precisão e estabilidade.

Ao utilizar a ferramenta MSA na avaliação dos sistemas de medições, além da conformidade com as normas vigentes da ISO/TS, a empresa zela também pela qualidade como um todo dos produtos produzidos e dos ajustes efetuados no processo produtivo.

## 1.1 Questão de Pesquisa

Análises estatísticas e coleta de dados quantitativa são realizadas nesse estudo com o objetivo de responder a seguinte pergunta:

*O sistema de medição dos micrômetros, presente na inspeção final do acabamento de barras e acabamento de aço fino na indústria siderúrgica estudada, é aceitável de acordo com os parâmetros indicados pelo manual de MSA?*

Os desafios inerentes ao presente trabalho são: estudos estatísticos avançados como o ANOVA, aprendizado do software Minitab e organização de uma coleta de dados de duração de seis meses.

## 1.2 Justificativa

Ao aplicar a ferramenta MSA e os estudos estatísticos envolvidos em uma situação real, o estudante tem a oportunidade única de vivenciar a metodologia na prática, e conduzir análises de extrema relevância para a empresa, uma vez que será determinado se o sistema de medição está adequado ou não. O estudante também tem a oportunidade de desempenhar uma coleta de dados extensa, interagindo com o laboratório de metrologia, inspetores da qualidade, líderes de produção e operadores. Com o objetivo de conduzir as análises e comparar os resultados com os parâmetros desejáveis, o estudante utiliza de conhecimentos avançados em estatística e software apropriado.

A avaliação do sistema de medição e a metodologia MSA são cruciais para as empresas, sobretudo as que objetivam o fornecimento para a indústria automotiva, já que tal avaliação é requisito da ISO/TS. Além da certificação, o estudo do sistema de medição possibilita outros objetivos de mesma importância, de acordo com o manual de análise dos sistemas de medição (MSA) desenvolvido pelo AIAG (2010): a decisão de se ajustar um processo de manufatura normalmente é baseada em dados de medição. Os dados de medição ou algum cálculo estatístico derivado destes, são comparados com limites de controle dos

processos, e partindo dessa comparação é determinado se o processo está fora ou não de controle estatístico, e se estiver, os devidos ajustes são realizados.

Os custos relacionados com esse projeto, como utilização do tempo dos operadores para as medições das amostras bem como o uso de número considerável de amostra de material acabado, equipamentos e software avançado são amortizados pela qualidade assegurada das decisões tomadas a partir dos dados de medições, qualidade dos produtos enviados aos clientes e prevenção de equívocos relacionados ao sistema de medição.

### **1.3 Objetivos**

#### **Objetivo geral**

O presente estudo tem como objetivo assimilar a aplicação do MSA na indústria siderúrgica, bem como entender a estatística presente nessa ferramenta e avaliar o sistema de medição.

#### **Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste estudo podem ser elencados da seguinte forma:

- 1- Buscar artigos científicos que detalhem a aplicação do MSA.
- 2- Buscar artigos científicos que apresentem os resultados após a aplicação do MSA.
- 3- Entender a aplicação dos estudos de repetitividade, reprodutibilidade, tendência, linearidade e estabilidade na indústria.
- 4- Aplicar o MSA na indústria estudada, obtendo assim o aprendizado prático.
- 5- Coletar dados e analisá-los estatisticamente através do Minitab.
- 6- Analisar e avaliar o sistema de medição do micrômetro.
- 7- Sugerir melhorias com base nas análises do estudo de MSA.

## 1.4 Hipótese

A hipótese formulada é a de que os sistemas de medições atuais da indústria estudada são adequados e estáveis, uma vez que o atual sistema de medição dos micrômetros tem se mantido inalterado na indústria em questão e não houve mudanças significativas no processo de produção do acabamento de barras e acabamento de aço fino.

O presente estudo também pretende demonstrar que o MSA é uma ferramenta eficaz para a análise e validação dos sistemas de medição. Parte-se do princípio que o manual do MSA desenvolvido pelo grupo AIAG, bem como os artigos pesquisados, oferecerá suporte necessário para a análise e validação do sistema de medição dos micrômetros.

De acordo com o manual de MSA desenvolvido pelo AIAG (2010) um sistema de medição aceitável deve ter os seguintes parâmetros:

1. Percentual de Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R) deve ser menor que 10%.
2. A linha de “tendência=0” deve estar inteiramente contida na faixa de confiança da linha de melhor ajuste.
3. Cartas de controle devem demonstrar que os dados de estabilidade do processo de medição estão sob controle.
4. A Tendência deve apresentar um P-valor  $\geq 0,05$

## 2. Revisão de Literatura

Devido a complexidade que a aplicação prática da ferramenta MSA apresenta, um estudo dos principais assuntos envolvidos se faz necessário para a uma implementação bem sucedida. Tópicos como qualidade, gestão dos sistemas de qualidade, ISO/TS16949 e conceitos estatísticos relacionados com o MSA serão explorados, com o objetivo de obter repertório suficiente para aplicar o MSA na indústria siderúrgica estudada.

### 2.1 Qualidade

É evidente que a qualidade se tornou uma estratégia de negócios imprescindível para muitas organizações, estejam elas relacionadas com produção, distribuição, transporte, finanças, saúde e governo. A qualidade é uma vantagem competitiva. Uma organização que consegue deslumbrar seus clientes através da melhoria e do controle da qualidade domina o seus competidores. Desta forma, o entendimento dos conceitos de qualidade, bem como sua correta aplicação, é de extrema importância para as organizações.

De acordo com Oakland (2007) “qualidade” pode ser definida das seguintes formas:

1. Adequação à finalidade ou uso.
2. A totalidade dos aspectos e características de um produto ou serviço, importantes para que ele possa satisfazer às necessidades exigidas ou implícitas.
3. Deve ter como objetivo as necessidades do usuário, presentes e futuras.
4. O total das características de um produto e de um serviço referentes a marketing, engenharia, manufatura e manutenção, pelas quais o produto ou serviço, quando em uso, atenderá as expectativas do cliente.
5. Conformidade com as exigências.

Garvin também desenvolveu definições deveras relevantes no âmbito da qualidade. Após um estudo detalhado e aprofundado sobre as variadas vertentes de qualidade existentes no ambiente corporativo e na literatura, Garvin (1987) identificou cinco abordagens distintas da qualidade: transcendental, baseada no produto, baseada no usuário, baseada na produção e baseada no valor. As abordagens mencionadas apresentam diferentes aspectos do complexo conceito de qualidade, conforme síntese do Quadro 1:

Quadro 1. Abordagens da Qualidade

Abordagem	Definição	Origem
Transcendental	Qualidade é o sinônimo de excelência inata. É absoluta e universalmente reconhecível.	" A qualidade não é nem pensamento nem matéria, mas uma terceira entidade independente das duas... Ainda que qualidade não possa ser definida, sabe-se que ela existe" (PIRSIG,1974)
Baseada no produto	Qualidade é uma variável precisa e mensurável, oriunda dos atributos do produto.	" Diferenças na qualidade equivalem a diferenças na quantidade de alguns elementos ou atributos desejados." (ABBOTT,1955)
Baseada no usuário	Qualidade é uma variável subjetiva. Produtos de melhor qualidade atendem melhor aos desejos do consumidor	" A qualidade consiste na capacidade de satisfazer desejos..." (EDWARDS,1968) " Qualidade é a satisfação das necessidades do consumidor...Qualidade é adequação ao uso." (JURAN,1974)
Baseada na produção	Qualidade é uma variável precisa e mensurável, oriunda do grau de conformidade do planejado com o executado. Esta abordagem dá ênfase a ferramentas estatísticas ( controle do processo);	"Qualidade é a conformidade às especificações" "...prevenir não conformidades é mais barato que corrigir ou refazer o trabalho." (CROSBY,1979)
Baseada no valor	Relaciona conceitos de excelência e valor, destacando os <i>trade-off</i> qualidade x preço. Esta abordagem dá ênfase à Engenharia/ Análise de Valor-EAV	"Qualidade é o grau de excelência a um preço aceitável." ( BROH, 1974)

Fonte: adaptado de Paladini et. al (2012)

Baseado nas cinco abordagens da qualidade, David Garvin (1992) desenvolveu as oito dimensões da qualidade:

1- Desempenho: refere-se às características operacionais básicas do produto. Como exemplo pode-se citar a eficiência de determinado veículo, o pleno funcionamento de um eletrodoméstico.

2- Características: são as características ou especificações que diferenciam um produto de seus concorrentes. Pode ser entendido também como as funções secundárias do produto que completam o funcionamento básico do mesmo.

3- Confiabilidade: a confiabilidade de um produto está relacionada com a probabilidade do mesmo de apresentar defeitos durante um intervalo de tempo estabelecido, mediante condições definidas de uso. A confiabilidade pode ser mensurada através dos seguintes indicadores associados ao tempo: MTTF (*Mean Time to Failure*), MTBF (*Mean Time Between Failures*) e MTTR (*Mean Time to Repair*).

4- Conformidade: a conformidade está relacionada com o grau em que um produto está de acordo com as especificações ou padrões estabelecidos, incluindo as características operacionais. Reflete também, mesmo que indiretamente, o atendimento aos requisitos do cliente.

5- Durabilidade: a durabilidade se refere à medida da vida útil de um produto, ou seja, o uso proporcionado por determinado produto, até que o mesmo seja substituído por outro produto ou reparado. Tal medida considera aspectos técnicos, aspectos econômicos e o tempo de uso necessário para que o produto deteriore. A durabilidade apresenta forte ligação com a confiabilidade.

6- Atendimento: o atendimento tem como objetivo assegurar a continuidade dos serviços contemplados pelo produto após a venda do mesmo. Apresenta aspectos como rapidez, facilidade de reparo, cortesia, competência e pontualidade de entrega. Como exemplo pode-se citar a assistência técnica, o serviço de atendimento ao cliente e a tratativa de reclamação de consumidor.

7- Estética: a estética pode ser considerada uma dimensão subjetiva, uma vez que a mesma se relaciona com a aparência do produto, contemplando tanto aspectos físicos quanto sensoriais. Trata-se de um julgamento pessoal e reflexivo das preferências do consumidor. Como exemplo pode-se citar o sabor, cheiro, aparência e sentimentos provocados pelo produto.

8- Qualidade percebida: a qualidade percebida se traduz no grau em que produto provoca uma reação inicial positiva ou adversa nos consumidores. Fatores como reputação do produto, força da marca e marketing influenciam na qualidade percebida.

Para aplicar devidamente os conceitos de qualidade, bem como seguir as políticas e objetivos desta, é necessário compreender, implementar e manter um Sistema de Gestão da Qualidade.

## 2.2 Sistema de Gestão da Qualidade

A ISO (9001:2008) define o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) da seguinte forma: “É um sistema de gestão que permite dirigir e controlar uma organização no que respeita à Qualidade”

Já Sashkin e Kiser (1994, p. 34) definem que “sistema de gestão da qualidade significa que a cultura da organização é definida pela busca constante da satisfação do cliente através de um sistema integrado de ferramentas, técnicas e treinamento. Isso envolve a melhoria continuados processos organizacionais, resultando em produtos e serviços de alta qualidade”.

Mello et. *al* (2002) também desenvolveu uma definição relevante de Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), ao afirmar que tal sistema faz referência a tudo o que uma organização realiza para gerir seus processos e atividades.

O Sistema de Qualidade, segundo a ISO 9001, objetiva a prevenção de não-conformidades, o que reflete nos requisitos de adoção de práticas de correção de não-conformidades e ações corretivas para evitar a recorrência das mesmas (CHAN, 1999).

De acordo com Feigenbaum (1994), SGQ é uma estrutura operacional ampla e documentada, seguindo os procedimentos técnicos e gerenciais integrados e efetivos. Desta forma, é possível guiar ações coordenadas de pessoas, máquinas e dados de forma mais adequada e prática, o que resulta em maior satisfação do cliente frente à qualidade e os custos da mesma.

Para Karapetrovic (1999), o SGQ é um estabelecimento de processos que funciona de forma harmoniosa, na qual variados recursos são utilizados para executar os objetivos da qualidade, ou seja, há uma interação entre os recursos, materiais e informações.

O Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) poder ser definido como: Sistema de gestão (sistema que estabelece política e objetivos, e a finalidade é atingi-los) para dirigir e controlar uma organização (grupo de facilidades e pessoas com um conjunto de responsabilidades, autoridades e relações), no que diz respeito à qualidade (grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz a requisitos) (ABNT, 2005).

Gustafsson et al. (2001) afirma que o Sistema de Gestão da Qualidade cria o apoio e base para a garantia da qualidade em uma organização. O sistema deve ser documentado de

acordo com a norma. Tal documentação é um suporte tanto para a melhoria dos procedimentos e produtos da organização, como uma base para a auditoria da qualidade da empresa.

O Sistema de Gestão da Qualidade é um sistema abrange variados processos, sendo conseqüentemente um sistema amplo e que envolve a organização como um todo. O SGQ muitas vezes é monitorado por auditorias e sujeito a normas, tópicos estes que serão abordados no item 2.3 (normalização) do presente trabalho. A figura 1 relaciona os diversos processos dentro de um Sistema de Gestão da Qualidade e o processo de melhoria continua do mesmo.

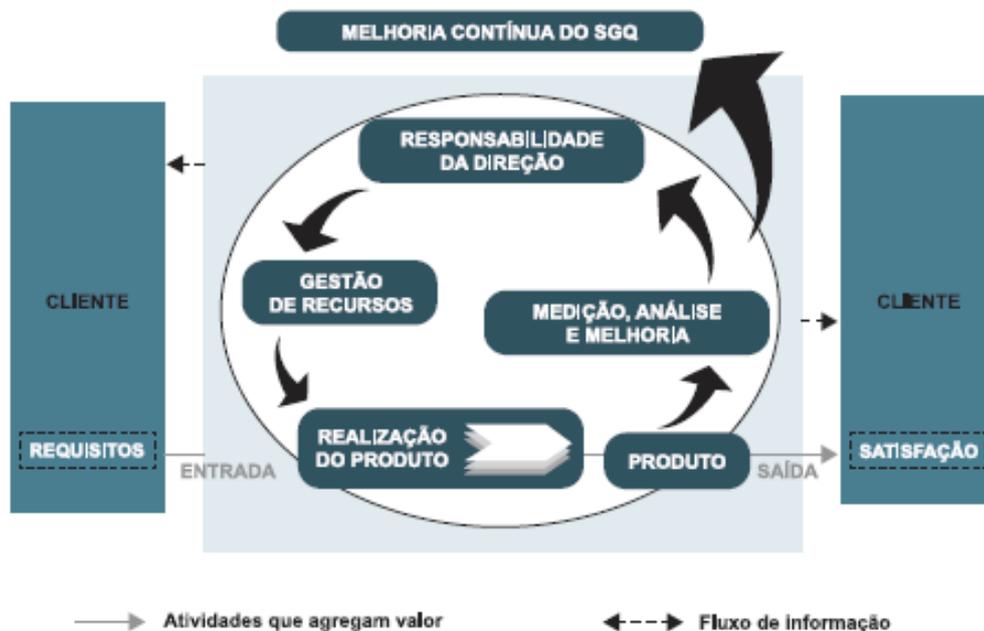


Figura 1. Melhoria Contínua dos Processos de SGQ

Fonte: adaptado de ABNT (2001)

Sobre a pertinência e implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), a ABNT ressalva que a adoção de um sistema de gestão da qualidade deve ser uma decisão estratégica da organização. O projeto e a implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade de uma organização são influenciados por: seu ambiente organizacional; alterações neste ambiente e os riscos associados com este ambiente; suas necessidades que se alteram; seus objetivos particulares; produtos fornecidos; processos utilizados; e seu porte e estrutura organizacional (ABNT, 2008, p.6).

A ISO 9001 (2012) destaca os oito princípios da qualidade nos quais os Sistemas de Gestão de Qualidade das series ISO 9000 estão baseados:

1. Focalização do cliente: as organizações dependem dos seus clientes, logo é indispensável às mesmas identifiquem e atendem as necessidades atuais e futuras do cliente, bem como seus requisitos, buscando sempre que possível exceder suas expectativas.
2. Liderança: a organização deve criar e manter um ambiente interno, no qual seus colaboradores possam estar totalmente envolvidos no propósito de atingir os objetivos da organização.
3. Envolvimento das pessoas: as pessoas, em todos os níveis organizacionais, são a essência das organizações. O envolvimento destas possibilita que as suas habilidades sejam utilizadas para o benefício da organização.
4. Abordagem por processo: um resultado desejado é alcançado de forma mais eficiente quando as atividades e os recursos relacionados são administrados como em um processo. Para a organização funcionar de forma eficaz, a mesma deve determinar e gerir diversas atividades interligadas. Uma atividade ou conjunto de atividades que utiliza recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de *inputs* em *outputs* pode ser considerada um processo. Frequentemente a saída de um processo representa a entrada para o processo seguinte.
5. Abordagem da gestão como um sistema: identificar, entender e gerenciar processos inter-relacionados como em um sistema contribui para a eficácia e eficiência da organização em atingir os seus objetivos.
6. Melhoria contínua: a melhoria continua do desempenho geral da organização deve ser um objetivo permanente para a organização. A organização deve buscar sempre melhorar continuamente seus processos, produtos e serviços.
7. Abordagem factual para tomada de decisão: decisões eficazes são baseadas na análise de dados e informação. As decisões a serem tomadas, nos variados níveis de decisão, são baseadas em análise detalhada de dados e indicadores, de forma a identificar a decisão mais correta.
8. Relações de mútuo benefício com os fornecedores: uma organização e seus fornecedores são independentes e uma relação de benefícios mútuos aumenta a habilidade de ambos em gerar valor.

Acerca dos benefícios de utilizar o Sistema de Gestão da Qualidade baseado na ISO 9001, Paladini (1995) afirmou que a certificação ISO 9001 de um SGQ representa uma estratégia indispensável para a organização, sobretudo ao considerar uma atuação em mercados competitivos. A utilização da ISO 9001 facilita o comércio entre diferentes países, criando condições para a plena globalização da economia. Entre os benefícios, destacam-se:

1. Maior confiança dos clientes para cumprir compromissos acordados
2. Maior controle do negócio pela alta direção: a organização tem condições de antecipar os problemas que possam ocorrer nos processos, agindo dessa forma preventivamente e evitando sistematicamente a ocorrência de falhas.
3. Estrutura da qualidade melhor definida, logicamente organizadas e de amplo alcance.
4. Redução de custos de produção pela padronização e redução dos defeitos. Sendo que essa redução pode representar uma vantagem competitiva.
5. Valorização do conceito de qualidade e incorporação da mesma como uma cultura organizacional.

O Sistema de Gestão da Qualidade representa um conjunto de regras documentadas que organiza o funcionamento eficiente e eficaz da função Qualidade. Instrumentos como procedimentos, instruções de trabalho, formulários, registros bem como a documentação do mesmo se fazem necessários nas organizações, uma vez que estes asseguram a padronização das atividades desempenhadas, evitando assim que as atividades sejam conduzidas de forma particular e que recursos de capital, maquinário e tempo sejam empregados de maneira eficiente.

O Sistema de Gestão da Qualidade é uma ferramenta de gestão crucial para a organização, visto que a mesma demanda uma revisão e análise crítica dos processos e indicadores de desempenho da organização, bem como o monitoramento do nível de satisfação do cliente. Portanto, o SGQ é uma estrutura organizacional que é instituída para garantir os objetivos da qualidade, nos diferentes estágios de produção, através de um controle abrangente, sistêmico e integrado.

Com o objetivo de obter um SGQ eficiente, a normalização e conseqüentemente a padronização dos processos são necessárias. Com isso, a organização teria plenas condições de controlar seus processos bem como agir quando os mesmos não estiverem de acordo com o padrão estabelecido.

## 2.3 Normalização

De acordo com Lafuente *et. al* (2001), a *International Organization for Standardization* (ISO) surgiu como uma forma de superar as dificuldades de fornecimento e avaliar a qualidade da produção dos fornecedores. Sendo assim, um grupo de organismos de normalização de diversos países juntou-se com o objetivo de fundar, em 1947, a *International Organization for Standardization* (ISO), com sede em Genebra, na Suíça. O objetivo desta organização é fornecer uma série de normas ou padrões internacionais, os quais uma vez adotados, podem ser auditados por auditores externos independentes e especializados para esse fim. Desta forma, o comércio internacional é facilitado, e os termos de qualidade e padrão harmonizados.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) define normalização como “atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem em um dado contexto.”

A normalização surgiu com o objetivo de criar um padrão para todas as organizações, portanto quando uma organização é certificada, por exemplo na ISO 9001, sabe-se que tal organização cumpre com os requisitos desta norma.

A normalização passou a ser tratada de forma sistemática a partir da Revolução Industrial, quando houve a necessidade de produzir peças compatíveis entre si através de um sistema de padrões. A normalização acompanhou a evolução industrial devido a necessidade de racionalizar a produção na indústria, de forma a assegurar o intercâmbio de peças, redução de estoques para viabilizar os trabalhos de manutenção, aumento de produtividade e redução de custos. O início da normalização ocorreu com a publicação de duas normas sobre controle estatístico de qualidade. É notável que em épocas de guerra ou crise econômica, há um aumento das atividades normativas. Tal fato é explicado pelo objetivo da normalização, que é elevar ao máximo o rendimento da produção industrial.

O cenário atual de grande competitividade e exigências crescentes fazem com que sejam indispensáveis para as empresas a incorporação de novas tecnologias, produtos, processos e serviços bem como aprimoramento da capacidade produtiva e redução de custo. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) afirma que a normalização é usada de forma a reduzir o custo da produção e do produto, mantendo ou melhorando sua qualidade.

A ABNT (2009) destaca os seguintes objetivos da normalização:

1. Economia: possibilitar a redução da crescente variedade de produtos e procedimentos.
2. Comunicação: viabilizar meios mais eficientes de comunicação entre o fabricante e o cliente, melhorando assim a confiabilidade das relações comerciais e de serviços.
3. Segurança: zelar pela vida humana e saúde
4. Proteção do consumidor: providenciar para a sociedade de meios eficazes para aferir a qualidade dos produtos
5. Eliminação das barreiras técnicas e comerciais: evitar a existência de regulamentos conflitantes sobre produtos e serviços, possibilitando assim, o intercâmbio comercial.

Os seguintes benefícios da normalização podem ser observados no Quadro 2, ao aplicá-la nas organizações:

Quadro 2. Benefícios da Normalização.

Benefícios Qualitativos	Benefícios Quantitativos
Utilizar adequadamente os recursos ( equipamentos, materiais e mão-de-obra).	Reduzir o consumo de materiais Reduzir o desperdício
Uniformizar a produção	Padronizar componentes
Facilitar o treinamento da mão-de-obra, melhorando seu nível técnico	Padronizar equipamentos Reduzir a variedade de produtos
Registrar o conhecimento tecnológico	Fornecer procedimentos para cálculos e projetos
Facilitar a contratação ou venda de tecnologia	Aumentar a produtividade Melhorar a qualidade Controlar processos

Fonte: adaptado de ABNT (2009).

Com relação aos benefícios da normalização mencionados, enfatiza-se a série de normas ISO 9000, a qual é composta pelas normas:

1. ISO 9000 de 2005 - Fundamentos e vocabulários de Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ);
2. ISO 9001 de 2008 - Requisitos do SGQ;
3. ISO 9004 de 2000 - Diretrizes para melhoria de desempenho de SGQ;
4. ISO 19011 de 2002 - Diretrizes para auditorias de sistemas de gestão da qualidade e/ou ambiental.

### **2.3.1 ISO 9001:2008**

Segundo a ABNT (2009), a norma ISO 9001 especifica requisitos para o Sistema de Gestão da Qualidade visando aplicação interna, certificação ou fins contratuais. Tal norma está focada na eficácia do sistema de gestão da qualidade em atender aos requisitos dos clientes.

O Sistema de Gestão da Qualidade em conformidade com a ISO 9001:2008 é composto por: sistema de qualidade, responsabilidade da direção, gestão de recursos, realização do produto e medição, análise e melhoria (CARPINETTI, MIGUEL E GEROLAMO, 2007).

Não diferentemente, a ABNT (2009) detalha que os cinco principais capítulos que compõe a ISO 9001 são:

- a) Capítulo 4: Sistemas de Gestão da Qualidade, o qual inclui requisitos gerais para a implantação de um sistema de qualidade.
- b) Capítulo 5: Responsabilidade da Administração, cujo capítulo destaca o papel da alta administração da organização, política da qualidade, planejamento, administração e revisão do Sistema de Gestão da Qualidade.
- c) Capítulo 6: Gestão de recursos, que aborda recursos necessários para o sucesso do sistema da qualidade, sobretudo os recursos humanos e as necessidades de treinamento e envolvimento. Inclui também a infraestrutura e o ambiente de trabalho.
- d) Capítulo 7: Realização do Produto, cujo capítulo trata de controle de processo de desenvolvimento do produto, a adequação do mesmo aos requisitos do

projeto bem como aquisição, entrega e processos relacionados ao cliente, incluindo a comunicação.

- e) Capítulo 8: Medição, Análise e Melhoria, que aborda os processos necessários de monitoramento, medição, análise e melhoria para evidenciar a conformidade do produto, do sistema de gestão e melhoria contínua do Sistema de Gestão da Qualidade.

O sistema de gestão fundamentado na ISO 9001, os quais apresentam uma abordagem de processos, são baseados na metodologia PDCA - *Plan, Do, Check, Act* (ABNT, 2008). *Plan* significa planejar, estabelecer os objetivos e processos necessários de acordo com os requisitos dos clientes. *Do* diz respeito a fazer, ou seja, implementar e executar os processos. *Check* denota checar, monitorar e medir os resultados, estabelecendo uma comparação com os objetivos estabelecidos. *Act* significa agir, melhorando continuamente os processos. A figura 2 demonstra a metodologia PDCA.

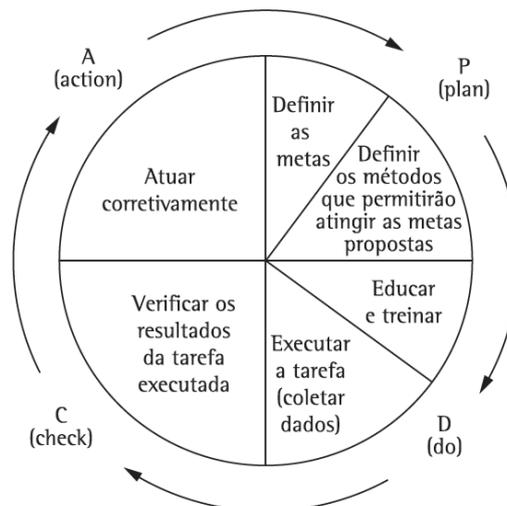


Figura 2. Ciclo PDCA

Fonte: adaptado de ISO 9001 (2008).

Com o intuito de obter a excelência operacional, as organizações desenvolvem e implementam o Sistema de Gestão da Qualidade baseado na norma ISO 9001 (ZENG; TIAN; SHI, 2005). Porém, para se obter o desempenho esperado pelo sistema de gestão, além das mudanças internas, os *stakeholders* devem compartilhar dos propósitos da qualidade, bem como apoiar as mudanças necessárias. Heuvel (2005) também destaca que para obter o resultado pretendido, o comprometimento da alta direção é de suma importância, uma vez que

a própria norma ISO 9001 preconiza que nos processos de desenvolvimento e implantação do sistema recursos (financeiros, humanos e de infraestrutura) deverão ser disponibilizados em intensidades e momentos bastante específicos.

Com relação ao surgimento e revisões da norma ISO 9001, Galbinski (2008) afirma que a primeira versão da norma ISO 9001 é de 1987, e após houve mais duas revisões, em 1994 e 2000. Em 2008, foi lançada uma emenda, sendo esta a última alteração ocorrida na norma ISO 9001. As pequenas alterações realizadas na emenda de 2008 tiveram o intuito de melhorar a interface com a ISO 14001:2004 - Sistema de Gestão Ambiental. O Quadro 3 elenca a macroestrutura da norma ISO 9001:

Quadro 3. Estrutura da Norma ISO 9001:2008

Macroestrutura da norma ISO 9001
0 - Introdução
1 - Objetivo
2 - Referência normativa
3 - Termos e definições
4 - Sistema de Gestão da Qualidade
5 - Responsabilidade da Administração
6 - Gestão de recursos
7 - Realização do produto
8 - Medição, análise e melhoria

Fonte: adaptado de ISO 9001 (2008).

Com relação aos benefícios oriundos de um SGQ baseado na ISO 9001, Lagrosen (2007) afirma inúmeros benefícios são obtidos pela organização com a aplicação da ISO 9001, sendo os principais: aumento da eficiência operacional, diminuição da variabilidade de processo, maior conformidade de produtos e serviços, redução de falhas, diminuição dos custos com retrabalhos e perdas, atendimento dos requisitos de cliente com aumento da satisfação do mesmo, aumento das vantagens competitivas e melhoria da imagem da empresa. Bhuyian e Baghel (2005) ressaltam que a implementação e gerenciamento bem-sucedidos do SGQ resultam em racionalização no uso de insumos, maior controle de processos com consequente redução do desperdício e conscientização da mão de obra em relação a importância do trabalho executado por esta.

Como um dos principais clientes da empresa em estudo é a indústria automotiva, a entendimento, e a correta aplicação e monitoramento dos requisitos da ISO/TS são indispensáveis para a vantagem comercial da organização estudada. A ISO/TS, lançada em 1999, é uma adaptação da ISO 9001 com o objetivo de atender aos requisitos normativos das principais montadoras americanas, alemãs, francesas, italianas e orientais.

### 2.3.2 ISO/TS 16949

De acordo com a ISO (2009), a ISO/TS 16949:2009, em conjunto com a ISO 9001:2008, define os requisitos de Sistema de Gestão da Qualidade para o design, desenvolvimento, produção, e quando aplicável, instalação e serviços dos produtos relacionados à indústria automotiva. A ISO/TS pode ser aplicada a toda cadeia de suprimento automotiva.

O objetivo desta especificação técnica, nota-se que TS significa *technical specification*, é o desenvolvimento de um sistema da qualidade que promova a melhoria contínua, com ênfase na prevenção de defeitos e na redução de variações e perdas na cadeia de fornecimento. A ISO/TS também alinha as exigências do existente sistema de qualidade automotivo com a indústria automotiva global, evitando assim, múltiplas normas e auditorias de certificação.

Segundo a British Standards Institution (2014), A ISO/TS 16949 foi desenvolvida pela Força Tarefa Automotiva Internacional (IATF), *International Automotive Task Force*, com o intuito de estimular a melhoria da cadeia de suprimentos e do processo de certificação. De fato, para a maior parte dos fabricantes automotivos líderes de mercado, a certificação para esta especificação é um requisito obrigatório para a comercialização. Esta especificação técnica se alinha e suplanta as normas automotivas dos sistemas de qualidade norte-americano, alemão, francês e italiano existentes, incluindo as especificações QS-9000, VDA6.1, EAQF e a ASQ.

A abrangência da ISO/TS é notada na sua própria concepção, uma vez que o grupo que a desenvolveu - IATF – é um grupo composto pelas principais montadoras e suas respectivas associações comerciais, grupo qual foi formado para providenciar a melhoria da qualidade dos produtos para os clientes automotivos globais. O grupo IATF é composto pelos seguintes membros (NQA, 2010):

BMW Group, Fiat Chrysler Automobiles, Daimler AG, Ford Motor Company, General Motors Company, PSA Peugeot Citroen, Renault SA, Volkswagen AG, AIAG (Estados Unidos), ANFIA (Itália), FIEV (França), SMMT (Reino Unido), VDA (Alemanha).

A norma ISO/TS especifica os requisitos para a concepção, desenvolvimento, produção, instalação e manutenção de todos os produtos automotivos. Esta norma foi publicada em março de 1999 e revisada em 2002 e em 2009, e apresenta 47.500 certificados nas principais áreas de negócios das Américas, Europa e Ásia (BSI, 2014).

A British Standards Institution (2014) afirma que os principais benefícios de se obter a certificação na ISO/TS são:

1. Obtenção de licença para negociar internacionalmente e conseqüentemente expandir os negócios;
2. Melhoria de processos para reduzir os desperdícios e evitar defeitos;
3. Remoção da necessidade de múltiplos certificados para a fabricação de veículos;
4. Integração da ISO/TS 16949 com outros sistemas de gestão;
5. Demonstração de conformidade com a norma internacional, obtendo assim novos negócios e perspectivas de investimento;
6. Possibilita a melhoria contínua dos processos;
7. Aumento do foco no cliente;
8. Transforma as operações da empresa, de forma a promover a prevenção em vez da detecção somente.

Em suma, o grande objetivo da ISO/TS é o desenvolvimento de um Sistema de Gestão da Qualidade que providencie a melhoria contínua, enfatizando a prevenção de defeito, a redução da variação e desperdício na cadeia de suprimentos. De acordo com a British Standards Institution (2014), as principais ferramentas da ISO/TS para a prevenção de defeito e redução da variação são:

1. FMEA (Failure Mode Effective Analysis) - Análise do Modo e Efeito de Falha
2. PPAP (Production Part Approval Process) - Processo de Aprovação da Peça de Produção
3. APQP (Advance Product Quality Plan) - Planejamento Avançado da Qualidade do Produto
4. SPC (Statistical Process Control) - Controle Estatístico de Processo
5. MSA (Measurement System Analysis) – Análise do Sistema de Medição

A ISO/TS 16949:2009 contém critérios específicos sobre o MSA, conforme o item 7.6 da norma, Controle de Dispositivos de Medição e Monitoramento (ISO, 2009):

#### “7.6.1 Análise do Sistema de Medição

Estudos estatísticos devem ser conduzidos para analisar a variação presente nos resultados de cada tipo de sistema de equipamento de medição e ensaio. Este requisito deve aplicar aos sistemas de medição referenciados no plano de controle. Os métodos analíticos e os critérios de aceitação usados devem estar conforme àqueles no manual de referência do cliente para as análises dos sistemas de medição. Outros métodos analíticos e critérios de aceitação podem ser usados se aprovados pelos clientes.”

## **2.4 Measurement System Analysis (MSA)**

Segundo o IQA (2004), a função básica do MSA é verificar se o sistema de medição é adequado ou não, objetivando-se avaliar ou controlar um determinado processo ou produto, e se possível, identificar as causas da não adequação do sistema. Já o grupo AIAG (2010) salienta que a quarta edição do manual do MSA tem como propósito apresentar diretrizes para a avaliação da qualidade de um sistema de medição. O foco principal de aplicação do MSA são os sistemas de medição onde as leituras podem ser replicadas em cada peça.

O grupo Iveco Itália (2011), define o MSA como um conjunto de método de avaliação com o escopo de determinar a variação dos resultados obtidos através do sistema de medição (instrumento de medição, método de medição, funcionários envolvidos com as medições, etc.) é aceitável em relação ao campo de tolerância prescrito pela característica do produto/parâmetro do processo objeto da medição.

A análise do sistema de medição requer o uso de ferramentas estatísticas, que permitem a avaliação do grau de confiabilidade dos dados gerados pelos sistemas de medição utilizados pela empresa. Tendo em vista que no gerenciamento de processos os dados representam a base para a tomada de decisão, é necessário determinar anteriormente a qualquer análise, se os sistemas de medição fornecem resultados aceitáveis. Desta forma, a avaliação estatística da qualidade das medidas geradas pelos sistemas de medição é um estudo indispensável para o gerenciamento de processos (ABDI, 2013).

Para a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2013), devido a importância dos dados para as atividades de gerenciamento de processos, é imprescindível que as medições realizadas para a coleta de dados sejam confiáveis, com o intuito de garantir que as ações a serem tomadas, baseadas nas análises dos dados de medição, sejam realmente adequadas.

O manual de MSA da AIAG (2010) orienta que a qualidade dos dados de medição está relacionada com as propriedades estatísticas das múltiplas medições obtidas de um sistema de medição operando sob condições estáveis. Uma das razões que mais contribui para a baixa qualidade dos dados é a variação excessiva.

### **2.4.1 Fontes de Variação**

Assim como em todos os processos, o sistema de medição é impactado por ambas as fontes de variação, aleatórias e sistemáticas. Tais fontes de variação são devido a causas comuns e especiais. Para controlar a variação do sistema de medição deve-se (AIAG, 2010):

1. Identificar as fontes de variação potenciais
2. Eliminar, sempre que possível, ou monitorar essas fontes de variação.

A AIAG (2010) afirma que embora as causas específicas dependam da situação, algumas fontes de variação típicas podem ser identificadas. Existem diversos métodos de apresentação e categorização dessas fontes de variação, tais como: diagrama de causa e efeito, diagrama da árvore de falhas, etc. Os principais elementos de um sistema de medição genérico para garantir que os objetivos requeridos sejam atendidos são: padrão, peça, instrumento, pessoas/procedimentos e ambiente de trabalho.

Os fatores que afetam essas seis áreas devem ser compreendidos e assim, poderão ser eliminados. A figura 3, um diagrama de causa e efeito, demonstra exemplos de variação. Desde que as fontes de variação reais afetem um sistema de medição específicos, elas serão únicas daquele sistema (AIAG, 2010).

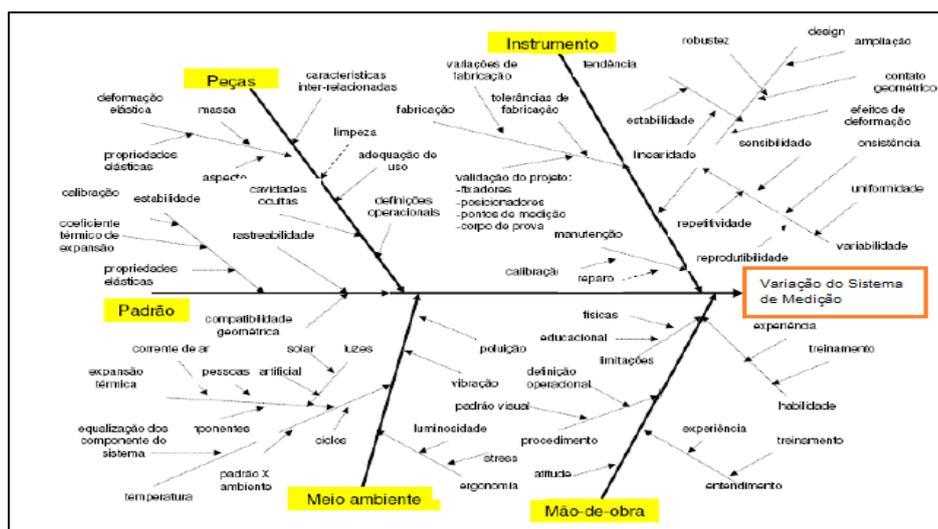


Figura 3. Variabilidade do Sistema de Medição.

Fonte: adaptado de AIAG (2010).

Os efeitos das várias fontes de variação sobre o sistema de medição devem ser avaliados no decorrer de um período de tempo, tanto um curto quanto um longo intervalo devem ser avaliados. Geralmente, assume-se que as medições são exatas, e comumente a análises e conclusões são baseadas nessa premissa. Os envolvidos no estudo de MSA podem não se atentar ao fato de que há variação no sistema de medição que afeta individualmente as medições, o que posteriormente afetará as decisões baseadas nos dados. O erro do sistema de medição pode ser classificado em cinco categorias: tendência, repetitividade, reprodutibilidade, estabilidade e linearidade (AIAG, 2010).

## 2.4.2 Variação do Processo de Medição

De acordo com o manual de MSA do AIAG (2010), para a maioria dos processos de medição, a variação total de medição é usualmente descrita como uma distribuição normal. A probabilidade normal é uma premissa dos métodos padrões de análise dos sistemas de medição. A Figura 4 demonstra a variação no processo de medição.

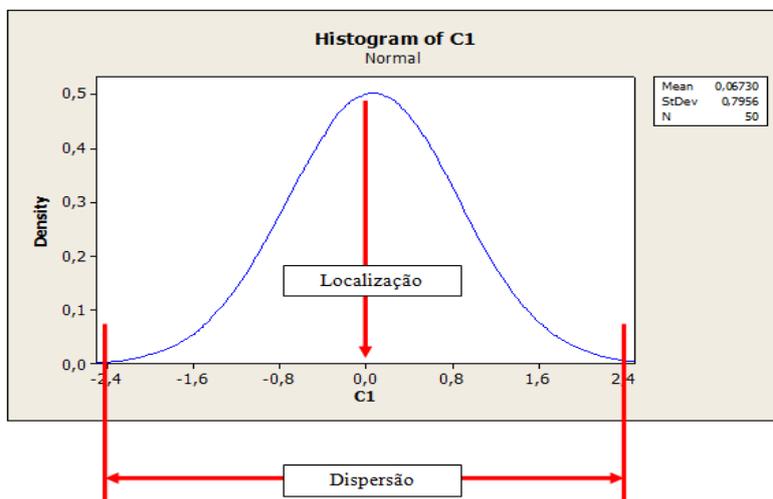


Figura 4. Exemplo das Características da Variação do Processo de Medição

Fonte: adaptado de AIAG (2010).

Como em qualquer processo, a distribuição que pode ser usada para descrever a variação do sistema de medição pode ser caracterizada por IQA (2002):

1. Localização
  - 1.1 Estabilidade
  - 1.2 Tendência
  - 1.3 Linearidade
2. Largura ou Dispersão
  - 2.1 Repetitividade
  - 2.2 Reprodutibilidade

### 2.4.3 Variação da Localização

#### 2.4.3.1 Tendência

A tendência é a diferença entre o valor verdadeiro (valor de referência) e a média observada das medições numa característica, em uma mesma peça. O valor de referência, também conhecido como o valor de referência aceito ou valor padrão, é um valor que serve como uma referência concordada para os valores medidos. Um valor de referência pode ser determinado tirando-se a média de várias medições feitas com um equipamento de medição de maior exatidão.

Segundo o AIAG (2010), as causas possíveis para uma tendência excessiva são:

1. O instrumento necessita de calibração;
2. Desgaste do instrumento, equipamento ou dispositivo de fixação;
3. Calibração inadequada;
4. Instrumento de baixa qualidade;
5. Erro de linearidade;
6. Dispositivo de medição errada para a finalidade aplicada;
7. Medição de característica errada;
8. Deformação (da peça ou do dispositivo de medição);
9. Ambiente (temperatura, umidade, vibração e limpeza);
10. Aplicação (tamanho da peça, posição, habilidade do operador, fadiga, erro de observação).

Em suma, a tendência é a diferença entre o valor de referência e a média observada, como demonstrada na Figura 5 (IQA, 2002).



Figura 5. Tendência

Fonte: AIAG (2010).

Segundo o IQA (2002), a tendência pode ser calculada da seguinte forma:

1. Tendência: Média Observada - Valor de Referência
2. A tendência pode ser expressa em termos percentuais, no qual a base de comparação é a variação total do processo (ABDI 2013):
  - 2.1  $Tendência\% = 100 \times Tendência / (6 \sigma)$
  - 2.2  $Tendência\% = 100 \times Tendência / Tolerância$

### 2.4.3.2 Estabilidade

Estabilidade, também conhecida como Desvio, é a variação total nas medições obtidas como um sistema de medição em uma dada peça ou peça padrão quando medindo uma característica única no decorrer de um período de tempo prolongado. Em outras palavras, a estabilidade é a variação da tendência ao longo do tempo (AIAG, 2010) conforme Figura 6.

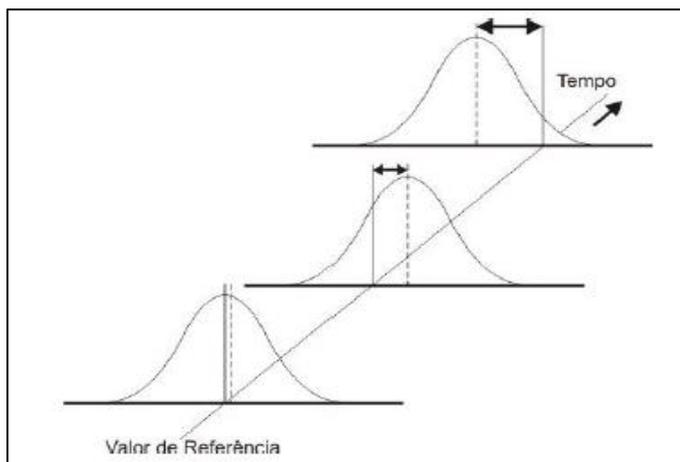


Figura 6. Estabilidade

Fonte: AIAG (2010).

O AIAG (2010) afirma que as causas possíveis para a instabilidade são:

1. Instrumento necessita de calibração;
2. Desgaste do instrumento, equipamento ou dispositivo de fixação;
3. Manutenção precária (ar, energia, hidráulica, filtros, corrosão, ferrugem, limpeza);
4. Instrumento de baixa qualidade;
5. Projeto de instrumento ou método não robusto;
6. Deformação (da peça ou do dispositivo de medição);
7. Deslocamento ambiental (temperatura, umidade, vibração e limpeza);
8. Aplicação (tamanho da peça, posição, habilidade do operador, fadiga, erro de observação).

A análise dos gráficos de controle representa um método para estudar a estabilidade de um sistema de medição. Desta forma, a média e a amplitude de leituras de padrões ou peças padrão são colocadas em gráficos com regularidade. Para um processo ser considerado estatisticamente estável, os pontos nos gráficos de controle devem distribuir-se aleatoriamente

em torno da linha média sem que haja padrões estranhos, tendências crescentes ou decrescentes, ciclos, estratificações ou misturas e pontos fora dos limites de controle (IQA, 2002). A Figura 7 mostra cartas de controle, com pontos fora dos limites de controle, denotando falta de instabilidade no sistema de medição:

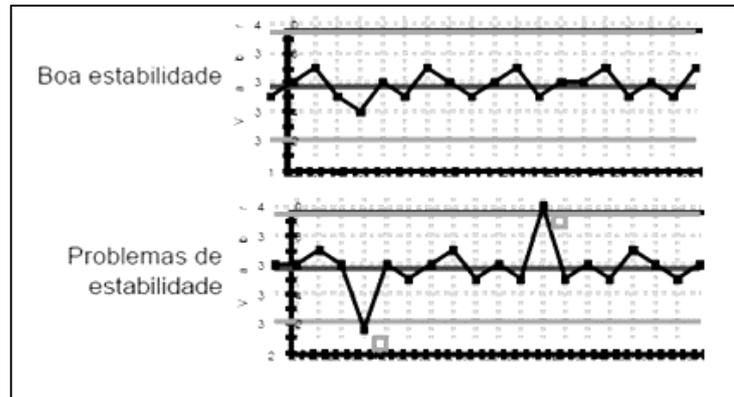


Figura 7. Análise da Estabilidade

Fonte: adaptado de ABDI (2013).

Segundo a AIAG (2010), além das análises das cartas de controle convencionais, não há análises numéricas específicas ou indicadores para a estabilidade.

### 2.4.3.3 Linearidade

A Linearidade pode ser determinada escolhendo-se peças ao longo da faixa de operação do dispositivo de medição. A tendência de cada peça escolhida é determinada pela diferença entre o valor de referência e a medição média observada. A inclinação da reta de regressão, que melhor ajusta a tendência média versus os valores de referência, multiplicada pela variação do processo (ou pela tolerância) das peças é um índice que representa a linearidade do dispositivo de medição (IQA, 2002). A Figura 8 demonstra a Linearidade.

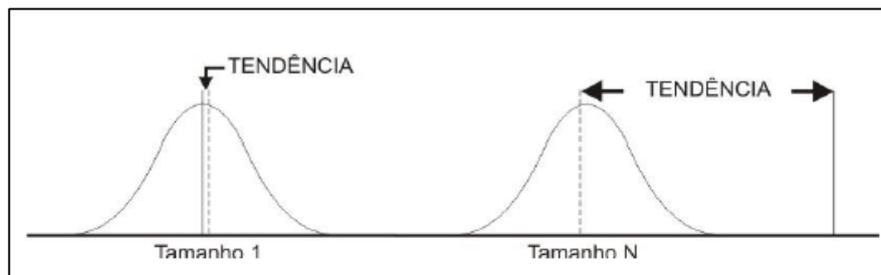


Figura 8. Linearidade

Fonte: AIAG (2010).

O IQA (2002) afirma que a linearidade e a percentagem da linearidade do sistema são calculadas a partir da inclinação da reta de regressão e da variação (ou a tolerância) das peças. A linha de regressão linear e o grau de ajuste ( $R^2$ ) da reta podem ser calculados conforme as fórmulas da Figura 9:

$$y = b + ax,$$

onde:

x = valor de referência

y = tendência

a = inclinação

$R^2$  = grau de ajuste

$$a = \frac{(\sum xy) - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{(\sum x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

$$b = \frac{(\sum y) - a(\sum x)}{n}$$

$$R^2 = \frac{\left[ (\sum xy) - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} \right]^2}{\left[ (\sum x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n} \right] \left[ (\sum y^2) - \frac{(\sum y)^2}{n} \right]}$$

Tendência  $b + ax$       Linearidade  $|$ Inclinação $| \cdot$ Variação do Processo

$$\% \text{ Linearidade} = 100 \left[ \frac{\text{Linearidade}}{\text{Variação do Processo}} \right]$$

Figura 9. Fórmulas para cálculo da linearidade

Fonte: adaptado de IQA (2002).

Geralmente, quanto menor a inclinação, melhor a linearidade do dispositivo de medição e o inverso também é válido, quanto maior a inclinação, pior a linearidade do dispositivo de medição (IQA, 2002). A AIAG (2010) determina que para a linearidade do sistema de medição ser aceitável, a linha de tendência=0 deve estar inteiramente contida na faixa de confiança da linha de melhor ajuste, conforme Figura 10.

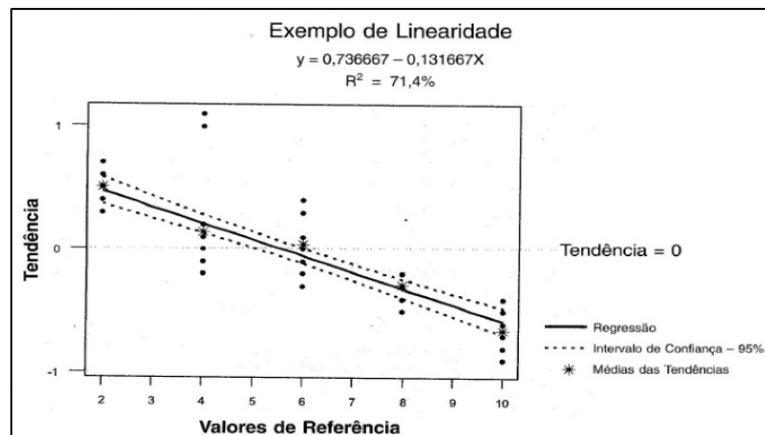


Figura 10. Análise Gráfica da Linearidade

Fonte: AIAG (2010).

## 2.4.4 Variação da Dispersão

### 2.4.4.1 Repetitividade

A repetitividade é a variação nas medições obtidas com um instrumento de medição, quando usada várias vezes pelo mesmo operador, enquanto medindo uma característica idêntica de uma mesma peça (AIAG, 2010). Em outras palavras, verifica-se se o grau de consistência de repetidas medições, realizadas sob as mesmas condições. De acordo com o IAQ (2012), a repetitividade é uma variação de causa comum (erro aleatório) decorrente de sucessivas repetições feitas sob condições definidas de medição. Desta forma, a repetitividade pode ser definida também como uma variação dentro do sistema. A Figura 11 demonstra a Repetitividade.

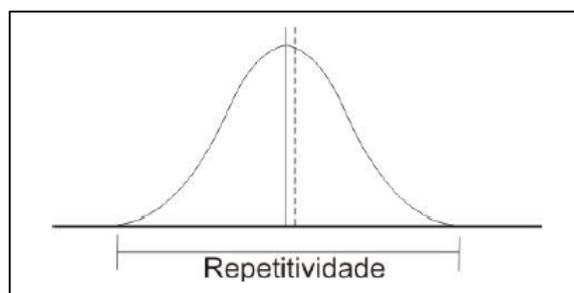


Figura 11. Repetitividade

Fonte: AIAG (2010).

Segundo a AIAG (2010), as possíveis causas da baixa repetitividade são:

1. Variação da peça (amostra): forma, posição, acabamento superficial, conicidade, consistência da amostra;
2. Variação do instrumento (reparo, desgaste, falha do equipamento ou dispositivo de fixação, baixa qualidade ou manutenção precária);
3. Variação do avaliador: (técnica, posição, falta de experiência, habilidade de manipulação e manuseio);
4. Variação do ambiente (umidade, vibração, iluminação e limpeza);
5. Projeto de instrumento não robusto ou método não robusto;
6. Dispositivo de medição errado para a finalidade;
7. Deformação (da peça ou do dispositivo de medição);
8. Aplicação (tamanho da peça, posição, erro de observação).

Os métodos para calcular a repetitividade serão explicados no item 2.4.4.4 Diretrizes para a Determinação da Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R).

### 2.4.4.2 Reprodutibilidade

De acordo com a AIAG (2010) é conhecida como a variabilidade entre os avaliadores. A reprodutibilidade pode ser definida como a variação das médias das medições feitas por diferentes operadores, utilizando um mesmo instrumento de medição, enquanto medindo uma mesma característica de uma mesma peça. Desta forma, a reprodutibilidade pode ser definida também como a variação média entre sistemas, ou entre condições de medição conforme Figura 12.

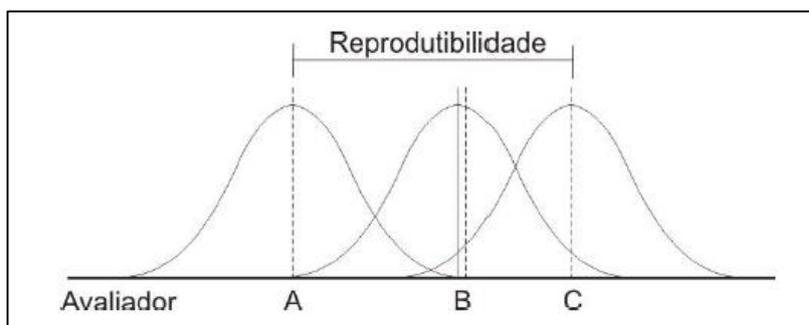


Figura 12. Reprodutibilidade

Fonte: AIAG (2010).

Segundo a AIAG (2010), as possíveis causas de erro de reprodutibilidade são:

1. Variação entre peças (amostras);
2. Variação entre métodos (diferença de médias causada pela mudança do ponto de densidade, sistema manual vs. Automático, métodos para zerar, fixar, apertar, etc.);
3. Variação entre operadores (diferença média entre operadores causada por treinamento, técnica, habilidade e experiência).
4. Variação entre ambientes;
5. Projeto ou instrumento não robusto;
6. Eficácia do treinamento do operador;
7. Aplicação (tamanho da peça, posição, erro de observação).

Os métodos para calcular a reprodutibilidade serão explicados no item 2.4.4.4 Diretrizes para a Determinação da Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R).

### 2.4.4.3 Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R) do Dispositivo de Medição

O R&R do dispositivo de medição pode ser definido como uma estimativa da variação combinada da repetitividade e reprodutibilidade. Em outras palavras, o R&R é a variância igual a soma das variâncias dentro do sistema e entre sistemas (AIAG, 2010), conforme Figura 13.

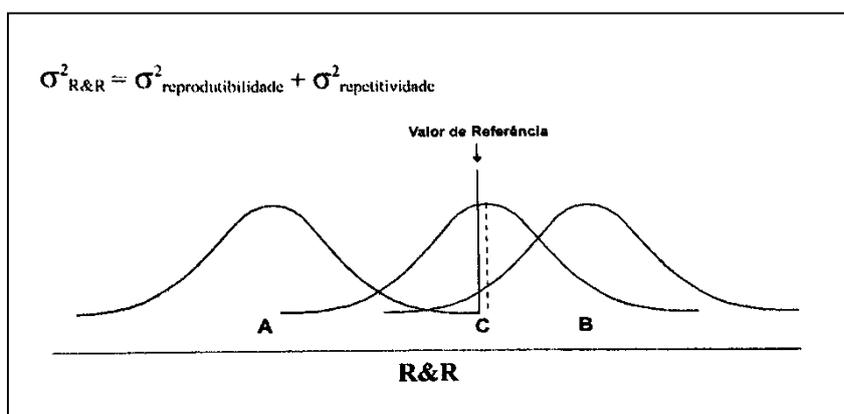


Figura 13. R&R

Fonte: AIAG (2010).

### 2.4.4.4 Diretrizes para a Determinação da Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R)

Os três métodos para realizar o estudo do Dispositivo de Medição serão abordados no presente item. Tais métodos são aceitáveis para os estudos que envolvam Dispositivo de Medição por variáveis, o que de fato será abordado neste estudo. Os métodos são (AIAG, 2010):

1. Método de Amplitude
2. Método da Amplitude e Média
3. Método ANOVA

Para a AIAG (2010), o melhor método para o estudo de R&R é o ANOVA, uma vez que esse método mede o erro de interação do operador com a peça no dispositivo de medição enquanto que os outros métodos não incluem essa variação.

#### 2.4.4.4.1 Método da Amplitude

O método da amplitude, também conhecido como método rápido, fornece uma rápida aproximação da variabilidade das medições. Tal método apresenta somente uma visão geral do sistema de medição. Este método não decompõe a variabilidade em repetitividade e reprodutibilidade (AIAG, 2010). Desta forma, o R&R é obtido através da relação erro de medição frente à tolerância do processo.

#### 2.4.4.4.2 Método de Amplitude e Média

O método da média e amplitude ( $\bar{X}$  e R) é uma técnica que fornece uma estimativa da repetitividade e da reprodutibilidade de um sistema de medição. Esta abordagem permite que a variação do sistema de medição seja decomposta em repetitividade e reprodutibilidade (AIAG, 2010).

A utilização de ferramentas gráficas é indispensável para a análise dos resultados. A verificação sistemática de dados, decorrentes de causas especiais de variação, através do uso de ferramentas gráficas deve preceder qualquer outra análise estatística (AIAG, 2010). As seguintes ferramentas gráficas são extremamente úteis para essa análise:

1. Cartas médias: as médias das leituras feitas por cada operador sobre cada uma das amostras são plotadas em um gráfico cujo eixo das abscissas é composto pela identificação das amostras e o eixo das coordenadas pela linha média, as médias de cada avaliador e os limites de controle. Essa ferramenta gráfica não identifica, de imediato, a diferença entre os operadores. Porém a “usabilidade” do sistema é indicada.
2. Cartas de amplitude: as amplitudes das leituras realizadas por cada operador, sobre cada peça são plotadas. Desta forma, a consistência do processo de medição entre os operadores pode ser determinada, bem como o controle estatístico com respeito à repetitividade. Exemplo de Carta de Média e Amplitude conforme Figura 14.

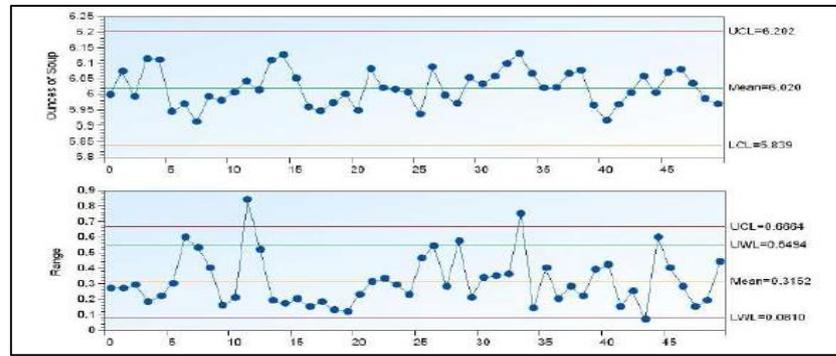


Figura 14. Cartas de Média e Amplitude

Fonte: Ritme Informatique (2009)

3. Gráfico sequencial (*Run Chart*): neste gráfico, as leituras são plotadas por peça, abrangendo todos os operadores. Desta forma, é avaliado o efeito das peças individualmente na consistência da variação e se há leituras anormais. A Figura 15 demonstra um gráfico sequencial.

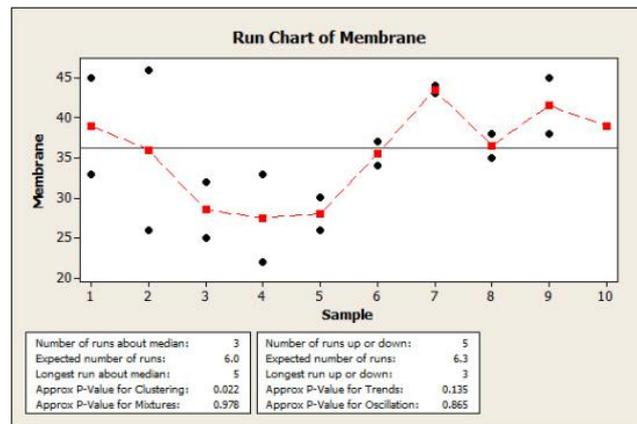


Figura 15. Run Chart

Fonte: Minitab 15 (2011)

4. Gráfico de dispersão: as leituras individuais são plotadas por peça e por operadores. Tem como objetivo obter informações sobre a consistência entre operadores, indicações de discrepâncias e interações peça x avaliador, conforme Figura 16.



Figura 16. Gráfico de Dispersão

Fonte: Minitab 15 (2011)

5. Gráfico X-Y de médias por tamanho: as médias das leituras efetuadas por cada operador em cada uma das peças são plotadas contra o valor de referência ou contra as médias gerais. A Figura 17 demonstra um gráfico X-Y de médias por tamanho.

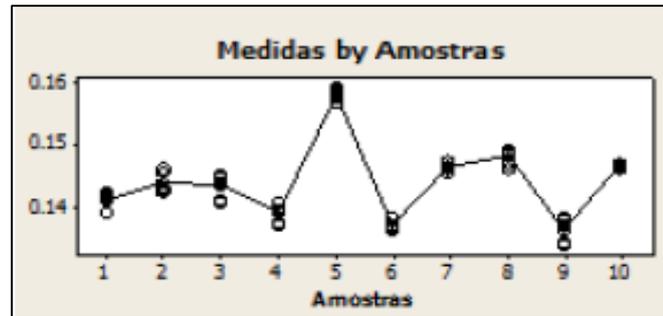


Figura 17. Gráfico X-Y de médias por tamanho

Fonte: Minitab 15 (2011)

6. Gráfico de comparação X-Y: As médias das leituras por cada operador em cada uma das peças são plotadas. Então, os valores de um operador são comparados com os valores obtidos pelos outros operadores. Se existir concordância entre os dados, os pontos plotados descreverão uma linha reta que passa pela origem e uma inclinação de  $45^\circ$  em relação aos eixos. A Figura 18 demonstra um gráfico de comparação X-Y.

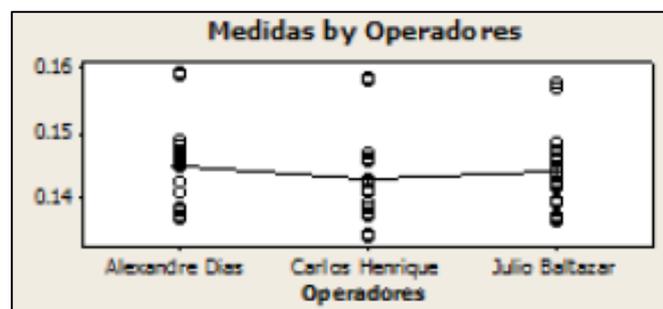


Figura 18. Gráfico de comparação X-Y

Fonte: Minitab 15 (2011)

### 2.4.4.4.3 Método ANOVA

A análise de variância (ANOVA) é uma ferramenta estatística que pode ser utilizada para analisar o erro de medição e outras fontes de variabilidade dos dados num estudo de sistemas de medição (AIAG, 2010).

Segundo Hogg e Ledolter (1987), as suposições da ANOVA são:

1. Os valores para cada nível seguem uma distribuição Normal;
2. As variâncias são as mesmas para cada nível (Homogeneidade de Variância);

Segundo a AIAG (2010), a análise de variância pode ser decomposta em quatro categorias: peças, avaliadores, interação entre peças e avaliadores, e o erro de replicação devido ao dispositivo de medição. A ANOVA é capaz de tratar qualquer estrutura de um experimento, podem estimar melhor as variâncias e extraem mais informações dos dados experimentais. Os gráficos de maior interesse dessa ferramenta são os de interação e resíduos. O gráfico de interação demonstra se uma interação é significativa ou não, enquanto o gráfico de resíduos avalia os pressupostos de independência, normalidade e homocedasticidade. Se os resíduos não estiverem aleatoriamente distribuídos acima e abaixo de zero, as premissas podem estar incorretas. A Figura 19 demonstra um gráfico de resíduos.

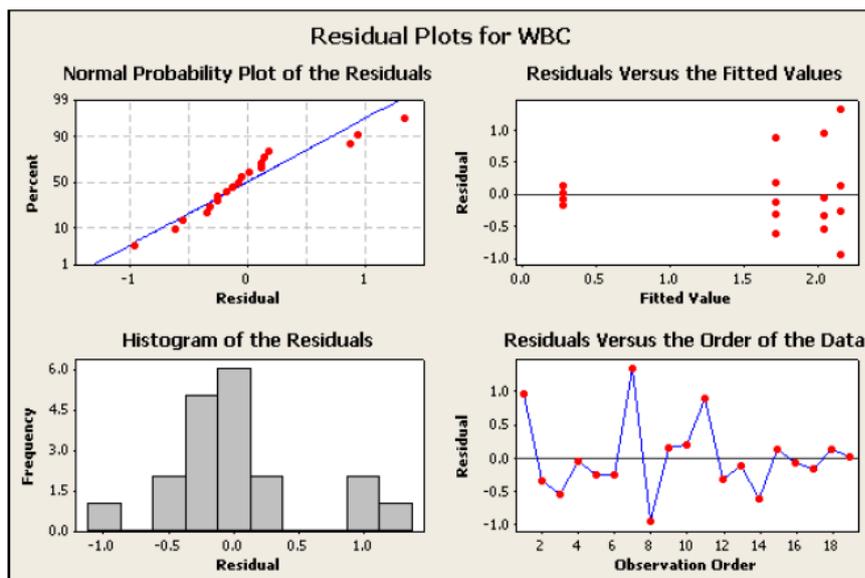


Figura 19 - Gráfico de Resíduos.

Fonte: Minitab 15 (2011).

### 3. Metodologia

Segundo Lakatos e Marconi (2000), o método consiste numa série de atividades sistemáticas e racionais para se buscar, de maneira confiável, soluções para um dado problema. No desenvolvimento de um trabalho de conclusão de curso, em especial, o método consiste na descrição precisa de todos os passos que foram tomados pelo pesquisador.

O presente estudo apresenta uma abordagem quantitativa, uma vez que os dados obtidos na coleta de dados são mensuráveis, e uma análise estatística dos mesmos dos mesmos será desenvolvida com o objetivo de responder a seguinte pergunta:

*O sistema de medição dos micrômetros, presente na inspeção final do acabamento de barras e acabamento de aço fino da indústria estudada, é aceitável de acordo com os parâmetros indicados no manual de MSA?*

Sobre a pesquisa quantitativa, Fonseca (2002, p. 20) afirma o seguinte:

“Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos como auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc.”

Para Filippini (1997), o estudo de caso é uma análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), com o uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados e presença da interação entre pesquisador e objeto de pesquisa.

O método adotado neste estudo foi o de estudo de caso, já que os conceitos de análise do sistema de medição (MSA) foram aplicados a uma indústria siderúrgica. Além disso, uma análise aprofundada será efetuada, com o objetivo de comparar os resultados obtidos (mensuráveis) com os parâmetros especificados no manual de MSA. Para tanto, as seguintes etapas serão seguidas:

1. Estruturação da pesquisa:
  - 1.1 Elaboração do cronograma do presente trabalho de conclusão de curso;
  - 1.2 Identificação e resumo de três artigos científicos para embasamento teórico;
  - 1.3 Identificação da área da empresa em estudo a ser abordada e qual o sistema de medição será analisado;
  - 1.4 Estudos preliminares e simulações de análise de MSA junto à equipe de metrologia
  - 1.5 Pesquisa bibliográfica, uma vez que o conhecimento sobre o MSA, bem como as ferramentas estatísticas envolvidas, são indispensáveis para a realização deste estudo.
2. Esquema de aplicação prática da pesquisa:
  - 2.1 Definição do equipamento e operadores envolvidos;
  - 2.2 Estruturação da coleta de dados;
  - 2.3 Desenvolvimento da coleta de dados, na qual os dados serão analisados estatisticamente, com auxílio de software;
  - 2.4 Comparação dos resultados obtidos com os parâmetros indicados no manual de MSA e avaliação do sistema de medição da empresa em estudo;
  - 2.5 Elaboração das sugestões de melhoria;
  - 2.6 Apresentação dos resultados.

A empresa estudada atua no ramo de aços e ligas especiais há mais de 70 anos. A empresa siderúrgica em questão oferece soluções completas para vários segmentos e indústrias. O portfólio da mesma inclui: aços rápidos, aços-ferramenta (para trabalho a quente, trabalho a frio e moldes plásticos), aços inoxidáveis, aços-válvula, ligas especiais e peças forjadas. Em 2007, a empresa contava com mais de 1552 empregos.

## 4. Apresentação dos Resultados

### 4.1 A Empresa

A empresa estudada é uma empresa siderúrgica semi-integrada, que atua há mais de 70 anos no mercado, sendo a maior produtora de aços especiais não planos de alta-liga da América Latina. Localizada em Sumaré, no interior de São Paulo, a empresa oferece uma ampla linha de produtos, das quais se destacam:

1. Aços rápidos;
2. Aços ferramenta (para trabalho a quente, a frio e para moldes plásticos);
3. Aços inoxidáveis;
4. Aços válvula;
5. Ligas especiais;
6. Peças forjadas.

A empresa oferece tais produtos para os segmentos de óleo e gás, açúcar e etanol, aeronáutico, automotivo, química e petroquímica, geração de energia, máquinas e ferramentas, solda e implantes cirúrgicos, trefilação e bens de capital. Visando atender as necessidades específicas de cada cliente e buscando manter-se sempre atualizada frente as constantes evoluções neste mercado, a empresa possui laboratórios de ponta e Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. Desta forma a empresa oferece novas tecnologias e soluções exclusivas para o mercado em que atua.

No que se refere as instalações industriais e equipamentos, a empresa estudada possui uma moderna aciaria elétrica, a qual é equipada com dois fornos elétricos a arco, fornos-panela, desgaseificadores (VD e VOD), fornos de refusão (VAR e ESR) e forno de fusão de indução a vácuo (VIM), lingotamentos convencional e contínuo. A empresa também conta com prensas hidráulicas de forjamento, laminadores de desbaste e acabamento, completas instalações para tratamento térmico, acabamento a frio e inspeção.

A empresa estudada possui o maior Centro de Distribuição de aços-ferramenta da América Latina, somando as unidades de Sumaré, com uma área de 5.500m<sup>2</sup>, Joinville (SC) com 1.300m<sup>2</sup> e Vespasiano (MG) com 1500 m<sup>2</sup>, o que permite e facilita entrega em todo Brasil. Com cerca de 1.400 colaboradores, a empresa estudada teve um faturamento líquido superior a R\$900 milhões, no ano fiscal de abril de 2014 a março de 2015.

A empresa estudada tem a seguinte missão e visão:

- a) Missão: prover soluções inovadoras em aços, ligas especiais e serviços, de forma sustentável, gerando valor para clientes, colaboradores e acionistas.
- b) Visão: ser a primeira opção para clientes, colaboradores e acionistas. Sempre!

Os seguintes pontos podem ser destacados considerando uma breve análise SWOT da empresa estudada:

1. *Strengths* (Forças): líder no mercado em que atua forte estrutura de pesquisa e desenvolvimento e laboratórios, logística e centros de distribuição bem estruturados e presença de profissionais especialistas (muitos funcionários com mais de 20 anos de empresa), os produtos oferecidos pela empresa tem qualidade reconhecida e apreciada pelo mercado.
2. *Weaknesses* (Fraquezas): como oportunidade de melhorias, pode-se destacar a elaboração de normas e procedimentos mais simples, melhor organização das auditorias e melhorias na identificação dos produtos ao longo do processo produtivo, e melhorias nos software utilizados pela empresa.
3. *Opportunities* (Oportunidades): com a recente alta do dólar, a empresa pôde expandir suas exportações para mercados que voltaram a crescer significativamente, como os Estados Unidos. O segmento de energia também apresenta projetos promissores para a empresa.
4. *Threats* (Ameaças): a recente crise econômica estabelecida no país apresenta dificuldades para empresa, pois o mercado interno representa uma parte muito significativa do faturamento da empresa. É importante destacar também que os clientes automotivos representam a maior parte das vendas da empresa, portanto o atual desempenho econômico das montadoras no país é evidentemente uma preocupação.

#### **4.1.2 Estado Atual**

Sobre a importância do problema estudado para empresa, pode-se afirmar que o mesmo é de extrema importância para o processo produtivo. O sistema de medição dos micrômetros, presentes em todos os acabamentos da empresa, controla o diâmetro dos produtos acabados. Tal controle é crítico para a qualidade, pois o diâmetro deve estar dentro da tolerância estabelecida pelo cliente. A variação está presente em todos os processos, e, portanto os sistemas de medição também estão sujeitos a variações. Desta forma é

fundamental para a empresa ter um sistema de medição confiável e preciso, pois decisões são tomadas com base nos dados oriundos do sistema de medição. Outro fator importante é que estudos sobre a adequabilidade e variação do sistema de medição são exigidos pela norma ISO/TS, norma esta obrigatória para fornecimento para a indústria automotiva.

Ainda sobre os estudos realizados no sistema de medição dos micrômetros no Acabamento de Barras e Aço Fino da empresa estudada, segue uma relação das ligas utilizadas no estudo de MSA, conforme Quadros 4 e 5. Nestes Quadros, as ligas destacadas em vermelho tiveram amostras mensuradas nos estudos de MSA.

Quadro 4. Aços válvula austeníticos e martensíticos produzidos pela empresa estudada.

		MARCA	SIMILARES ABTN ASTM SAE AISI	DIN Wnr	C %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	W %	V %	OUTROS %		
AÇOS PARA VÁLVULAS DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA	MARTENSÍTICOS	VV45/ N4718	UNS S65007 HNV 3	1.4718	0,45	0,40	8,50	-	-	-	-	Si=3,30	Aço martensítico utilizado em válvulas de admissão para motores a gasolina e hastes de válvulas de exaustão/ admissão para motores diesel.	
		V422A	UNS S42200 HNV 8	1.4935	0,22	0,75	11,75	0,75	1,00	1,00	0,25	Si=0,30	Aço martensítico indicado para válvulas de admissão e em certos casos também para válvulas de exaustão.	
		VV40	-	1.4731	0,40	0,50	10,50	-	1,00	-	-	Si=2,30	Aço martensítico Cr-Si-Mo com boa resistência a quente para aplicação em válvulas que a temperatura de operação não exceda 600°C.	
		VV48	UNS S64004	-	0,51	0,40	8,50	-	-	-	-	Si=1,50	Combina boa resistência ao impacto com boas propriedades mecânicas. Indicado para válvulas de admissão e exaustão onde a temperatura de operação não exceda 560°C.	
		VV85	-	1.4748	0,85	-	17,50	0,50	2,30	-	0,45	-	Aço cromo-molibdênio-vanádio que mantém boa resistência à corrosão até temperaturas próximas de 700°C.	
	AUSTENÍTICOS	VV33	UNS S63018 SAE EV 16	1.4866	0,33	3,25	23,00	8,00	-	-	-	Si=0,75 N=0,30	Aço cromo-níquel-manganês endurecível por precipitação com adição de nitrogênio para aumentar a resistência à quente. Indicado para válvulas de exaustão de motores a diesel de serviço pesado.	
		VV50	UNS S63019 21-4N+Nb+W	1.4882	0,50	9,00	21,00	4,25	-	1,15	-	Nb=2,15 N=0,50	Aço austenítico cromo-manganês-níquel nitrogenado endurecível por precipitação, com adições de nióbio e tungstênio para aumentar a resistência mecânica em alta temperatura. Recomendado para válvulas de exaustão em motores para serviço extra pesado.	
		N4873	-	1.4873	0,45	1,20	18,00	9,00	-	1,00	-	Si=2,50	Aço cromo-níquel-silício-tungstênio com boas propriedades mecânicas e alta resistência à corrosão a quente. Indicado para motores de média solicitação.	
		VV53	UNS S63008 EV-8	1.4871	0,53	9,00	21,00	4,00	-	-	-	N=0,42	Aço austenítico endurecível por precipitação com adição de nitrogênio para aumentar a resistência mecânica a quente. Indicado para válvulas de exaustão em motores de alta solicitação que trabalham em temperaturas de até 800°C.	
		VV56	UNS S63012 EV-12	1.4875	0,55	8,00	20,00	2,20	-	-	-	N=0,30	Aço austenítico endurecível por precipitação, indicado para válvulas de exaustão em motores de alta solicitação que trabal, para temperaturas de até 780°C.	
		VAT30	UNS S66315 N30	-	0,05	0,10	14,50	31,00	0,60	-	-	-	Ti=2,50 Al=1,80 Nb=0,60	Aço inoxidável austenítico endurecível por precipitação de fase Ni3Al para aplicação em válvulas de motores de alto desempenho.
		VAT32	-	-	0,25	0,10	15,50	32,00	-	-	-	-	Nb=3,90 Al=1,90 Ti=1,95	Liga Fe-Ni-Cr-Nb com elevada resistência ao desgaste e mecânica, endurecível por precipitação de fases intermetálicas para aplicação em válvulas de motores de alto desempenho.
		VAT36	-	-	0,05	0,10	19,00	36,00	-	-	-	-	Nb=2,20 Al=1,90 Ti=1,10	Liga Fe-Ni-Cr-Nb superior a VAT 30 com elevada resistência a corrosão e mecânica, endurecível por precipitação de fases intermetálicas para aplicação em válvulas de motores de alto desempenho.
		VAT46	-	-	0,25	0,10	18,00	46,00	-	-	-	-	Nb=3,85 Al=1,20 Ti=2,00	Liga Fe-Ni-Cr-Nb superior a VAT 32 com elevada resistência ao desgaste e mecânica, endurecível por precipitação de fases intermetálicas para aplicação em válvulas de motores de alto desempenho.



Ligas de aço utilizadas no presente estudo

Fonte: dados da pesquisa

Quadro 5. Ligas especiais produzidos pela empresa estudada.

		MARCA	SIMILARES ASTM DIN SAE AMS	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Fe %	Cu %	Ti %	Al %	OUTROS %	
<b>LIGAS ESPECIAIS</b>	<b>LIGAS RESISTENTES À ALTA TEMPERATURA</b>	VAT600	Alloy 600 ASTM B166 UNS N06600 DIN 17742 Wnr.2.4816	0,05	-	-	15,7	Rest.	9,00	-	-	-	-	Liga Ni-Cr-Fe não envelhecível resistente à corrosão em condições oxidantes e redutoras. Praticamente livre de corrosão sob tensão em cloretos. Resiste à oxidação até 1170°C. Esta liga é utilizada em componentes para fornos, tubos de proteção para termopares, indústria química e de alimentos, etc.
		VAT800H	Alloy 800HT ASTM B408 Wnr.1.4876/UNS NO 8810	0,07	-	-	21,0	32,5	Rest.	-	0,50	0,50	-	Liga Ni-Cr-Fe envelhecível com boa resistência à corrosão por ácido nítrico em concentrações de até 70%. Boa resistência à ácidos orgânicos tais como acético e fórmico. É resistente à oxidação e possui boa resistência à fluência. Esta liga é utilizada em componentes de equipamentos para tratamento térmico, indústria petroquímica (pirólise) e aplicações gerais na indústria química.
		VATX750	Alloy X750 ASTM B637 Wnr.2.4669 UNS N07750	0,05	-	-	15,5	Rest.	7,00	-	2,50	0,70	Nb=0,90	Liga Ni-Cr-Fe envelhecível com excelente resistente à corrosão, oxidação e fluência em temperaturas de até 815°C. Excelente resistência à relaxação de tensões, o que a torna aplicável para molas que operam até 650°C. Utilizada na fabricação de molas, parafusos, matrizes de extrusão e ferramentas.
		VAT751	Alloy 80A SAE J775 Alloy 751	0,05	-	-	15,5	Rest.	7,00	-	2,30	1,10	Nb=1,00	Liga Ni-Cr-Fe envelhecível com excelente resistente à corrosão, oxidação e fluência em temperaturas de até 815°C. Esta liga é uma ligeira modificação da liga VATX750 para aumentar a resistência à fluência a 870°C. As aplicações são as mesmas da liga VATX750, mas em especial para válvulas de exaustão de motores diesel.
		VAT80A	ASTM B637 UNS N07080 DIN 17742 Wnr.2.4952	0,05	-	-	19,0	Rest.	2,00	-	2,25	1,40	-	Liga Ni-Cr com adições de Ti e Al que permitem seu envelhecimento. Possui boa resistência à corrosão, oxidação e fluência até 760°C. Além da resistência mecânica possui boa resistência à fadiga em altas temperaturas. Utilizadas em válvulas de motores de combustão interna, parafusos e moldes usados em altas temperaturas.
		VAT90	Alloy 90 Wnr.2.4969/ UNS N07090	0,08	-	-	20,0	Rest.	máx. 1,00	-	2,60	1,40	Co=18,5	Liga Ni-Cr-Co com adição de Al e Ti que permitem seu envelhecimento. A liga VAT90 apresenta boa resistência à fluência devido aos elevados teores de cromo e cobalto e aos teores balanceados de titânio e alumínio que atuam como elementos endurecedores por precipitação. Apresenta excelente resistência mecânica e à oxidação a temperaturas elevadas.
		VAT31V	Alloy 31V UNS N07032 SAE HEV8	0,04	-	-	22,5	56,5	Rest.	-	2,20	1,20	Mo=2,00 Nb=0,85	Liga Ni-Cr-Fe-Mo com adições de Al, Ti e Nb para envelhecimento. Esta liga tem aplicação em geral para válvulas de exaustão de motores diesel de alta potência. É resistente à sulfetação em altas temperaturas e possui boa resistência à corrosão e boa resistência mecânica até 815°C.
		VAT286	Alloy A286 ASTM A638 ASTM A453 AMS 5732 UNS S68286	máx. 0,08	máx. 1,00	1,50	15,0	25,0	Rest.	-	2,00	0,30	Mo=1,20 V=0,30	Liga Ni-Fe-Cr-Mo com adições de Al, Ti e V para possibilitar envelhecimento. Esta liga apresenta excelentes propriedades mecânicas em temperaturas da ordem de 800°C. Boa resistência à oxidação até 700°C. Usada em componentes de turbinas, eixos, parafusos, porcas e peças de bombas. Também usada em ferramentaria para trabalho a quente em extrusoras de cobre e matrizes para fundição de alumínio.
		VAT718	AMS 5682 Alloy 718	máx. 0,03	máx. 0,10	máx. 0,10	18,5	53,0	Rest.	-	1,00	0,50	Nb=5,10 Mo=3,00	Liga Ni-Cr-Fe-Mo-Nb com adições de Al e Ti. Esta é a superliga mais utilizada devido à sua resistência mecânica e à fluência até 650°C. Adicionalmente, possui boa resistência à corrosão e utilidade em temperaturas criogênicas até -250°C. Largamente usada na indústria aeroespacial como componentes de turbinas à gás. Usada também em ferramentaria para trabalho a quente e componentes para indústria de petróleo em temperaturas sub-zero.



Ligas de aço utilizadas no presente estudo

Fonte: dados da pesquisa

Amostras do aço válvula VV56 foram utilizadas nos estudos de Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R) e Estabilidade, sendo que 10 amostras foram utilizadas no estudo de R&R e 1 amostra no estudo de Estabilidade. Já nos estudos de Tendência e Linearidade foram utilizadas duas amostras do aço válvula VV56, 1 amostra do aço VAT751, 1 amostra do aço VV48 e por fim, 1 amostra do aço VV85.

As amostras, além de contemplarem a variação do processo e a faixa de trabalho do micrômetro, representam também produtos críticos para a empresa, pois grande parte destas é destinada a clientes automotivos estratégicos para a empresa.

## 4.2 Resultados Obtidos

O estudo de caso teve início com uma análise de cenário dos micrômetros, dessa forma a equipe pôde obter maior conhecimento do sistema de medição e sua aplicação. A análise de cenário faz parte do planejamento de MSA adotado pela empresa. O planejamento de MSA tem os seguintes componentes:

1. Identificação do setor responsável pelo estudo do MSA em questão.
2. Qual a grandeza a ser medida, instrumento analisado, definição do sistema e característica de controle.
3. Análise de cenário
4. Diagrama de causa e efeito
5. Informações sobre manutenção e calibração do instrumento analisado.
6. Estudos a serem aplicados (tendência, repetitividade, reprodutibilidade, estabilidade e linearidade).
7. Identificação da equipe multifuncional.

O planejamento de MSA para o presente estudo de caso pode ser verificado conforme abaixo:

1. Setor Responsável: Laboratório de Metrologia
2. Sistema de Medição:
  - 2.1 Grandeza: Dimensional
  - 2.2 Instrumento: Micrômetro Externo Digital 0-25mm (0,001mm) com Catraca, conforme Figura 20.



Figura 20. Micrômetro Analisado no Estudo de MSA.

Fonte: dados da pesquisa

- 2.3 Definição do Sistema: O micrômetro é posicionado no centro da barra (diâmetro), realizando 2 medições em 0° e 90° da peça, considerando a menor medida. Esta

operação é realizada nas duas extremidades e no centro da peça (comprimento) com objetivo de conhecer os erros geométricos da peça dentro do campo de tolerância do produto. Então é demarcado um ponto único para realização das medições pelos operadores.

#### 2.4 Característica de Controle: Medição de diâmetro de barras.

### 3. Análise de Cenário:

3.1 Importância / impacto no produto: Especificação do produto.

3.2 Reclamações de clientes: Não evidenciado.

3.3 Histórico de falhas: Não evidenciado.

3.4 Característica especial /CTQ (Critical to Quality): Sim. Acabamento de barras e aço fino.

3.5 Condições ambientais: Área produtiva: temperatura ambiente, óleo.

3.6 Utilização do instrumento para CEP: Não.

3.7 Treinamento da operação: Sim, conforme programa anual de treinamento.

3.8 Influência da preparação da amostra: Não há influência.

4. Diagrama de Ishikawa: O diagrama de Ishikawa auxiliou a equipe em definir os pontos críticos e as principais causas de variação no sistema de medição, conforme Figura 21.

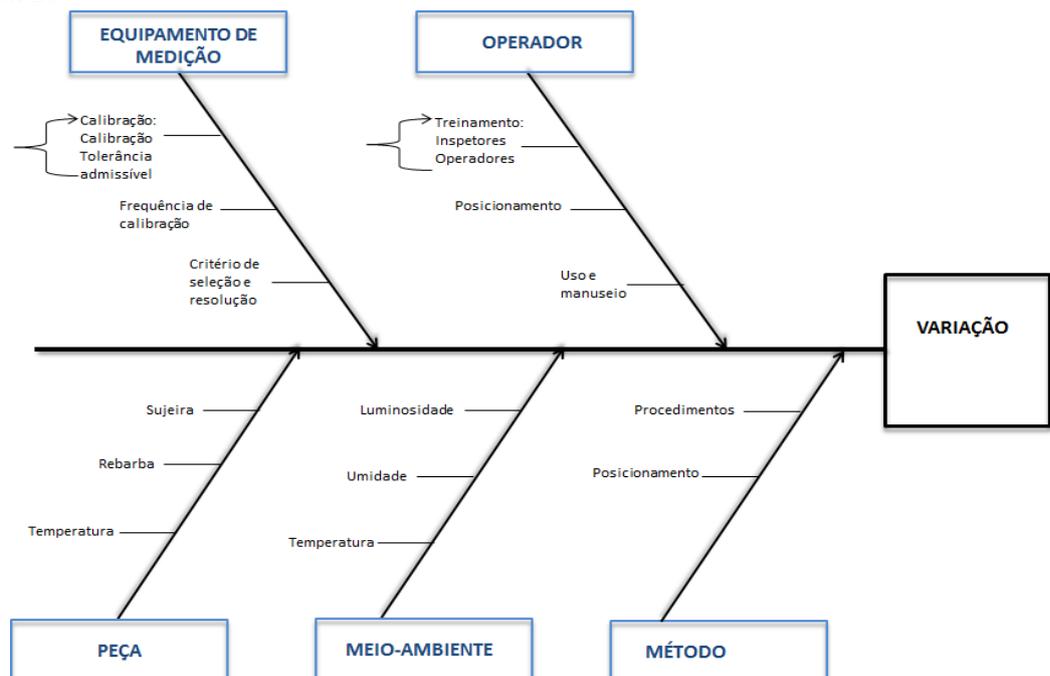


Figura 21. Diagrama de Ishikawa.

Fonte: dados da pesquisa

5. Manutenção e calibração do equipamento:
  - 5.1 Manutenção Preventiva (Calibração): 6 meses, a frequência é determinada de acordo com uso/ histórico do instrumento.
  - 5.2 Manutenção Corretiva (peças trocadas, controle de quebras, etc.): Não aplicável.
  
6. Estudos a serem aplicados:
  - 6.1 Tendência
  - 6.2 Repetitividade
  - 6.3 Reprodutibilidade
  - 6.4 Estabilidade
  - 6.5 Linearidade

Definidos então o sistema de medição analisado, o cenário, principais causas de variação deste sistema e estudos estatísticos a serem aplicados, foram determinadas as amostras do estudo de MSA, considerando a liga de aço, cliente, ordem de produção, tolerância, etapa do processo produtivo e operadores envolvidos:

Quadro 6 - Amostragem do estudo de R&R.

EMPRESA SIDERÚRGICA ESTUDADA		<b>MSA</b> "Análise do Sistema de Medição"	
<b>Período:</b>	23/03/2015 (em andamento)	<b>Cliente:</b>	Cliente Automotivo X
<b>Estudo:</b>	Estabilidade / R&R Tendência/Linearidade	<b>Ordem de produção:</b>	1649738
<b>Setor:</b>	Acabamento de Barras	<b>Nome da peça:</b>	VV 56 – Aço Válvula
<b>Sistema de medição:</b>	Micrômetro 0-25 / 0,001mm	<b>Característica:</b>	Diâmetro 8,30 mm
<b>Etapa do processo:</b>	Retífica – Acabamento de superfície	<b>Tolerância:</b>	+ 0,000 / - 0,036 mm
<b>Operadores:</b>	Luiz Vanderlei (Insp. Qualidade); Claudival (Insp. Qualidade) e Anderson (Operador Descascadeira)		

Fonte: dados da pesquisa.

Posteriormente foi efetuado um estudo preliminar, com o objetivo de fixar as ferramentas estatísticas e avaliar a estruturação como um todo do estudo de MSA antes de aplica-lo. Três integrantes do laboratório de metrologia e o autor do presente estudo de caso participaram do processo de medição das amostras e coleta dos dados. As amostras, que foram coletadas da produção, foram medidas com o micrômetro (objeto de análise do MSA).

O estudo preliminar seguiu as diretrizes para o estudo de R&R, conforme o manual de MSA desenvolvido pelo grupo AIAG (2010):

1. Inicialmente foram obtidas 10 amostras da liga VV56, as quais representaram a amplitude real ou esperada da variação do processo.
2. Os avaliadores foram identificados como A, B e C e as amostras numeradas de 1 até 10, de tal modo que os números não ficassem visíveis aos operadores.
3. O dispositivo de medição foi calibrado, pois isto faz parte dos procedimentos de medição normais.
4. O avaliador A mediu todas as peças, de 1 a 10. Após, o avaliador A repetiu duas vezes as leituras em ordens diferentes. O mesmo procedimento foi realizado com os avaliadores B e C.

Ao analisar o estudo preliminar notou-se uma inconsistência entre os resultados obtidos por cada integrante. Analisando-se o que poderia ter contribuído para a discrepância entre os resultados, foi constatado que o modo que cada integrante mediu a peça foi diferente, e o campo indicado para medição na amostra era muito amplo. Dessa forma, a conicidade das amostras estava interferindo nos resultados, e como o objetivo é avaliar o sistema de medição e não a conicidade do produto, o campo de medição foi significativamente limitado, sendo agora indicado com um figurava adesiva etiquetada na peça. Com isso, as medições foram padronizadas e as amostras devidamente preparadas para o estudo efetivo de MSA do micrômetro. As figuras 22, 23 e 24 demonstram o antes e o depois das amostras do MSA, implementadas as ações de melhoria possibilitadas pelo estudo preliminar:

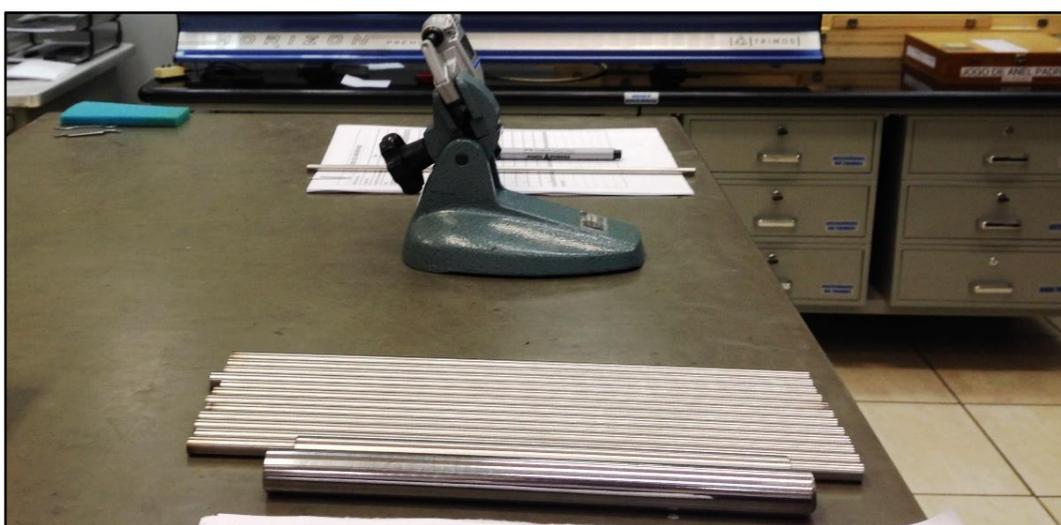


Figura 22. Amostras antes das ações de melhoria, sem campo de medição.

Fonte: dados da pesquisa



Figura 23. Amostras antes das ações de melhoria, com campo de medição.

Fonte: dados da pesquisa.

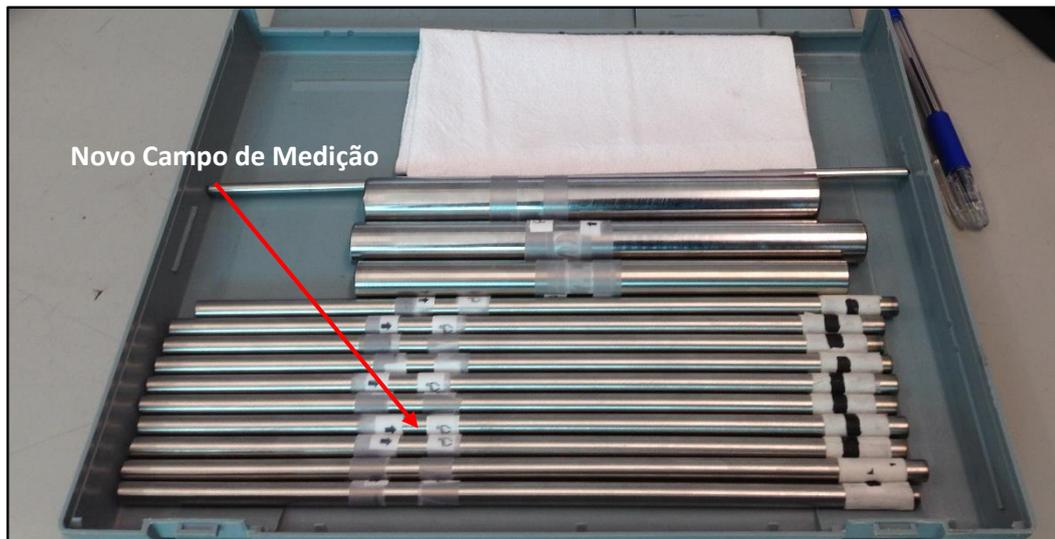


Figura 24 – Novo campo de medição, após as ações de melhoria.

Fonte: dados da pesquisa.

Terminado o estudo preliminar e implementadas as ações mencionadas, o próximo etapa foi analisar o R&R do sistema de medição do micrômetro do Acabamento de Barra e Aço Fino. Para tanto, um operador do Acabamento de Barras, um inspetor de qualidade do Acabamento de Barras e um inspetor de qualidade do Acabamento de Aço Fino participaram da coleta de dados para a análise de R&R. Em posse do micrômetro analisado no presente estudo (figura 23), o operador e os inspetores realizaram a etapa quatro das diretrizes para o estudo de R&R, mencionada na página anterior. A Tabela 1 explana a coleta de dados da Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R):

Tabela 1 - Coleta de Dados do Estudo de R&amp;R.

Empresa Siderúrgica Estudada		MSA - ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO								
		----- RASCUNHO - R&R -----								
Nome da peça		Nome do Aparelho / Instrumento de medição			Característica		Data			
VV56 Aço Válvula		Micrômetro digital 0/25 - 0,001 mm			Diâmetro		23/03/2015			
Especificação		Tolerancia		Produto Cliente			Nº Ordem de Produção			
8,30 mm		+ 0 / -0,036 mm		Cliente Automotivo X			OS 1649738			
<b>OPERADOR: ( A ) Lu. (Registro xxx) - Inspetor de Qualidade - Acab. Barras</b>										
PEÇA										
CICLO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8,288	8,277	8,282	8,290	8,288	8,275	8,278	8,286	8,283	8,288
2	8,288	8,277	8,282	8,289	8,287	8,276	8,280	8,286	8,282	8,289
3	8,287	8,277	8,282	8,289	8,288	8,275	8,279	8,286	<b>8,283</b>	8,289
<b>OPERADOR: ( B ) Cl. (Registro xxx) - Inspetor de Qualidade - CAF.</b>										
1	8,288	8,276	8,283	8,289	8,288	8,275	8,279	8,286	8,283	8,288
2	8,288	8,276	8,283	8,289	8,288	8,276	8,278	8,286	8,283	8,288
3	8,287	8,276	8,283	8,289	8,287	8,275	8,278	8,286	8,283	8,288
<b>OPERADOR: ( C ) An. (Registro xxx) - Op. Descasadeira - Acabamento de Barras</b>										
1	8,288	8,277	8,283	8,290	8,288	8,276	8,279	8,287	8,282	8,289
2	8,287	8,277	8,283	8,290	8,288	8,276	8,279	8,287	8,283	8,289
3	8,288	8,277	8,283	8,290	8,288	8,276	8,280	8,287	8,282	8,289

Fonte: dados da pesquisa

Com o seguimento das diretrizes do estudo de R&R e a posterior coleta de dados, a Repetitividade do sistema de medição pôde ser avaliada, uma vez que cada operador repetiu três vezes a série de medições. Assim, a consistência das medições de cada integrante da coleta de dados foi analisada, e foi possível verificar a variação das medições realizadas repetidas vezes pelo mesmo operador, medindo a mesma característica, sob as mesmas condições. A Reprodutibilidade também foi avaliada, já que a diferença entre as medições obtidas pelos inspetores e o operador foi analisada. Desta forma foi possível determinar a variabilidade entre os avaliadores.

Os dados coletados foram analisados em um estudo de Gage R&R cruzado, uma vez que todas as amostras são medidas por todos os avaliadores. O método adotado pela empresa para divulgação dos resultados é o método da Média e Amplitude, porém ambos os métodos da Média e Amplitude e ANOVA serão analisados no presente estudos para o enriquecimento do trabalho (os dois métodos são os mais recomendados pelo manual de MSA da AIAG, sendo o ANOVA o mais recomendado). As Figuras 25, 26 e 27 contemplam as análises de R&R.

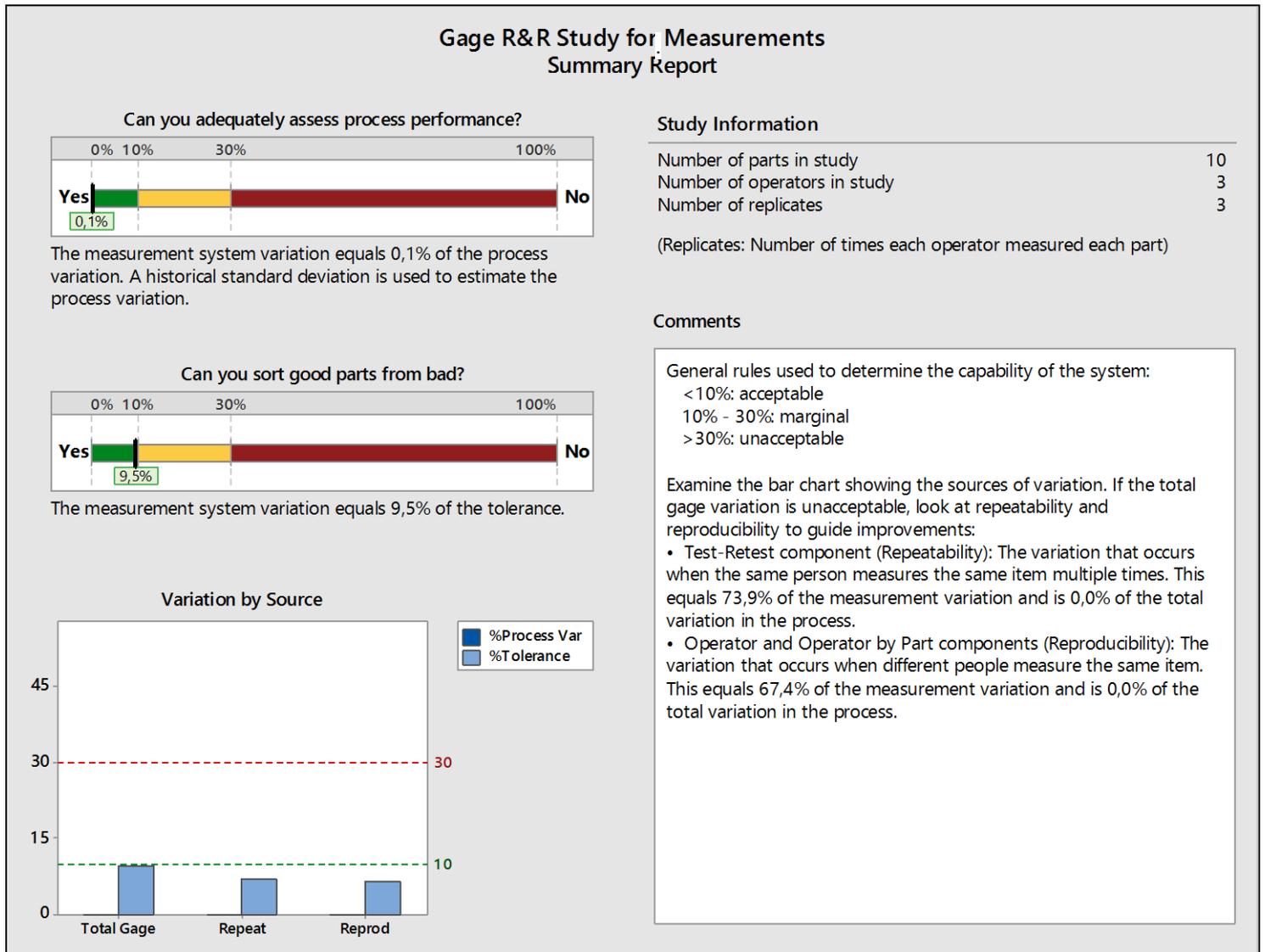


Figura 25. Análise do Estudo de R&R, com uso do software Minitab

Fonte: dados da pesquisa.

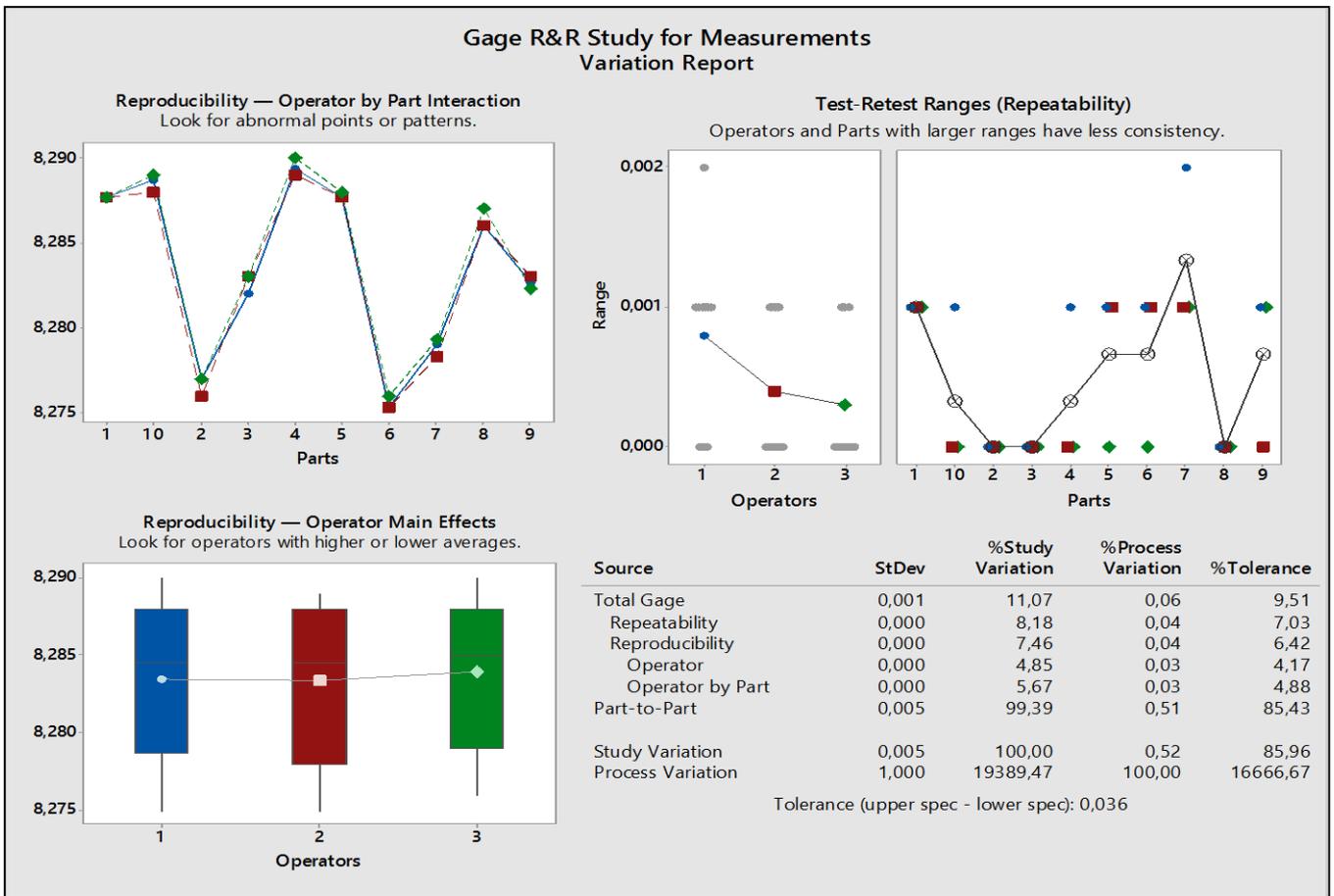


Figura 26. Análise do Estudo de R&R, Média e Amplitude com uso do software Minitab.

Fonte: dados da pesquisa

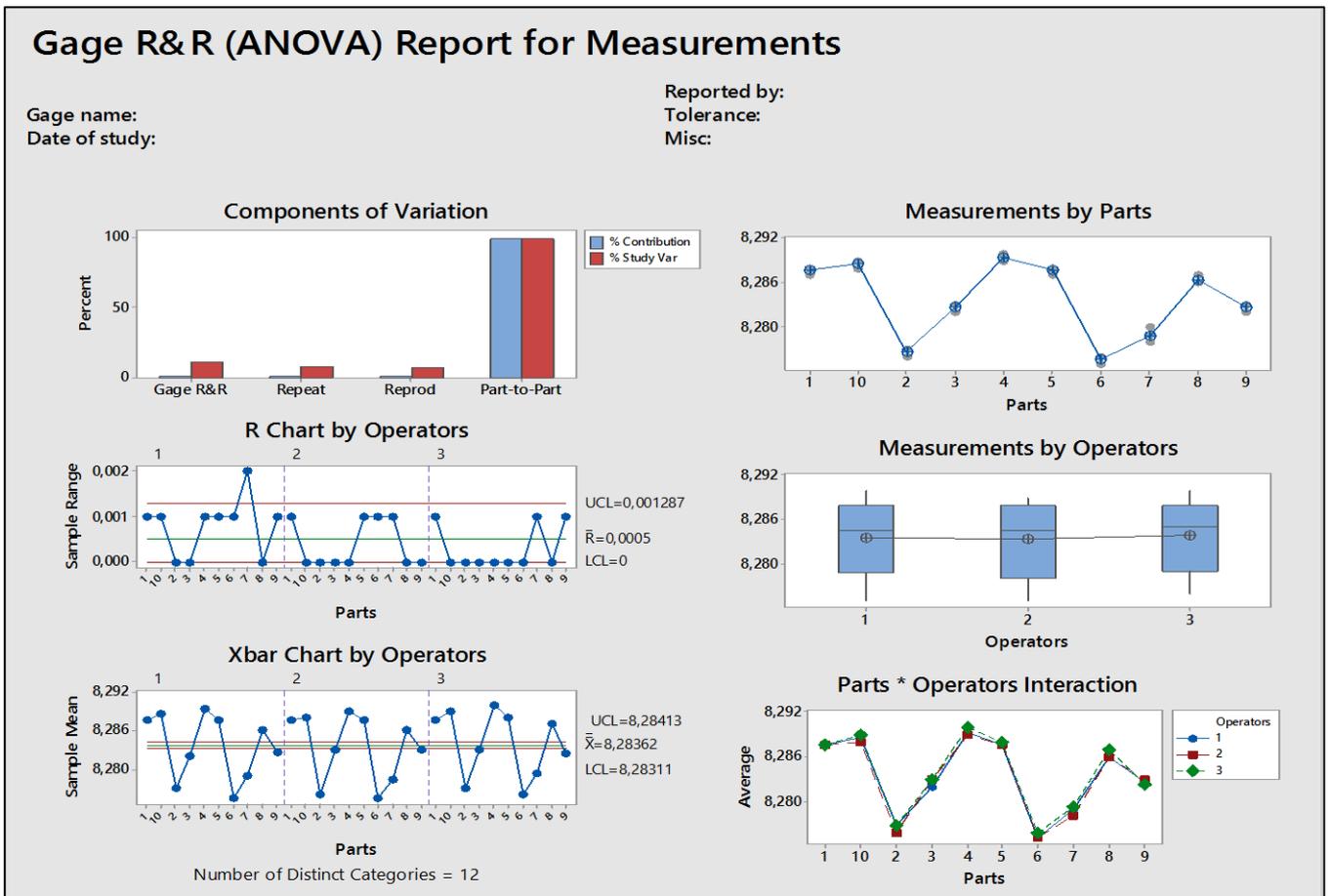


Figura 27. Análise do Estudo de R&R, ANOVA com uso do software Minitab.

Fonte: dados da pesquisa

As diretrizes do AIAG (2010) foram seguidas no estudo de tendência e linearidade, conforme abaixo:

- 1) Foi selecionado um grupo de 5 peças que cobriam a amplitude de operação do dispositivo de medição.
- 2) Cada peça foi medida no laboratório de metrologia, de forma a determinar os respectivos valores de referência das mesmas e confirmar que a amplitude de operação do dispositivo de medição em questão estava englobada.
- 3) Cada peça foi medida 12 vezes utilizando o dispositivo de medição em questão (micrômetro), pelo inspetor da qualidade, que utiliza rotineiramente tal dispositivo. As peças foram numeradas de forma que não ficassem visíveis e selecionadas aleatoriamente.
- 4) A tendência da peça para cada medição, bem como a média das tendências para cada peça foi calculada.
- 5) As tendências individuais bem como as médias das tendências foram plotadas em um gráfico de linhas.
- 6) A linha de melhor ajuste e a faixa de confiança da linha foram calculadas e plotadas.
- 7) A linha “tendência=0” foi plotada e o gráfico analisado.

O grupo de 5 peças escolhido compreendeu toda a faixa de trabalho (0-25mm - 0,001mm) do dispositivo de medição avaliado no presente estudo, o micrômetro:

- a) Primeira amostra, aço VV56, diâmetro 5,50 mm, tolerância +0/ -0,030 mm.
- b) Segunda amostra, aço VV56, diâmetro 8,30 mm, tolerância +0 / -0,036mm.
- c) Terceira amostra, VAT 751, diâmetro 15,87 mm, tolerância +0 / -0,043mm.
- d) Quarta amostra, VV 48, diâmetro 19,05 mm, tolerância +0 / -0,052mm.
- e) Quinta amostra, VV 85, diâmetro 23,0mm, tolerância +0 / -0,052mm.

Definido o grupo de amostras correspondente a faixa de trabalho do micrômetro, o inspetor de qualidade mediu 12 vezes, de forma aleatória, cada amostra. A Tabela 2 demonstra a seguinte relação de dados:

Tabela 2 – Coleta de Dados do Estudo de Linearidade.

<b>ESTUDO DE LINEARIDADE</b>					
Sistema de medição:			Micrômetro Digital 0-25 / 0,001mm		
Código interno:		26-28-01-87		Data:	
				23/03/2015	
Padrão: Valor de referência das barras			Temperatura:		
			Ambiente		
Setor: Acabamento de Barras			Nome: Inspetor de Qualidade		
Seqüência:	1	2	3	4	5
Valor de Referência	<b>5,483</b>	<b>8,288</b>	<b>15,907</b>	<b>18,927</b>	<b>22,977</b>
1	5,481	8,289	15,908	18,928	22,979
2	5,482	8,289	15,907	18,929	22,978
3	5,483	8,288	15,909	18,927	22,977
4	5,482	8,287	15,905	18,926	22,974
5	5,483	8,288	15,908	18,927	22,978
6	5,483	8,29	15,907	18,926	22,974
7	5,48	8,289	15,907	18,928	22,974
8	5,483	8,289	15,907	18,927	22,974
9	5,482	8,29	15,907	18,297	22,979
10	5,481	8,29	15,907	18,925	22,979
11	5,481	8,289	15,906	18,926	22,976
12	5,481	8,288	15,906	18,927	22,976
Observações:					

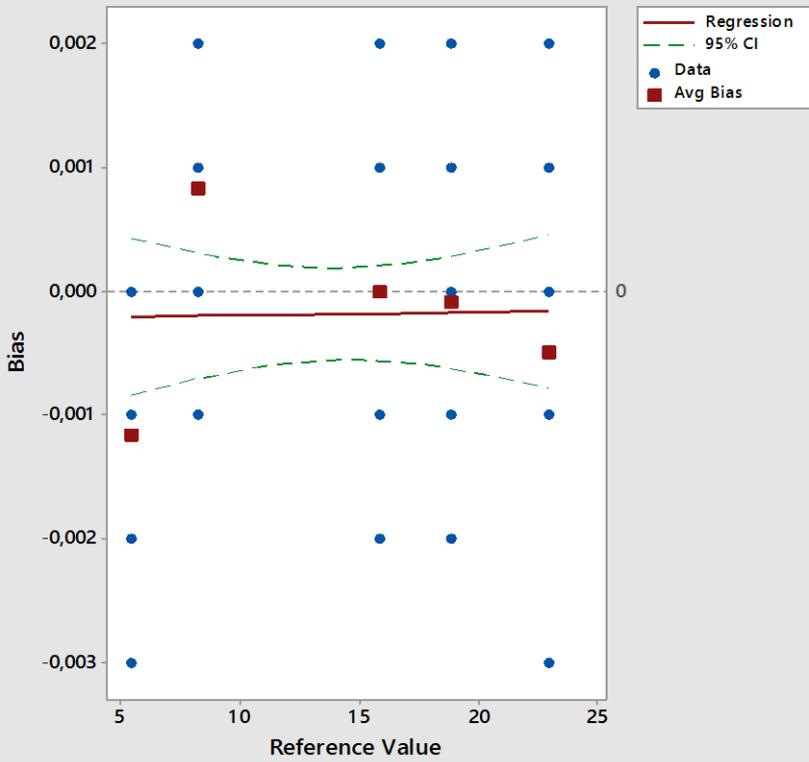
Fonte: dados da pesquisa

Ao analisar as 12 medições de cada faixa de trabalho do micrômetro a linearidade do sistema de medição pôde ser determinada. A tendência de cada peça foi avaliada e reta de regressão foi plotada com o auxílio do software Minitab, conforme Figura 28.

# Gage Linearity and Bias Report for Valores

Gage name:  
Date of study:

Reported by:  
Tolerance:  
Misc:



Gage Linearity			
Predictor	Coef	SE Coef	P
Constant	-0,0002214	0,0004493	0,624
Slope	0,00000266	0,00002855	0,926
S	0,0014442	R-Sq	0,0%
Linearity	0,0000001	%Linearity	0,0

Gage Bias			
Reference	Bias	%Bias	P
Average	-0,0001833	0,6	0,227
5,483	-0,0011667	3,9	0,001
8,288	0,0008333	2,8	0,010
15,907	0,0000000	0,0	1,000
18,927	-0,0000833	0,3	0,814
22,977	-0,0005000	1,7	0,276

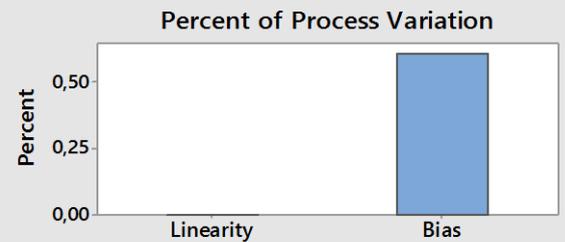


Figura 28. Análise da Linearidade com uso do software Minitab.

Fonte: dados da pesquisa

As seguintes diretrizes do manual de MSA para a determinação da estabilidade foram seguidas, com o objetivo de determinar a estabilidade do sistema de medição (AIAG, 2010):

1. Uma amostra foi selecionada da produção, a qual estava situada no meio da amplitude das medições feitas na produção (amostra número 10 do estudo de R&R – aço válvula VV56).
2. Semanalmente, as amostras foram medidas pelo Inspetor de Qualidade do Acabamento de Barras. A cada semana em que a coleta foi realizada, o Inspetor mediu a amostra três vezes. No total, foram 5 meses de coleta de dados de estabilidade.
3. Os dados foram então plotados numa carta de controle, em ordem cronológica.

Ao seguir as diretrizes mencionadas, a estabilidade do sistema de medição pôde ser determinada, pois ao longo de 5 meses (20 semanas) o Inspetor de Qualidade realizou semanalmente, com o auxílio do micrômetro, três leituras do diâmetro da amostra. Ao final da coleta de dados de estabilidade, havia 20 subgrupos, cada um com amplitude 3. Desta forma, uma característica única (diâmetro) foi medida no decorrer de um período de tempo prolongado, e a variação total nas medições foi avaliada. A Tabela 3 demonstra a coleta de dados de estabilidade:

Tabela 3. Coleta de Dados do Estudo de Estabilidade.

Empresa Estudada Laboratório de Metrologia		<b>ESTUDO DE ESTABILIDADE</b>		<b>FOR.815.00</b>			
Setor: Acabamento de Barras		Sistema de Medição: Micrômetro Digital					
Capacidade: 0/25 mm		Resolução: 0,001		Código Interno: 26.28.01.01			
Padrão: Amostra #10 (R&R)				Valor Nominal: 8,288			
Data	Hora	Avaliador	Amostra	Medições			$\bar{x}$
				M-1	M-2	M-3	
23/03/2015	11 h	L. (Insp. Qual)	1	8,288	8,289	8,289	8,2887
30/03/2015	11h15min	L. (Insp. Qual)	2	8,289	8,289	8,289	8,2890
07/04/2015	9h45min	L. (Insp. Qual)	3	8,288	8,289	8,289	8,2887
13/04/2015	10h30min	L. (Insp. Qual)	4	8,289	8,289	8,288	8,2887
22/04/2015	10h10min	L. (Insp. Qual)	5	8,288	8,288	8,288	8,2880
29/04/2015	11h20min	L. (Insp. Qual)	6	8,289	8,289	8,288	8,2887
07/05/2015	10h25min	L. (Insp. Qual)	7	8,288	8,287	8,288	8,2877
14/05/2015	08h20min	L. (Insp. Qual)	8	8,289	8,288	8,289	8,2887
20/04/2015	10h05min	L. (Insp. Qual)	9	8,288	8,288	8,288	8,2880
25/05/2015	09h15min	L. (Insp. Qual)	10	8,288	8,289	8,288	8,2883
29/05/2015	10h30min	L. (Insp. Qual)	11	8,289	8,288	8,288	8,2883
03/06/2015	10/h10min	L. (Insp. Qual)	12	8,288	8,288	8,288	8,2880
09/06/2015	10h	L. (Insp. Qual)	13	8,287	8,287	8,288	8,2873
12/06/2015	10h15min	L. (Insp. Qual)	14	8,288	8,288	8,288	8,2880
16/06/2015	9h30min	L. (Insp. Qual)	15	8,289	8,288	8,288	8,2883
23/06/2015	8h45min	L. (Insp. Qual)	16	8,288	8,288	8,288	8,2880
29/06/2015	10h	L. (Insp. Qual)	17	8,287	8,287	8,288	8,2873
02/07/2015	9h45min	L. (Insp. Qual)	18	8,288	8,289	8,288	8,2883
08/07/2015	8h45min	L. (Insp. Qual)	19	8,287	8,287	8,287	8,2870
15/07/2015	8h40min	L. (Insp. Qual)	20	8,287	8,287	8,289	8,2877

Fonte: dados da pesquisa

A recomendação do departamento de metrologia da empresa estudada para estabelecer o gráfico da coleta de dados de estabilidade é de que as médias das médias,  $\bar{\bar{x}}$ , seja plotada em vez de cada uma das três observações. Desta forma, é gerado um gráfico I-AM ou I-MR (em inglês). O I-AM trata-se de um gráfico de observações individuais (carta I) e amplitudes móveis (carta AM) ao longo do tempo. Os dados da coleta de estabilidade foram plotados em uma carta de controle I-MR com o auxílio do software Minitab, conforme Figura 29.

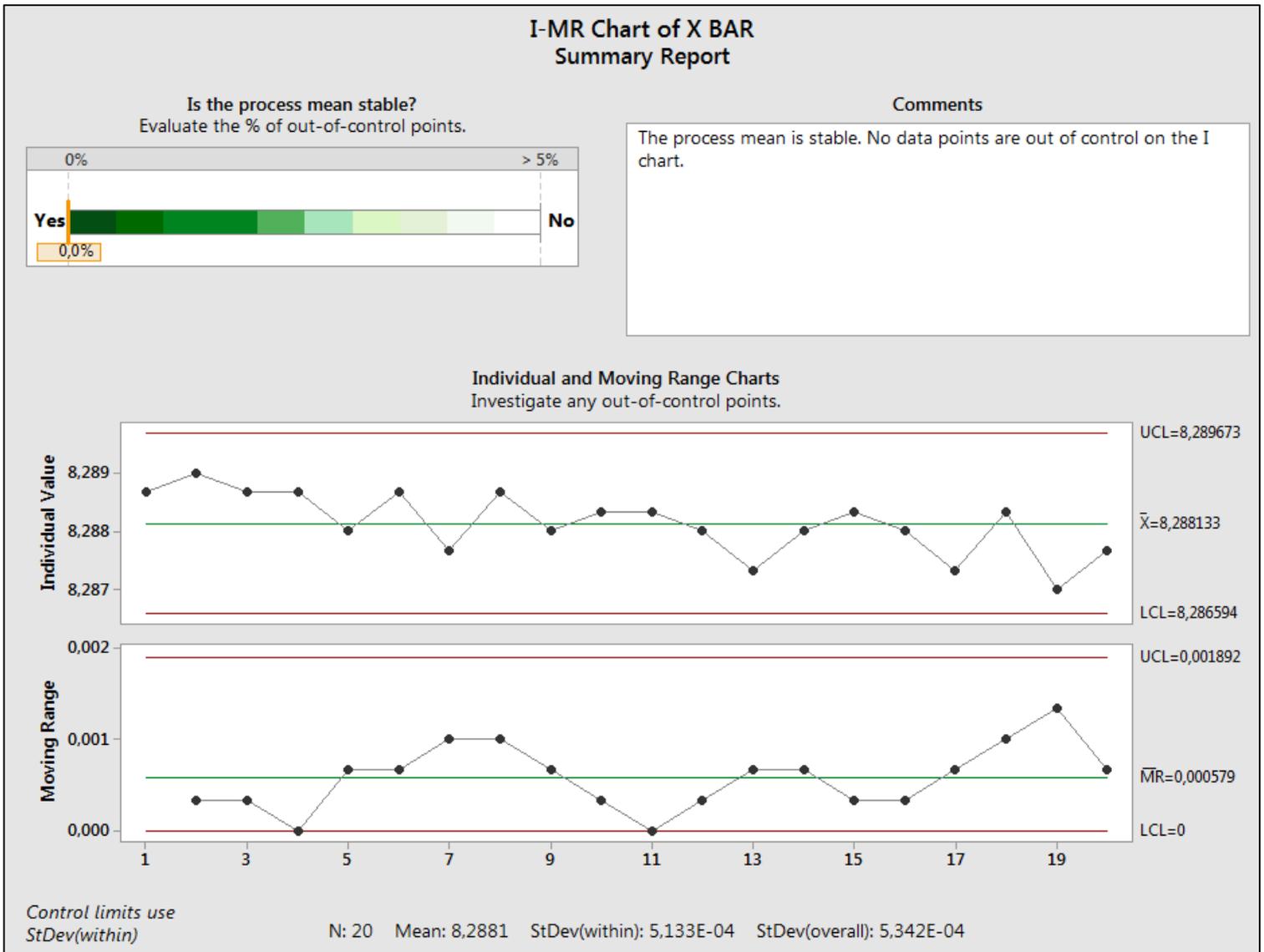


Figura 29. Carta de controle I-MR do estudo de estabilidade

Fonte: dados da pesquisa

### 4.3 Análise dos Resultados

A análise dos resultados consiste na avaliação dos cálculos e gráficos gerados pelo software Minitab. Os dados provenientes da coleta de dados de R&R, tendência e linearidade, e estabilidade foram inseridos no Minitab, e os gráficos e cálculos gerados por esse software foram apresentados no item 4.2 (Exposição dos Resultados). No presente item cada gráfico será analisado, levando em consideração as diretrizes do manual AIAG.

A figura 25 demonstra os gráficos e cálculos que sintetizam o estudo de R&R. No gráfico *Variation by Source* (variação por fonte de variação) é possível observar que a Repetitividade e a Reprodutibilidade colaboram de forma praticamente idêntica para o total de R&R do sistema de medição. Sobre a apresentação numérica dos resultados de R&R, nota-se que a variação do sistema de medição equivale a 9,5% da tolerância. A variação do sistema de medição equivale a 0,1% da variação de processo. Como demonstrado na figura 25, ambos os resultados numéricos são bons e estão dentro dos limites estipulados pela AIAG. Tal adequabilidade aos critérios será detalhado no item 5 (Considerações Finais).

A figura 26 traz os gráficos de repetitividade e reprodutibilidade obtidos pelo método Média e Amplitude, bem como a contribuição numérica de cada componente para a variação total do sistema de medição. O gráfico *Reproducibility – Operator by Part Interaction* demonstra a interação entre os operadores e as peças em termos de reprodutibilidade. Em outras palavras, o gráfico mostra as medições médias de cada operador para cada peça. Cada linha conecta as médias de um único operador. O ideal é que as linhas sejam quase idênticas e as médias das peças variem o suficiente para que as diferenças entre as peças sejam claras. O gráfico de interação operador e peças do presente estudo demonstram que os operadores apresentam uma boa reprodutibilidade, pois as linhas estão bastante próximas entre si, não apresentando nenhum ponto ou padrão anormal. Desta forma, é possível concluir que os operadores estão medindo as peças de forma bastante semelhante. O gráfico *Reproducibility – Operator Main Effects* é um gráfico boxplot que tem como finalidade determinar quais medições e variabilidade são consistentes em todos os operadores. Esse gráfico exhibe todas as medições do estudo, organizadas por operador. No boxplot círculos pretos representam as médias dos operadores e uma linha as conecta. O gráfico por operador do presente estudo demonstra que os operadores estão medindo as peças de forma consistente, praticamente com a mesma variação, uma vez que a linha conectando as médias está paralela ao eixo X. Esse é mais um indício de que a reprodutibilidade do presente estudo é boa. Ainda sobre a figura 26, o gráfico *Test-Retest Ranges* mostra todas as medições do estudo organizadas por peça. O

software Minitab representa as medições como círculos vazios e as médias como círculos cheios, e uma linha conecta as médias de medições para cada peça. O gráfico de medições por peça do presente estudo indica que o sistema de medição apresenta boa repetitividade, uma vez que o gráfico indica que o instrumento é sensível às variações do processo e que as várias medições para cada peça mostram pouca variação. A figura 26 também demonstra a contribuição numérica que cada item abordado nos gráficos teve para a variação do sistema de medição.

A figura 27 explana os resultados gráficos e numéricos do método ANOVA. O gráfico *Components of Variation* demonstra os componentes de variação por reprodutibilidade, repetitividade e peça a peça. Em um sistema de medição adequado, o maior componente da variação é a variação entre peças. Se uma grande variação for atribuída ao sistema de medição, então deverá ser necessário corrigir o sistema de medição. No presente estudo, o gráfico de componentes de variação demonstra que o sistema de medição é bom, já que o fator que mais contribui para a variação foi a variação entre peças. O gráfico *R Chart by Operators* é uma carta de controle de amplitudes (*range*) que representa graficamente a consistência do operador. Os pontos no gráfico representam, para cada operador, a diferença entre a maior e a menor medição de cada peça. O Minitab representa graficamente os pontos por operador, possibilitando assim, a comparação da consistência dos mesmos. A linha central dos gráficos de amplitude representa a média global das amplitudes. O Minitab usa a variação entre subgrupos para calcular os limites inferiores e superiores do gráfico (UCL e LCL). O gráfico R do presente estudo apresenta uma boa consistência entre os operadores, uma vez que todos os pontos, exceto pelo ponto 7 do operador 1, estão dentro dos limites. Apesar de o gráfico mostrar um bom resultado no geral, o mesmo demonstra também que é possível melhorar a consistência entre os operadores, pois o operador 1 apresentou um ponto fora de controle. O gráfico *Xbar Chart by Operators* compara a variação entre peças com os componentes de repetitividade. Os pontos no gráfico representam, para cada operador, a medição média de cada peça. A linha central do gráfico *Xbar* representa a média geral de todas as medições de peças mensuradas por todos os operadores. Os limites de controle superior e inferior (UCL e LCL) baseiam-se no número de medições em cada média e na estimativa de repetitividade. Tendo em vista que as peças escolhidas para um estudo de medição (R&R) devem representar toda a gama de peças possíveis, o gráfico *Xbar* idealmente exibiria falta de controle, já que é desejável observar mais variação entre as médias de peças do que é esperado pela variação de repetitividade. Em outras palavras, o ideal é que os resultados indiquem que a variação entre peças é muito maior do que a variação do

dispositivo de medição. Logo, muitos pontos estão acima ou abaixo do limite de controle quando o gráfico demonstra uma boa repetitividade. No presente estudo, o *Xbar Chart by Operators* demonstrou que o sistema tem boa repetitividade, uma vez que praticamente todos os pontos estão fora de controle. Os demais gráficos *Measurements by Part*, *Measurements by Operators* e *Parts\*Operators Interaction* do método Anova demonstrados na figura 27, também estão presentes na figura 26, portanto já foram devidamente analisados.

A figura 28, *Gage Linearity and Bias Report*, demonstra o resultado do estudo de linearidade e tendência do sistema de medição. Em um sistema de medição com boa linearidade, a linha zero deve estar contida dentro dos limites da faixa de confiança para a reta de regressão. Logo, a linearidade é avaliada de acordo com a inclinação da reta formada pelos diferentes valores de referência em relação à respectiva tendência. Quanto menor a inclinação da reta, melhor a linearidade do sistema de medição. Ainda sobre a tendência, uma tendência positiva indica que o medidor superestima, e uma tendência negativa indica que o medidor subestima. O valor %Bias indica o quanto a tendência do medidor explica a variação do processo global. Se o medidor mede baixo em valores de referência pequenos e alto em valores de referência grandes, a reta pode apresentar uma inclinação estatisticamente grande, na qual o valor-p para inclinação mostra significância. Portanto nesse caso o sistema apresentaria linearidade. Nessa situação, os valores da tendência são positivos em um extremo e negativos em outro, tornado a tendência global impraticável de ser interpretada. O gráfico de linearidade e tendência do presente estudo demonstra que o sistema de medição não apresenta uma tendência e linearidade significativa, uma vez que a linha zero está contida dentro dos limites da faixa de confiança para a reta de regressão da tendência, o P-valor associado as linhas identificadas como *Slope* = 0,624 e *Constant* = 0,926 estão dentro do nível aceitável, como valor acima de  $\alpha = 0,05$ .

A figura 29 demonstra a carta de controle I-MR da estabilidade do sistema de medição. A carta de controle é utilizada para monitorar a estabilidade de um processo de medição, utilizando-se a mesma peça, no mesmo sistema, ao longo do tempo. Dessa forma, a variação total nas medições de uma mesma peça é mensurada ao longo do tempo. Os pontos dentro dos limites de uma carta de controle indicam que o processo não foi alterado e é estável, já os pontos fora dos limites indicam que o processo foi alterado e é instável. A carta de controle I-MR de estabilidade do presente estudo indica que o sistema de medição é estável, pois a carta não apresenta pontos fora dos limites de controle, tampouco 7 pontos consecutivos acima ou abaixo da média.

## 5. Considerações Finais

A metodologia de Análise do Sistema de Medição, bem como a contribuição desta para a qualidade foram abordadas e colocadas em prática no decorrer desse estudo. Dessa forma, os objetivos propostos foram seguidos, uma vez que se objetivava entender os conceitos de MSA, estudar minuciosamente a metodologia das análises dessa ferramenta e obter o aprendizado prático ao aplicar o que foi aprendido sobre MSA na empresa estudada.

Como o sucesso em seguir os objetivos mencionados, foi possível responder o problema da pesquisa, o qual foi apresentado da seguinte forma:

*O sistema de medição dos micrômetros, presente na inspeção final do acabamento de barras e acabamento de aço fino na indústria siderúrgica estudada, é aceitável de acordo com os parâmetros indicados pelo manual de MSA?*

A resposta ao problema da pesquisa envolveu a aplicação da metodologia MSA na avaliação do sistema de medição dos micrômetros do Acabamento de Barras e Aço Fino da empresa estudada. Com isso, os estudos de Estabilidade, Tendência, Linearidade, Repetitividade e Reprodutibilidade foram conduzidos, e os resultados de cada um desses estudos foram analisados estatisticamente. Uma vez estabelecidos os resultados dos estudos mencionados e realizada a análise dos mesmos, pode-se então realizar a comparação entre o que foi obtido e o que é recomendado pelo manual de MSA, e assim determinar se o sistema de medição é adequado ou não. Os critérios para um sistema de medição adequado, de acordo com o MSA, são:

1. Percentual de Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R) deve ser menor que 10%.
2. A linha de “tendência=0” deve estar inteiramente contida na faixa de confiança da linha de melhor ajuste.
3. Cartas de controle devem demonstrar que os dados de estabilidade do processo de medição estão sob controle.
4. A Tendência deve apresentar um P-valor  $\geq 0,05$

Comparando-se os critérios do manual de MSA e os resultados obtidos, pode-se concluir o seguinte: o R&R do presente estudo foi de 9.51%, estando assim dentro dos parâmetros de aceitabilidade (<10%). A linha de “tendência=0” está totalmente dentro dos limites da faixa de confiança para a reta de regressão, o que está de acordo com o

especificado. A carta de controle de estabilidade não indicou nenhum ponto fora de controle, o que demonstra que o sistema está estável, de acordo com o exigido. O P-valor para a tendência encontrado, tanto para *Slope* (0,624) quanto *Constant* (0,92), foi maior que mínimo exigido de 0,05. Considerando a comparação estabelecida, pode-se concluir que o sistema de medição dos micrômetros, presente no Acabamento de Barras e Aço Fino da empresa estudada, é aceitável de acordo com os parâmetros do manual de MSA. Sendo assim, o problema de pesquisa foi respondido e a hipótese confirmada, pois a mesma propôs que o sistema de medição dos micrômetros é aceitável, tendo em vista o histórico do sistema de medição e a não ocorrência de alterações no mesmo.

Com relação as limitações do presente estudo, é possível destacar que o número mínimo de medições foi seguido,  $n=20$ , e ainda assim aproximadamente 5 meses foram necessários para coletar essa quantidade de medições para o estudo de estabilidade. Normalmente a empresa estudada buscar atingir 30 medições para o estudo de estabilidade, porém para atingir esse número seria demandado um tempo maior ainda, o que não permitiria a apresentação dos resultados a tempo.

No que se refere a sugestão de melhorias para a empresa estudada, deve-se destacar que apesar de o R&R ( 9,51%), estar dentro das especificações do MSA (<10%), é possível melhorá-lo com o objetivo de que o mesmo diminuía para um patamar mais seguro. A oportunidade de melhoria que pode contribuir para esse objetivo foi identificada no presente estudo, ao analisar o gráfico ANOVA do R&R. O gráfico *R Chart by Operators* demonstrou que o operador 1 teve um ponto fora de controle, enquanto os demais não tiveram nenhum ponto além dos limites inferiores e superiores do gráfico. Recomenda-se então um treinamento focado no operador 1, pois o mesmo apresentou uma menor consistência entre as suas medições.

Ao analisar todas as informações que o estudo de MSA propiciou sobre o sistema de medição dos micrômetros, conclui-se que o mesmo é uma ferramenta indispensável para a qualidade, pois além de identificar minuciosamente os erros do sistema e fornecer toda uma metodologia para a realização dos estudos destes, ela garante que um sistema de medição dentro de seus parâmetros é um sistema que gera dados confiáveis para a tomada de decisão.

## 6. Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. *Análise dos Sistemas de Medição*. Brasília: ABDI, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Coletâneas de normas de sistemas da qualidade*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP - AIAG. *Measurement Systems Analysis MSA*. 4ªed. Detroit: Chrysler Corporation; Ford Motor Company and General Motors Corporation, 2010.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *ISO/TS 16949 Automotive Quality Management*. London: BSI, 2014.
- BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. *An overview of continuous improvement: from the past to the present*. Management Decision, v. 43, n. 5, p. 761-771, 2005.
- CARPINETTI, Luiz C. R; MIGUEL, Paulo Augusto C. Miguel; GEROLAMO Mateus, Cecílio. *Gestão da Qualidade ISO 9001:2000: princípios e requisitos*. São Paulo: Atlas, 2007.
- CARTA DE MÉDIAS E AMPLITUDE. Disponível em <http://www.ritme.com/fr>. Acesso em: 18 maio. 2015.
- CHAN, T. M. *Impact of ISO 9000 certification on quality management practices: A comparative study*. Total Quality Management, Vol. 13,Nº. 1, pp. 53-67, 2002.
- FEIGENBAUM, A. V. *Controle da qualidade total: gestão e sistemas*. São Paulo: Makron, 1994.
- FONSECA, J. J. S. *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- GALBINSKI, J. *ISO publica nova edição da ISO 9001*. Banas Qualidade, n. 199, p. 9, 2008.
- GARVIN, D. A. *Gerenciando a Qualidade: A Visão Estratégica e Competitiva*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.
- GARVIN, D. A. *Manufacturing Strategy Planning*. California Management Review, v. 35, n. 4, p. 85-106, 1993.
- GRÁFICOS DO ESTUDO DE MSA. Disponível em <http://www.minitab.com.br>. Acesso em: 18 maio. 2015.
- GUSTAFSSON, R.; KLEFSJÖ, B.; BERGGREN, E. e GRANFORSWELLEMETS, U. *Experiences from implementing ISO 9000 in small enterprises: A study of Swedish organizations*. The TQM Magazine, Vol. 13, Nº. 4, pp. 232-246, 2001.

HEUVEL, J. V. D. et al. *An ISO 9001 quality management system in a hospital: bureaucracy or just benefits?* International Journal of Health Care Quality Assurance, v. 18, n. 5, p. 361-36, 2005.

HOGG, R.V., LEDOLTER, J. *Applied Statistics for Engineers and Physical Scientists*. Macmillan Publishing Company, NY. 1987

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

ISO. International Organization for Standardization. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=52844](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=52844)>. Acesso em: 11 Abril. 2015.

ISO/TS 16949:2009 *Quality management systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2008 for automotive production and relevant service part organizations*, 2009.

IVECO S.P.A. *Quality Handbook: Analisi dei Sistemi di Misurazione*. Brescia: IVECO, 2011.

KARAPETROVIC, S. *ISO 9000, service quality and ergonomics*. Managing Service Quality, Vol. 9, Nº.2, pp.81-9, 1999.

KISER, Kenneth J.; MARSHALL, Sashkin. *Gestão da qualidade total na prática*. 1º Ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.

LAGROSEN, Y. *Quality management and health: a double connection*. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 24, n. 1, p. 49-61, 2007.

LAFUENTE, M. R.; MEGULHÃO, R. C.; NORA, J. A. F.; TURRIONI, J. B. e SOUZA, L. G. M. *Elementos do TQM: Um estudo de caso em empresas do Sul de Minas*. Anais do IX SIMPEP, Bauru, 2001.

MELLO, P. H. C.; SILVA, C. E. S. da; TURRIORI, J. B.; SOUZA, L. G. M. de. *ISO 9001:2000*. 1 ed. São Paulo: Editora Atlas S/A, 2002.

NATIONAL QUALITY ASSURANCE. *Automotive Industry Quality Standards*. Acton: NQA, 2010.

NBR ISO 9001:2000. *Sistema de gestão da qualidade – requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

OAKLAND, John S. *Gerenciamento da Qualidade Total (TQM)*. São Paulo: Nobel, 1994.

PALADINI, E. P. *Avaliação estratégica da qualidade*. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.

PALADINI, E. P. *Gestão da qualidade: teoria e prática*. São Paulo: Atlas, 2004.

ZENG, S. X.; TIAN, P.; SHI, J. J. *Implementing integration of ISO 9001 and ISO 14001 for construction*. Managerial Auditing Journal, v. 20, n. 4, p. 394-407, 2005.