

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
FABRICIO AUGUSTO DOS SANTOS  
FILIPE AUGUSTO VIEIRA GONÇALVES**

**Inspeção de espessuras de parede em superfícies  
cilíndricas.**

**Taubaté - SP  
2018**

**FABRICIO AUGUSTO DOS SANTOS  
FILIPE AUGUSTO VIEIRA GONÇALVES**

**Inspeção de espessuras de parede em superfícies  
cilíndricas.**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de Engenharia Mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica  
da Universidade de Taubaté.

Orientador(a): Prof. Me. Leandro Maia  
Nogueira

**Taubaté – SP  
2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

### SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

S237i Santos, Fabrício Augusto dos  
Inspeção de espessura de parede em superfícies cilíndricas / Fabrício Augusto dos Santos; Filipe Augusto Vieira Gonçalves. -- 2018.  
49 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Me. Leandro Maia Nogueira, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Cilíndrica. 2. Inspeção. 3. Superfície. 4. Ultrassônica. I. Título. II. Gonçalves, Filipe Augusto Vieira. III. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 621.381548

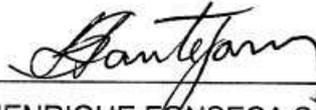
Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

FABRICIO AUGUSTO DO SANTOS  
FILIPE AUGUSTO VIEIRA GONÇALVES

**Inspeção de Espessura de Parede em Superfícies Cilíndricas.**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM  
ENGENHARIA MECANICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

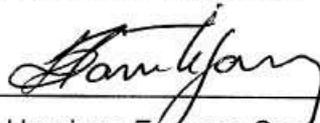
Prof. Me. FÁBIO HENRIQUE FONSECA SANTEJANI  
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof. Me. Leandro Maia Nogueira  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Dedicamos este trabalho aos nossos pais Maria Aparecida  
Lourenço dos santos e Sebastião Augusto dos Santos,  
Joaquim Pio Gonçalves Neto e Adriana de Cássia Vieira  
Gonçalves.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados

Ao meu orientador, Prof. Me. Leandro Maia Nogueira por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

Aos meus pais Maria e Sebastião, Joaquim e Adriana, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

Ao Professor Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani por aceitar compor a banca examinadora.

Às funcionárias da Secretaria pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

“Há em todos um indivíduo que ascende por seus  
próprios esforços de sua posição anterior na vida  
para uma maior”  
(ADOLF HITLER)

## RESUMO

A inspeção ultrassônica utilizada para medir espessura de parede consiste em uma inspeção não destrutiva onde o equipamento emite uma vibração ou onda ultrassônica que percorre o material e reflete no painel do aparelho, o mesmo detecta a informação apresentada e a converte em valores. Para a realização de tal procedimento para comprovar o estudo foi necessário saber que cada material tem sua particularidade cujo sua principal variação está na velocidade ultrassônica que cada material possui. Essa informação foi fundamental para o início e desenvolvimento do estudo visto que ao iniciar uma inspeção era necessário alterar a velocidade ultrassônica no equipamento. Foi realizado um estudo estatístico aplicando o método MSA, no qual foi possível comprovar que era permitido realizar a medição de peças de superfícies cilíndricas e planas com o mesmo equipamento, mostrando um equívoco no qual existia na indústria para esse tipo de inspeção e conseqüentemente evitando o gasto com equipamentos mais sofisticados para a realização desse tipo de inspeção.

**Palavras-chave:** Inspeção. Ultrassônica. Superfície.

## **ABSTRACT**

The ultrasonic inspection used to measure wall thickness consists in a non-destructive inspection where the equipment emits a vibration or a ultrasonic wave that runs through the material and reflects on the instrument panel, detecting the information and transforming into values. For this procedure accomplishment in order to prove this study it was necessary to understand that each material has its own particularity where the main variability is in the ultrasonic speed that each material possesses. This information was crucial in the beginning and during the development of this study, taking into account that to initiate an inspection it was necessary to change the ultrasonic speed in the equipment. A statistical study was performed applying the MSA method, where it was possible to verify that is granted to measure cylindrical surfaces of parts and also plain parts using the same equipment, unveiling a misconception in this industry for this kind of inspection, avoiding unnecessary expenses with a sophisticated equipment to execute this kind of inspection.

**KEYWORDS:** Inspection. Ultrasonic, Surface.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Medindo Espessura de Parede.....	20
Figura 2 – Tolerâncias Geométricas.....	22
Figura 3 – Tolerância de uma linha qualquer.....	23
Figura 4 – Tolerância de forma superfície qualquer.....	23
Figura 5 – Máquina Tridimensional.....	24
Figura 6 – Avaliação do Sistema.....	27
Figura 7 - Precisão x Acurácia.....	28
Figura 8 – Variação do Sistema.....	29
Figura 9 – Inspeção de Superfície Cilíndrica.....	33
Figura 10 – Tabela Material x Velocidade ultra-sônica.....	35
Figura 11 – Exemplo de Regulagem Direta.....	36
Figura 12 – Croqui do Corpo do trabalho.....	37
Figura 13 – Tabela de Verificação das variáveis do MAS.....	38
Figura 14 – Planilha R&R.....	39
Figura 15 - Planilha R&R para Espessura 6,70 mm.....	41
Figura 16 - Planilha R&R para Espessura 10,80 mm.....	42
Figura 17 - Planilha R&R para Espessura 13,50 mm.....	43
Figura 18 - Planilha R&R para Espessura 22,15 mm.....	44
Figura 19 - Gráfico com os Resultados R&R das Inspeções.....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

MSA	Analise de Sistema de Medição
R&R	Reprodutibilidade e Repetibilidade

## **LISTA DE SÍMBOLOS**

MM	Milímetro
----	-----------

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>INTRODUÇÃO AO ULTRASSOM.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>DESCONTINUIDADE.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>DESCONTINUIDADES PLANAS.....</b>	<b>18</b>

2.4	DESCONTINUIDADES VOLUMÉTRICAS.....	18
2.5	POROSIDADE.....	19
2.6	TRINCAS.....	19
2.7	ESPESSURAS DE PAREDE.....	20
2.8	TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA.....	21
2.8.1	FORMA DE UMA LINHA QUALQUER.....	22
2.8.2	FORMA DE UMA SUPERFÍCIE QUALQUER.....	23
2.9	MÁQUINAS TRIDIMENSIONAIS.....	23
2.10	ESTUDO MSA.....	24
2.11	EFEITO DOS ERROS NA MEDIÇÃO.....	25
2.12	DISCRIMINAÇÃO.....	25
2.13	DIRETRIZES PARA ANÁLISES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO.....	26
2.14	AVALIAÇÃO DO SISTEMA.....	26
2.15	VISÃO GERAL DO SISTEMA DE MEDIÇÃO.....	28
2.16	CRITÉRIOS PARA APROVAÇÃO DO SISTEMA R&R.....	30
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	CLASSIFICAÇÕES DOS MÉTODOS DE PESQUISA.....	31
3.1.1	DE ACORDO COM A ABORDAGEM.....	31
3.1.2	DE ACORDO COM O OBJETIVO.....	31
3.1.3	DE ACORDO COM OS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS.....	32
3.1.4	PESQUISA ABORDADA PARA ELABORAÇÃO DO TEMA ESCOLHIDO	
	32	
4	DESENVOLVIMENTO.....	33
4.1	INSPEÇÃO DE ESPESSURA DE PAREDE.....	33
4.1.1	RESOLUÇÃO.....	34
4.1.2	MÁXIMA ESPESSURA DE PAREDE QUE SE PODE MEDIR.....	34
4.1.3	SE O EQUIPAMENTO É CALIBRADO DIRETAMENTE NO MATERIAL OU	
	ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE VELOCIDADE ULTRASSÔNICA.....	34
4.1.3.1	VELOCIDADE ULTRASSÔNICA.....	35
4.1.3.2	CALIBRAÇÃO DIRETAMENTE NO MATERIAL.....	36
4.2	CONFECÇÃO DO CORPO DE PROVA.....	36
4.3	ESTUDANDO O MÉTODO MSA.....	37
4.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	38
4.5	SUBSTITUIÇÃO DO MÉTODO DE INSPEÇÃO.....	40
4.6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
5	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47

## **1INTRODUÇÃO**

Como uma Prática decorrente dentro da indústria a inspeção de espessura de parede é uma atividade muito utilizada, principalmente em situações que essas medidas podem influenciar de alguma forma estruturalmente uma peça ou equipamento.

Para realizar essa inspeção um dos equipamentos mais utilizados é o ultrassom, que transmite através de ondas ultrassônicas no seu painel os resultados das medidas encontradas.

Porém uma das perguntas mais frequentes para utilização deste equipamento é o grau de garantia do mesmo em relação as diferentes regiões a serem aplicadas, visto que existe uma certa desconfiança no âmbito industrial de que não poderiam utilizar o mesmo equipamento e pontas para medir superfícies cilíndricas e planas.

Essa monografia tem o objetivo de comprovar que é possível a utilização do mesmo equipamento para a realização desse tipo de inspeção, por meio de um estudo específico e estatísticos sobre o conteúdo, realizando testes práticos com peças de diferentes diâmetros.

Contudo algumas particularidades são colocadas em evidências tomando cuidado para não generalizar o assunto e usar o aparelho de maneira incorreta.

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo comprovar que é possível utilizar o equipamento de ultrassom para medir espessura de parede para peças cilíndricas obtendo a mesma exatidão que em peças planas utilizando a mesma ponta.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

O objetivo deste trabalho é de realizar um estudo específico e estatísticos sobre o conteúdo, realizando testes práticos com peças de diferentes diâmetros e aplicando o conceito MSA (análise do sistema de medição), que é um método estatístico que garante a veracidade dos dados.

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa no estado de São Paulo, empresa que é envolvida diretamente com o ramo de usinagem.

Este assunto delimita-se na coleta de medidas e no estudo das mesmas na empresa de usinagem situada no estado de São Paulo, visando assim à exatidão no processo e uma maior confiabilidade do cliente.

Sendo assim após o questionamento de clientes e próprio corporativo da empresa através de reuniões em relação à legitimidade dos dados apresentados em relação às medições em peças cilíndricas e planas, foi necessário o estudo sobre esses dados através do conceito MSA.

### 1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O tema abordado neste trabalho tem como seu princípio a utilização do equipamento ultrassom para medição de parede de peças cilíndricas garantindo a exatidão dos dados coletados em relação às peças planas. Tal estudo teve como base o método MSA que através de método foi possível garantir a exatidão das medidas obtidas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUÇÃO AO ULTRASSOM

Segundo Andreucci (2014) um aparelho de ultrassom industrial tem como seu princípio de funcionamento baseado nas leis da física onde que trata da propagação de ondas de alta frequência em determinados materiais resultando na detecção de trincas, lacunas, porosidades, descontinuidades, inclusões, diferenças de materiais devido à impedância e detectar a espessura de parede do material que está sendo submetido à inspeção.

Esse método é muito utilizado na indústria, visto que podem ser aplicados em metais, cerâmicas, compósitos e plásticos onde chegam até a analisar as propriedades desses materiais em aparelhos mais sofisticados (ANDREUCCI, 2014).

Por meio desse aparelho a indústria vê como facilidade na detecção de anomalias que visivelmente não são possíveis de serem detectadas como, por exemplo, materiais que estejam danificados em suas estruturas e que visivelmente não são possíveis de serem verificados além de espessuras espessas ou maiores que podem estar dentro ou fora do especificado onde não possui outro instrumento que seja capaz de mensurar tal medida (ANDREUCCI, 2014).

Para entender melhor o assunto é necessário compreender que existe diferentes instrumentos de ultrassom, que variam conforme a sua capacidade de utilização (ANDREUCCI, 2014).

Essa utilização citada pode variar no sentido do que se deseja inspecionar, onde esses instrumentos são mais utilizados para medir e verificar as seguintes características:

- a) Descontinuidade (porosidade e Trincas);
- b) Espessuras de parede.

## 2.2 DESCONTINUIDADE

Segundo Tatini (1997) descontinuidade é uma interrupção física causada em um material por meio da abertura de uma trinca ou na presença de outros materiais como:

- a) Gases;
- b) Inclusão de escórias e tungstênio.

As descontinuidades podem ser classificadas quanto a sua origem que variam geometricamente e metalurgicamente e quanto a sua forma que podem ser planas e volumétricas (TATINI, 1997).

A descontinuidade é muito recorrente na área de solda onde há uma interrupção da estrutura típica da solda, ocasionando uma falta de homogeneidade em suas características (TATINI, 1997).

## 2.3 DESCONTINUIDADES PLANAS

Apresentam em duas dimensões onde acarreta a falta de fusão e penetração do material onde temos o caso das trincas introduzidas por hidrogênio e trincas de solidificação (TATINI, 1997).

## 2.4 DESCONTINUIDADES VOLUMÉTRICAS

Apresentam três dimensões: poros e inclusões de escória onde apresentam uma concentração de tensão bem abaixo das descontinuidades planas a tornando menos críticas (TATINI 1997).

Fazendo parte do contexto de descontinuidades existem dois tipos desses defeitos que são bem recorrentes na indústria durante a confecção de peças no setor produtivo, onde podem ser detectadas através do aparelho de ultrassom (TATINI, 1997).

## 2.5 POROSIDADE

Segundo okumura, taniguchi (1982) porosidade são espaços nulos formados por aprisionamento de gases durante o processo de solidificação. Esse espaço (poro) então é formado entre as partículas que constituem o material empregado.

De acordo com Modenesi (2001) cita ainda que esse tipo de defeito pode ser gerado principalmente pela baixa vazão de gás ou obstrução da saída de gás por respingos, excessivas correntes de ar e excesso de gás, isso porque muitas vezes a região está muito exposta ao vento não sendo protegida de maneira correta e eficaz.

Durante uma inspeção visual apenas esse tipo de detecção fica difícil de ser percebida, pois é necessária uma boa experiência para poder ter uma desconfiança sobre esse possível defeito, sobretudo essa característica pode não ser passível de ser detectada visualmente sendo necessário à utilização de um aparelho de ultrassom que detectará essa descontinuidade no material (MONDENESI, 2001).

Conforme Tillman (2009) entende-se que potência é quantidade de trabalho mecânico um motor desenvolve em um dado tempo, ou seja, é a quantidade de energia que o motor fornece em uma unidade de tempo.

## 2.6 TRINCAS

Segundo callister (2002) é descrito que trincas é a separação de um corpo de um material em duas ou mais partes quando este é submetido a algum tipo de esforço solicitante. São consideradas descontinuidades de alto teor de gravidade, uma vez que esse tipo de característica é causador de uma elevada concentração de tensão no local podendo ocasionar o início de uma fratura frágil no material que está apresentando este defeito.

Para dieter (1981) é possível ressaltar ainda que as regiões de um equipamento ou material fabricado que sofre maior esforço mecânico são mais propensas a apresentarem esse tipo de características.

Como vimos anteriormente, foram levantadas as diferentes finalidades para estarem explicando a aplicação do ultrassom, porém nosso trabalho está na relação do estudo de espessura de parede que vamos abordar a seguir.

## 2.7 ESPESSURAS DE PAREDE

É uma parte estrutural de uma peça, visto que é uma característica simples, mas com aplicabilidade alta, devido às diferentes espessuras de paredes que um material possa apresentar (GERZVOLF,2010). Conforme figura 1.

**Figura 1 – Medindo Espessura de Parede**



**Fonte: CQ Treinamento (2018)**

Segundo gerzvolff (2010). para controlar a espessura de parede de um material, é necessário saber qual tipo de material que esta sendo submetido a essa inspeção, visto que a velocidade ultrassônica de cada material tem uma variação.

Vale ressaltar ainda que matérias de mesmas características, mas que apresentam tratamentos térmicos distintos, também podem ter sua velocidade ultrassônica afetada, gerando dessa forma uma diferença na hora de realizar a verificação do material(GERZVOLF,2010).

Durante esse tipo de inspeção é importante verificar se a região que está recebendo a inspeção está lubrificada corretamente com seu gel de inspeção, onde o cristal (ponta) que entrara em contato com a peça possa conseguir realizar suas medidas corretas.

Após ser colocado o líquido sobre o material a ser inspecionado, é importante regular a velocidade ultrassônica do equipamento (GERZVOLF,2010).

Em seguida é levada a ponta de cristal junto ao gel e ao contato direto na peça, onde a mesma transmite raios ultrassônicos na peça fazendo com que esse raio percorra pela estrutura do material, até encontrar uma região que não esteja com material, esse raio é contraído após chegar nesse estágio provocando os resultados na tela do painel do equipamento da espessura encontrada no material em inspeção (GERZVOLF,2010).

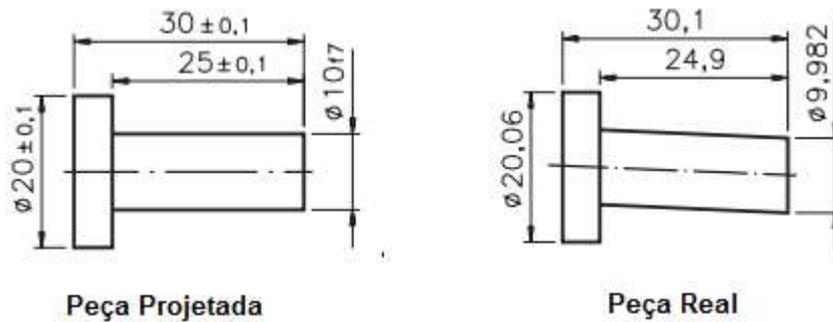
Porém com tudo isso, existe certa resistência na aplicação de ultrassom para medir espessura de parede na indústria, principalmente relacionadas a espessuras de superfícies cilíndricas.

Para comprovar isso é necessário realizar estudos específicos, onde estatisticamente se comprovem através de testes que tal conteúdo pode estar correto.

## 2.8 TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA

Segundo apostila desenho técnico secco (2015) é um sistema usado para definir e informar sobre as tolerâncias de Engenharia. Nele é utilizada uma linguagem simbólica em desenhos em que descrevem explicitamente a geometria nominal e sua variação permitida. Porém a execução da peça dentro da tolerância dimensional, não garante essencialmente num funcionamento adequado como mostra Figura 2 abaixo.

**Figura 2 – Tolerâncias Geométricas**



**Fonte: Livro Senai 2015**

Nota-se que embora o pino esteja com suas cotas dimensionais dentro do especificado, a peça real não está exatamente como a peça projetada. Percebe-se pela ilustração que o pino está deformado (SECCO, 2015).

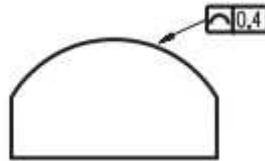
Sendo assim não é necessário apenas que as tolerâncias dimensionais estejam dentro do especificado, mas é importante que as peças a serem fabricadas se enquadrem dentro das tolerâncias de forma previstas, garantindo dessa forma que funcionem sem nenhuma interferência (SECCO, 2015).

Tendo em vista esse conceito vamos abordar nesse trabalho as tolerâncias de forma de uma linha qualquer e forma de uma superfície qualquer que são muito aplicadas nesse estudo.

### 2.8.1 Forma de uma linha qualquer

Segundo (Pizzolato, 2018) a tolerância aplicada é limitada entre duas linhas envolvendo círculos, onde os diâmetros são iguais a tolerância desejada onde os centros estejam disponibilizados sobre o perfil geométrico exato da linha, mostrado na figura 3 abaixo.

**Figura 3 – Tolerância de uma linha qualquer**

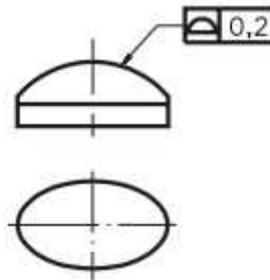


**Fonte: Livro Senai 2015**

### **2.8.2 Forma de uma superfície qualquer**

A tolerância aplicada é limitada por duas superfícies envolvendo esferas de diâmetros iguais a tolerância determinada e cujos centros estão localizados sobre uma superfície que tem a forma geométrica certa mostrada na figura 4 abaixo (PIZZOLATO, 2018).

**Figura 4 – Tolerância de forma superfície qualquer**



**Fonte: Livro Senai 2015**

## **2.9 MÁQUINAS TRIDIMENSIONAIS**

Segundo Usintek (1998) são máquinas de medição por coordenadas muito aplicadas dentro da indústria pela sua enorme capacidade de exatidão nos resultados obtidos. Esse tipo de equipamento permite uma comparação e análise de um modelo físico de determinado componente em relação ao que foi projetado,

tendo garantia dessa forma que os resultados obtidos estejam idênticos ao projeto. (USINTEK,1998).

Esse tipo de equipamento permite realizar diversas tolerâncias como: Comprimento, Ângulo, Tolerâncias de forma e Superfície, Posições, deslocamentos, Diâmetros, Espessuras de Parede, Cilindricidades, circularidades e concentricidades entre outras tolerâncias que são muito aplicadas em diferentes tipos de peças dentro da indústria. A seguir exemplo Figura 5 de máquina tridimensional (USINTEK, 1998).

**Figura 5 – Máquina Tridimensional**



**Fonte: Usintek (2018)**

## 2.10 ESTUDO MSA

Estudo MSA significa análise de sistema de medição e busca reproduzir de maneiras estatísticas, se o artefato ou objeto aplicado ao teste é apto ou capaz de assegurar a eficácia desejada (MENEZES, 2013).

Os dados encontrados apresentam uma base para determinar decisões, porém antes de qualquer atitude sobre qualquer resultado encontrado é necessário realizar análises se realmente os dados possam ser confiáveis para a elaboração de um plano de ação e seguir para um próximo passo (MENEZES, 2013).

Segundo Menezes (2013), esse estudo é muito aplicado para diferentes situações dentro de uma indústria como:

- a) Comparação entre dispositivos de medição;
- b) Avaliar dispositivos suspeitos de ser deficiente;
- c) Comparação do erro antes e depois do reparo;
- d) Critério para aceitar novos equipamentos.

### 2.11 EFEITO DOS ERROS NA MEDIÇÃO

É um fator muito importante durante a execução e análise de um experimento visto que se deve verificar se a variabilidade do processo está dentro do aceitável, ou seja, se a variação do sistema de medição não está grande o que pode acarretar num impacto negativo na decisão onde podemos cometer dois erros principais: (MENEZES, 2013).

- a) Uma peça boa ser considerada ruim;
- b) Uma peça ruim ser considerada boa.

Isso devido aos resultados obtidos, senão forem analisados de maneira coerente dentro das condições onde o equipamento está sendo submetido à inspeção

### 2.12 DISCRIMINAÇÃO

É a capacidade do estudo de detectar e indicar de maneira confiável pequenas variáveis que possam ocorrer nas características das inspeções (MENEZES, 2013).

A discriminação se torna inaceitável quando não é encontrada uma variação no sistema de medição e é inaceitável não encontrar também a causa para uma variação do sistema (MENEZES, 2013).

A causa de discriminação inaceitável aparece na carta de amplitudes onde os valores dos limites de controle e as medições estão sendo feitos de maneira adequada (MENEZES, 2013).

### 2.13 DIRETRIZES PARA ANÁLISES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Segundo Menezes (2013), independentemente do estudo que vai ser aplicado, é imprescindível tomar alguns cuidados para a preparação do estudo:

- a) Escolher operadores que operam o dispositivo;
- b) Abordagem correta nas pessoas que vão realizar o teste;
- c) Determinar previamente o numero de operadores e peças e a serem inspecionadas;
- d) As medições devem ser realizadas de forma aleatória;
- e) As peças devem ser numeradas;
- f) Determinar o local da inspeção;
- g) O estudo deve ser acompanhado por alguém que saiba da importância de tal estudo.

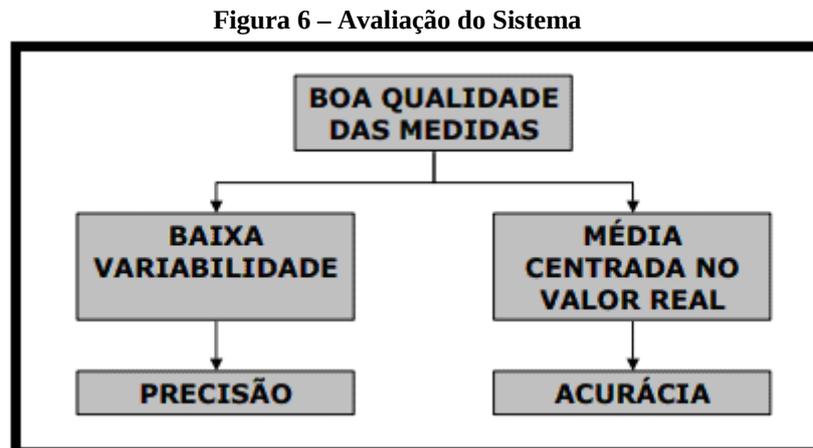
Esses cuidados são fundamentais para a veracidade dos dados colhidos, evitando dessa maneira qualquer interferência na análise (MENEZES, 2013).

### 2.14 AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Suponha-se que ao realizar varias medições de um determinado sistema de medição, já se sabe o valor real do material ou peça que está submetido a essa inspeção (AIAG, 2008).

Se todos os valores encontrados estiverem próximos do real então podemos dizer que estão dentro do valor aceitável (AIAG, 2008).

Porém a baixa qualidade de um sistema de medição pode gerar grandes variabilidades nos resultados. Com isso é possível identificar dois componentes que afetam a média e a dispersão das medições AIAG (2008). Como mostrado na figura 6 abaixo.



Fonte: Apostila Análise dos Sistemas de Medição (2013)

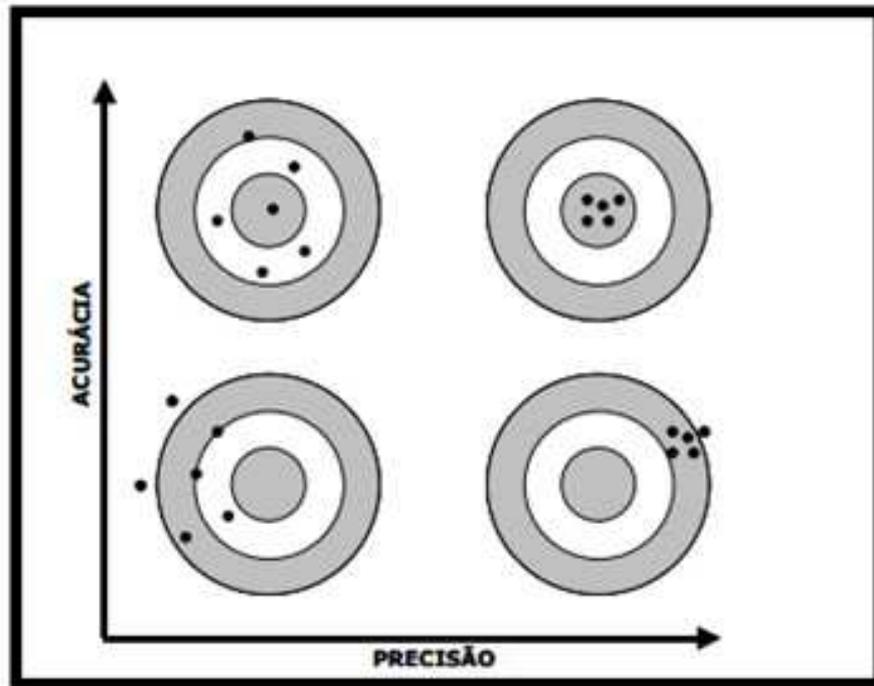
### **Precisão**

Esta relacionada com a variabilidade de um sistema, quanto maior for a variação de uma coleta de dados menor a precisão (AIAG, 2008).

### **Acurácia**

Toledo & Oprime (2008) diz que acurácia está relacionada com a média das distribuições das inspeções, quanto mais próximo do valor real estão os dados, maior acurácia. Abaixo Figura 7 equivalência de ambos

Figura 7 - Precisão x Acurácia



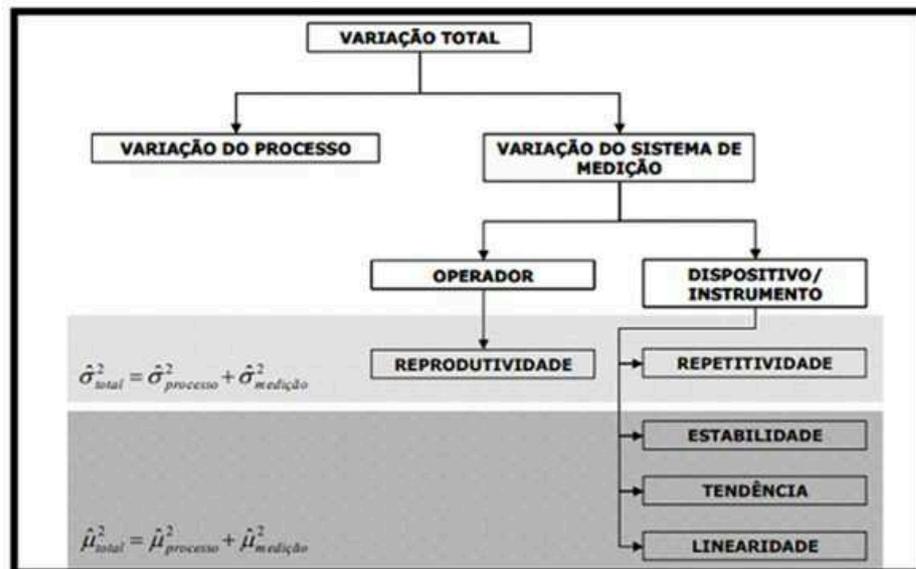
Fonte: Apostila Análise dos Sistemas de Medição (2013)

## 2.15 VISÃO GERAL DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Em AIAG (2008), para colocar o estudo em prática é necessário identificar as prioridades que o sistema de medição deve focar, onde tais identificações facilitem para a coleta dos dados suas análises e conseqüentemente verificar os resultados de maneira correta.

A seguir são apresentadas as variações que são possíveis de serem verificadas na Figura 8.

Figura 8 – Variação do Sistema



Fonte: Apostila Análise dos Sistemas de Medição (2013)

Como nosso foco é observar a variação do sistema de medição, serão escolhidos uma variação causada pelo operador (Reprodutividade) e uma pelo instrumento (Repetitividade) para serem analisadas.

### Repetitividade

Segundo Toledo & Oprime (2008) é a variação causada pela inspeção que é realizada varias vezes pelo mesmo operador utilizando o mesmo instrumento de medição. Uma boa repetitividade é quando uma pessoa inspeciona várias vezes uma determinada peça ou equipamento e a sua variação é pequena.

### Reprodutibilidade

É a variação das medidas feitas por diferentes operadores, utilizando o mesmo instrumento de medição. É uma boa reprodutibilidade quando varias

pessoas inspecionarem uma peça e a variação dessa inspeção ser pequena. (Toledo & Oprime, 2008)

## 2.16 CRITÉRIOS PARA APROVAÇÃO DO SISTEMA R&R

Para Toledo & Oprime (2008) podemos definir algumas análises quanto aos resultados obtidos através dessas variações estudadas:

- a) **Abaixo de 10% de variação:** Pode ser aceitável. É bem atribuída quando desejamos ter um processo com medidas apertadas.
- b) **Entre 10 e 30% de variação:** Poder ser aceito para algumas aplicações. É atribuído quando o sistema que desejamos empregar não possui medidas tão apertadas não sendo necessário um sistema tão preciso.
- c) **Acima de 30%:** Considerado inaceitável ser analisado alguma causa para tal erro de equipamento ou variação do processo. Se o equipamento for aprovado nessas condições podem prejudicar na fabricação de peças e conseqüentemente afetar a qualidade do produto.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 CLASSIFICAÇÕES DOS MÉTODOS DE PESQUISA**

A pesquisa é um procedimento racional e sistemático que visa possibilitar argumentos para os problemas apresentados. É iniciado um trabalho científico quando as informações que possuímos sobre um determinado assunto são insatisfatórias gerando a necessidade de serem levantadas e resolvidas através de uma análise organizada (GIL, 1991).

##### **3.1.1 De acordo com a abordagem**

Segundo Gil (1991) Após ser definido o problema a ser estudado, o próximo passo é na escolha do modo de pesquisa em que ações serão encaminhadas, esse tipo de pesquisa podem ser qualitativos ou quantitativos.

Uma pesquisa quantitativa é quando os problemas podem ser mensuráveis em busca de análises e soluções, através da utilização de procedimentos estatísticos e ferramentas da qualidade (SILVA; MENEZES, 2005).

##### **3.1.3 De acordo com o objetivo**

Segundo Gil (1991) conforme os objetivos, as pesquisas podem ser classificadas em Exploratória, Descritiva e Explicativa.

Pesquisa exploratória tem como objetivo possibilitar maior familiaridade com as dificuldades, e torna-las concebíveis onde as mesmas podem ser construídas por meio de hipóteses ou diretrizes abrangendo citações, levantamento bibliográfico e exemplos que possibilitem clareza sobre o assunto, além de entrevistas com as pessoas que possuem experiências sobre o assunto pesquisado. Estudos de casos e pesquisas bibliográficas são muito aplicáveis nas pesquisas exploratórias, onde é muito utilizada a intuição do pesquisador (GIL, 1991).

Segundo Gil (1991) uma pesquisa descritiva tem como princípio descrever atentamente cada instrumento de estudo (fenômeno, problema, população)

utilizando coleta e enumeração de dados qualitativos, principalmente os quantitativos.

### **3.1.3 De acordo com os procedimentos técnicos**

Segundo Gil (1991), uma pesquisa pode ser classificada quanto ao procedimento técnico, sendo assim, temos: Pesquisa Bibliográfica, a qual é desenvolvida a partir de material já publicado, podendo estes ser livros ou artigos; Pesquisa Documental, desenvolvida a partir de material que não receberam avaliação; Pesquisa Experimental, onde cria-se formas de controle e de observação das reações do objeto problema.

### **3.1.4 Pesquisa abordada para elaboração do tema escolhido**

Este trabalho teve como base uma pesquisa exploratória bibliográfica e experimental, onde através desse estudo foi possível alterar o método de inspeção de espessura de parede em superfícies cilíndricas, de uma empresa do estado de São Paulo no ramo aeronáutico, utilizando o equipamento ultrassom.

Tal procedimento possibilitou a otimização de um equipamento que antes da pesquisa era considerado ineficaz quanto a sua confiabilidade e precisão

## 4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo aborda-se um estudo de caso através de testes com corpo de prova, buscando viabilizar a utilização do equipamento ultrassom na inspeção de espessura de parede em diferentes tipos de superfícies, através de dados coletados por meio do auxílio de um estudo estatístico (MSA) que possibilita apresentar o desempenho do equipamento através dos resultados obtidos

Esse projeto foi desenvolvido em uma empresa no ramo aeronáutico no interior do estado de São Paulo que atua na produção de peças de usinagem.

Para que as indústrias sejam consideradas bem sucedidas é imprescindível que seus processos de fabricação sejam de alta qualidade (HILLMANN,2014).

Devido à dificuldade para realizar essas inspeções foi proposto a aplicação do método de espessura de parede conforme Figura 9 abaixo.

**Figura 9 – Inspeção de Superfície Cilíndrica**



**Fonte: Silva (2011)**

### 4.1 INSPEÇÃO DE ESPESSURA DE PAREDE

Com a necessidade de realizar inspeção de espessura de parede em peças que apresentam superfícies cilíndricas, foi proposto um estudo de caso sobre o assunto com o objetivo de usar o equipamento ultrassom para medir essas regiões, mesmo o instrumento não tendo pontas especiais para a realização de tal atividade.

Para realizar tal procedimento foi analisado o equipamento e verificado quais eram suas características, sendo importante ressaltar as principais tais como:

- a) Resolução;
- b) Máxima espessura de parede que se pode medir;
- c) Se o equipamento é calibrado diretamente no material ou através da utilização de velocidade ultrassônica.

#### **4.1.1 Resolução**

Resolução de um equipamento pode ser chamada de “capacidade de leitura” do instrumento, ou seja, é a leitura do menor incremento mensurável (V. THOMSEN, 1997).

Através desse dado podemos saber se tal instrumento é adequado para determinadas aplicações devido a sua tolerância aplicada.

Exemplo é um equipamento que pode realizar uma inspeção onde os resultados de menor leitura do instrumento são de 0,01 mm e a peça ao qual será inspecionada pelo equipamento tem a necessidade de ter uma exatidão de 0,001 mm. Tendo em vista o exemplo, nesse caso o equipamento está inadequado para uso nessa inspeção, visto que sua resolução não atende ao requisito do artigo, não tendo dessa maneira exatidão nessa aplicação.

#### **4.1.2 Máxima espessura de parede que se pode medir**

É um dado importante se saber antes de realizar uma atividade de inspeção, pois evita-se de perder tempo com um instrumento que tem uma limitação de utilização para a sua aplicação no momento.

Exemplo é uma peça que possui 40 mm de espessura de parede e o equipamento possui leitura de no máximo 20 mm de espessura, ou seja, o equipamento não ira atender a necessidade e não será aplicável para essa situação.

#### **4.1.3 Se o equipamento é calibrado diretamente no material ou através da utilização de velocidade ultrassônica**

Para podermos utilizar o ultrassom para realizar inspeção de espessura de parede é necessário calibrar o equipamento e para isso é necessário ou saber a velocidade ultrassônica do material ou realizar a calibração manualmente na peça em que se deseja inspecionar.

#### 4.1.3.1 Velocidade ultrassônica

##### **CIDA**

O ensaio de ultrassom é um método não destrutivo baseado em ondas para detecção da espessura de parede do material ao qual está sendo submetido tal teste

Nesse tipo de ensaio uma onda de som ultra-sônica pulsa ecoante e é enviada através do material, ao qual é parcialmente devolvida da parte posterior da parede do material.

Para realizar esse método corretamente é necessário regular a velocidade ultrassônica do equipamento em relação ao material ao qual a peça foi fabricado. Segue Figura 10 abaixo.

**Figura 10 – Tabela Material x Velocidade ultra-sônica**

Material	Velocidade m/s
Ar	330
Alumínio	6300
Cobre	4700
Ouro	3200
Aço	5900
Aço inoxidável	5800
Nylon	2600
Óleo(SAE30)	1700
Água	1480
Prata	3600
Titânio	6100
Níquel	5600
Tungstênio	5200
Magnésio	5.800
Acrílico	2.700
Aço Inoxidável	5.800
Aço Fundido	4.800

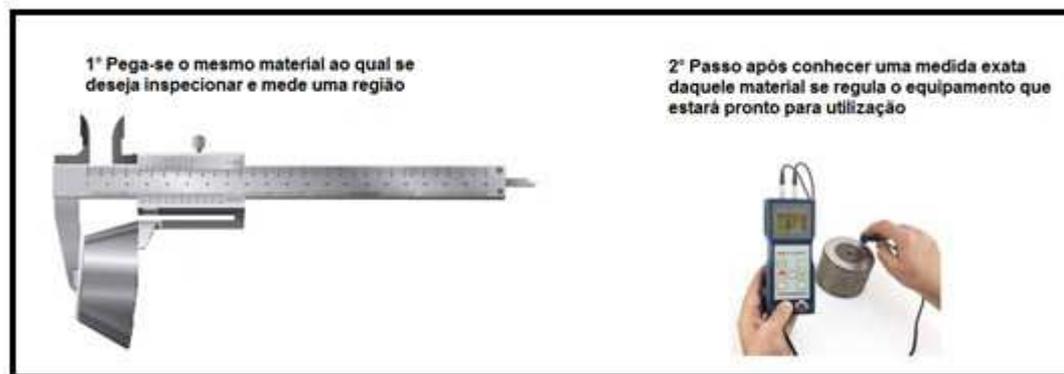
Fonte: Silva (2014)

Vale ressaltar que é importantíssimo realizar essa regulagem corretamente, visto que cada material possui uma velocidade diferente e se não for realizada pode gerar erro ao efetuar a inspeção.

#### 4.1.3.2 Calibração diretamente no material

Outro método de calibração do equipamento ultrassom, é o meio de medição diretamente no material, ou seja, se conhece uma medida conhecida daquele material ao qual vai ser inspecionado e se realiza a regulagem daquela medida no instrumento. Seguindo Figura 11 abaixo.

**Figura 11 – Exemplo de Regulagem Direta**



**Fonte: Impac (2018)**

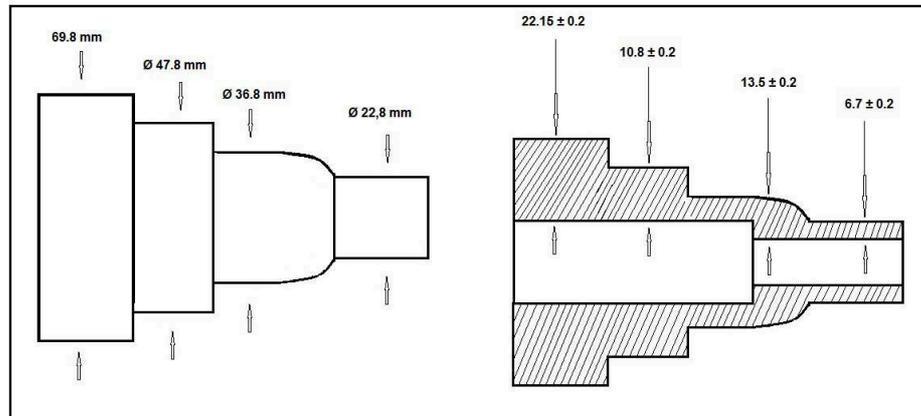
Esse tipo de regulagem é bem comum visto que existem muitos materiais que possuem diversas ligas e tais materiais muitas vezes não possuem especificações da sua velocidade ultrassônica ao qual pode gerar um erro de medição caso não esteja regulado com a sua velocidade ideal.

#### 4.2 CONFECÇÃO DO CORPO DE PROVA

Para realização dos testes e comprovação do método, foi necessário elaborar um corpo de prova que possuísse as características equivalentes ao qual o método poderia ser aplicado dentro da indústria.

Foi elaborado um croqui com a peça que se desejava produzir, em diferentes diâmetros e diferentes espessuras, tudo isso pra facilitar o estudo. O croqui é mostrado abaixo.

**Figura 12 – Croqui do Corpo do trabalho**



Fonte: Elaborado pelo autor

Após ser elaborado o desenho conforme acima, foi confeccionada a peça no material aço 1300.

#### 4.3 ESTUDANDO O MÉTODO MSA

Para colocar em prática o estudo MSA, e comprovar o método utilizando o equipamento ultrassom, foi necessário estudar o método estatístico para conhecê-lo e aplicá-lo corretamente.

Para uma análise de um sistema de medição é necessário que essas ferramentas possam transmitir confiabilidade nos dados coletados a fim de serem utilizados com segurança por uma empresa.

Antes de qualquer coisa é necessário verificar a qualidade dos dados de medição apresentados, ou seja, se o sistema de medição ao qual o estudo está sendo aplicado está operando sob condições estáveis.

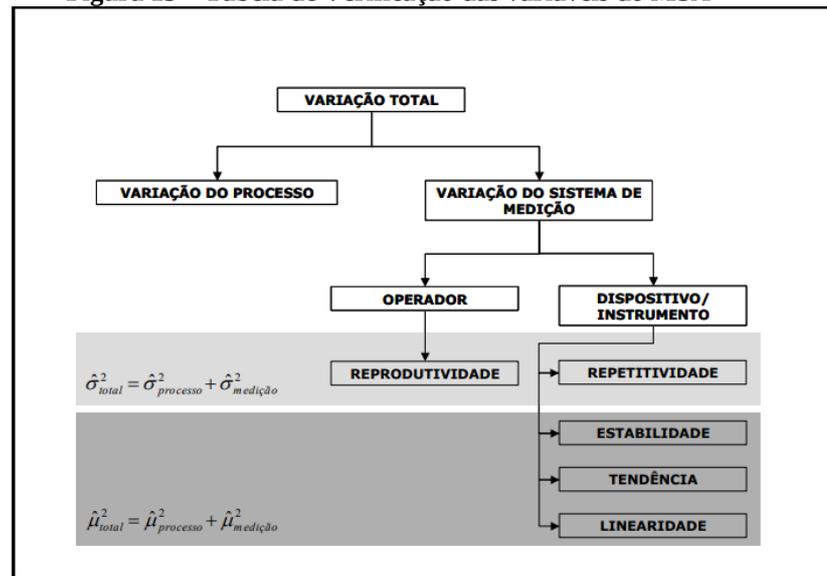
Muita das dificuldades para se gerenciar um sistema de medição está ligado ao seu monitoramento e controle da sua variação. Isso nos indica que devemos aprender de como o sistema de medição interage com seu meio ambiente, fazendo com seja gerados somente dados que tenham qualidade aceitável.

Variações de um sistema são indesejáveis, porém existem algumas exceções que devem ser ressaltadas. Se uma variação é devida a pequenas mudanças na característica que está sendo submetida a uma medição, ela pode ser considerada

desejável. Quanto mais vulnerável for um sistema de medição a esse tipo de mudança, mais desejável ele se torna.

Se a qualidade dos dados não for aceitável, então é necessário que seja melhorado. Porém geralmente é melhorado o sistema de medição e não os dados coletados. Como mostra a figura a seguir.

**Figura 13 – Tabela de Verificação das variáveis do MSA**



Fonte: Apostila Análise dos Sistemas de Medição (2013)

Para dar continuidade ao estudo foi preciso selecionar duas variáveis causadas pelo sistema de medição, sendo uma variação do operador, Reprodutibilidade e uma variação do instrumento e dispositivo que foi escolhido a repetibilidade.

#### 4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Após estudo sobre o método, o próximo passo para comprovação do mesmo foi a elaboração de uma planilha usando método R&R e aplicá-lo.

Para elaboração da planilha foi necessário adotar algumas características importantes como a tolerância aplicada, no caso adotado  $\pm 0,2$  mm, uma tolerância escolhida devido a similaridade das tolerâncias em que o equipamento será submetido dentro da empresa.

Além disso, é importante entender que para comprovação da eficácia do estudo ele precisa atingir o resultado de no máximo 30% de R&R, resultado esse que aparecerá automaticamente no final da planilha.

Vale ressaltar que para medidas mais apertadas o critério muda, onde o resultado encontrado não pode ultrapassar os 10% de R&R.

Como a tolerância aplicada não é muito apertada à porcentagem adotada para confecção da planilha foi de 30%

Tais dados para elaboração dessa planilha foram retirados da Apostila MSA do SETEC 1998. Como mostra a planilha a seguir.

Figura 14 – Planilha R&R

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE VARIAÇÃO POR TOLERÂNCIA															
Nome da Peça		Característica a ser Medida					Data:		N. Relatório						
Nome do Instrumento		Resolução do Instrumento			Ativo do Instrumento			Coordenador do Estudo							
Amplitude tolerância/ Unidade:		0.4		Qtde Medidas:		6		Qtde Medições:		3		Quantidade Avaliadores:		3	
VALORES COLETADOS															
COLABORADOR 1															
Medições		Cota 1	Cota 3	Cota 5	Cota 7	Cota 9	Cota 11	Médias de cada medição				na	RA		
1 Medição															
2 Medição															
3 Medição															
Média de Cada Cota															
Amplitude															
COLABORADOR 2															
Medições		Cota 1	Cota 3	Cota 5	Cota 7	Cota 9	Cota 11	Médias de cada medição				na	RA		
1 Medição															
2 Medição															
3 Medição															
Média de Cada Cota															
Amplitude															
COLABORADOR 3															
Medições		Cota 1	Cota 3	Cota 5	Cota 7	Cota 9	Cota 11	Médias de cada medição				na	RA		
1 Medição															
2 Medição															
3 Medição															
Média de Cada Cota															
Amplitude															
Média geral de cada cota												na	RA		

Fonte: Planilha MSA SETEC - modificado pelo autor (1998)

Para sua aplicação foi necessário a ajuda de 3 colaboradores diferentes, conforme a foto da planilha acima, aos quais os mesmos iriam inspecionar as mesmas regiões na mesma quantidade de vezes e num mesmo ambiente de trabalho afim de evitar qualquer anomalia causada pelo meio ambiente que prejudica-se a eficácia do estudo.

Esse tipo de teste permite que possamos ter uma conclusão sobre a capacidade do instrumento de repetir suas medições em um mesmo local pela

mesma pessoa (repetibilidade) e o de essas medições repetirem em inspeções realizadas por pessoas diferentes (reprodutibilidade).

#### 4.5 SUBSTITUIÇÃO DO MÉTODO DE INSPEÇÃO

Em uma avaliação de ensaio não destrutivo (AND), determinadas situações possibilitam que alguns métodos de inspeção possam ser modificados, desde que determinados requisitos possam ser atendidos. Os métodos de inspeção são constantemente avaliados, visando melhorar o processo, reduzir tempo de inspeção e conseqüentemente abaixar o custo de fabricação de um item.

Tendo em vista esse estudo aplicado, foi verificado que algumas peças de grande complexidade em que seu controle era realizado através das tolerâncias de uma linha e forma qualquer geravam um grande número de cotas que ficavam fora do especificado, porém eram cotas em que eram aprovadas devido a dificuldade de serem retrabalhadas ou que não afetavam funcionalmente ou estruturalmente a montagem de componentes.

Devido a essas anomalias foi verificado a possibilidade de substituir grande parte dessas tolerâncias aplicadas por um controle da sua espessura de parede em que a Engenharia entrou num consenso de que o mais importante para essas regiões em que se geravam não conformidade eram o seu controle de espessura de parede em que este item afetaria diretamente o estrutural e funcional da peça para uma montagem de conjunto.

Além de possibilitar à substituição e conseqüentemente a redução do número de especificações forma da tolerância a substituição desse meio de medição substituiria a inspeção de algumas cotas de serem verificadas em máquinas tridimensionais, onde seu tempo de inspeção é maior e mais caro.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após desenvolver uma planilha de R&R e aplicá-lo foi necessário a análise dos dados para comprovação de que o desenvolvimento do estudo foi eficaz.

Para isso foi necessário inserir todos os dados coletados da experiência na planilha do estudo.

O primeiro teste aplicado foi para a região da peça com Diâmetro de 22.7 mm que possuem espessura de 6.7 mm conforme planilha a seguir.

Figura 15 - Planilha R&R para Espessura 6,70 mm

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE VARIAÇÃO POR TOLERÂNCIA										
Nome da Peça		Característica a ser Medida Espessura 6.7 mm				Data :	N° Relatório		Fabricio	
Nome do Instrumento		Resolução do Instrumento		Ativo do Instrumento		Coordenador do Estudo		Característica é KC ou Não ? (Marque com X)		
Amplitude tolerância/ Unidade:		0,4	Qtde Medidas:	6	Qtde Medições:	3	Sim		Não	
							Quantidade Avaliadores:		3	
VALORES COLETADOS										
Colaborador	Medições		COTAS				Médias de cada medi		ka	RA
	1 Medição	6,680					6,680	1,114	0,002	
	2 Medição	6,690					6,690			
	3 Medição	6,680					6,680			
	Média de Cada Cota		6,683					6,683		
	Amplitude		0,010					0,010		
Colaborador	Medições		COTAS				Médias de cada medi		ka	RA
	1 Medição	6,690					6,690	1,118	0,005	
	2 Medição	6,720					6,720			
	3 Medição	6,710					6,710			
	Média de Cada Cota		6,707					6,707		
	Amplitude		0,030					0,030		
Colaborador	Medições		COTAS				Médias de cada medi		ka	RA
	1 Medição	6,700					6,700	1,118	0,003	
	2 Medição	6,710					6,710			
	3 Medição	6,720					6,720			
	Média de Cada Cota		6,710					6,710		
	Amplitude		0,020					0,020		
Média geral de cada cota		6,700					xbar		RP	
							1,117			0,000
RESULTADO (%):										
REPETITIVIDADE		REPRODUTIBILIDADE		R&R		STATUS DO RESULTADO				
2,22		3,45		4,10		APROVADO				

Fonte: Planilha MSA SETEC 1998 - modificado pelo autor

O segundo teste realizado foi com a região do corpo de prova que apresentava Diâmetro de 47.8 mm e espessura de 10.8 mm conforme podemos observar na planilha a seguir.

Figura 16 - Planilha R&R para Espessura 10,80 mm

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE VARIAÇÃO POR TOLERÂNCIA										
Nome da Peça	Característica a ser Medida					Data:	Nº Relatório	Fabricio		
	Espessura 10.8 mm					Coordenador do Estudo				
Nome do Instrumento	Resolução do Instrumento	Ativo do Instrumento			Característica é KC ou Não? (Marque com X)					
					Sim	Não		X		
Amplitude tolerância/ Unidade:	0,4	Qtde Medidas:	6	Qtde Medições:	3	Quantidade Avaliadores:		3		
VALORES COLETADOS										
Colaborador	COTAS									
	Medições	Cota 1						Médias de cada medi	ка	RA
	1ª Medição	10,790						10,790	1,797	0,002
	2ª Medição	10,780					10,780			
	3ª Medição	10,780					10,780			
	Média de Cada Cota	10,783						10,783		
Amplitude	0,010						0,010			
Colaborador	COTAS									
	Medições	Cota 1						Médias de cada medi	ка	RA
	1ª Medição	10,760						10,760	1,799	0,010
	2ª Medição	10,810					10,810			
	3ª Medição	10,820					10,820			
	Média de Cada Cota	10,797						10,797		
Amplitude	0,060						0,060			
Colaborador	COTAS									
	Medições	Cota 1						Médias de cada medi	ка	RA
	1ª Medição	10,830						10,830	1,799	0,012
	2ª Medição	10,790					10,790			
	3ª Medição	10,760					10,760			
	Média de Cada Cota	10,793						10,793		
Amplitude	0,070						0,070			
Média geral de cada cota		10,791						xbar	RP	
								1,799	0,000	
RESULTADO (%):										
REPETITIVIDADE	REPRODUTIBILIDADE	R&R		STATUS DO RESULTADO						
5,31	1,05	6,00		APROVADO						

Fonte: Planilha MSA SETEC 1998 - modificado pelo autor

O terceiro teste foi aplicado na região da peça onde se tem o Diâmetro de 36.8 mm e espessura de 13.50 mm conforme podemos verificar na planilha a seguir.

Figura 17 - Planilha R&R para Espessura 13,50 mm

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE VARIAÇÃO POR TOLERÂNCIA										
Nome da Peça		Característica a ser Medida				Data :	Nº Relatório		Fabricio	
		Espessura 13,50 mm				Coordenador do Estudo				
Nome do Instrumento		Resolução do Instrumento		Ativo do Instrumento		Característica é KC ou Não ? (Marque com X)				
						Sim		Não		X
Amplitude tolerância/ Unidade:		0,4	Qtde Medidas:	6	Qtde Medições:	3	Quantidade Avaliadores:		3	
VALORES COLETADOS										
COLABORADOR 1										
COTAS										
Colaborador	Medições	Cota 1						Médias de cada medi	ka	RA
	1ª Medição	13,480						13,480	2,248	0,002
	2ª Medição	13,490					13,490			
	3ª Medição	13,490					13,490			
	Média de Cada Cota	13,487						13,487		
	Amplitude	0,010						0,010		
COLABORADOR 2										
COTAS										
Colaborador	Medições	Cota 1						Médias de cada medi	ka	RA
	1ª Medição	13,520						13,520	2,253	0,003
	2ª Medição	13,510					13,510			
	3ª Medição	13,530					13,530			
	Média de Cada Cota	13,520						13,520		
	Amplitude	0,020						0,020		
COLABORADOR 3										
COTAS										
Colaborador	Medições	Cota 1						Médias de cada medi	ka	RA
	1ª Medição	13,550						13,550	2,256	0,005
	2ª Medição	13,520					13,520			
	3ª Medição	13,530					13,530			
	Média de Cada Cota	13,533						13,533		
	Amplitude	0,030						0,030		
Média geral de cada cota		13,513						xbar		RP
								2,252		0,000
RESULTADO (%)										
REPETITIVIDADE		REPRODUTIBILIDADE		R&R		STATUS DO RESULTADO				
2,35		6,06		6,74		APROVADO				

Fonte: Planilha MSA SETEC 1998 - modificado pelo autor

O quarto teste foi aplicado na região da peça onde se tem o Diâmetro de 69.8 mm e espessura de 22.15 mm conforme podemos observar na planilha a seguir.

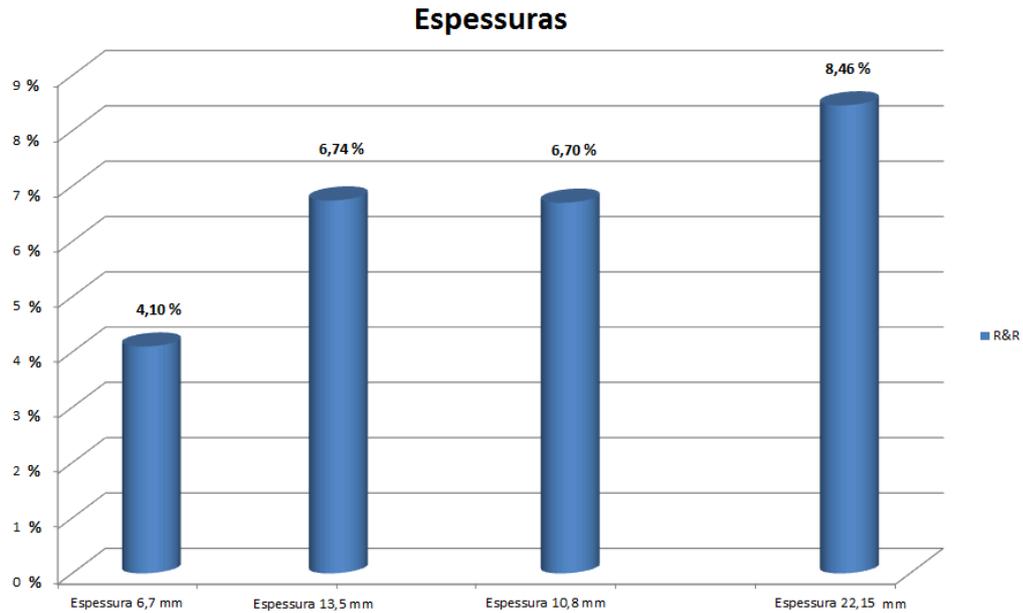
Figura 18 - Planilha R&R para Espessura 22,15 mm

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE VARIAÇÃO POR TOLERÂNCIA											
Nome da Peça		Característica a ser Medida				Data :	Nº Relatório		Fabricio		
Nome do Instrumento		Resolução do Instrumento		Ativo do Instrumento		Coordenador do Estudo			Característica é KC ou Não ? (Marque com X)		
Amplitude tolerância/ Unidade:		0,4	Qtde Medidas:	6	Qtde Medições:	3	Sim		Não		X
							Quantidade Avaliadores:		3		
VALORES COLETADOS											
COTAS											
Colaborador	Medições	Cota 1							Médias de cada medi	xa	RA
	1 Medição	22,130							22,130	3,632	0,008
	2 Medição	22,160						22,160			
	3 Medição	22,150						22,150			
	Média de Cada Cota	22,153							22,153		
	Amplitude	0,050							0,050		
Colaborador	Medições	Cota 1							Médias de cada medi	xa	RA
	1 Medição	22,200							22,200	3,696	0,010
	2 Medição	22,190						22,190			
	3 Medição	22,140						22,140			
	Média de Cada Cota	22,177							22,177		
	Amplitude	0,060							0,060		
Colaborador	Medições	Cota 1							Médias de cada medi	xa	RA
	1 Medição	22,160							22,160	3,693	0,010
	2 Medição	22,190						22,190			
	3 Medição	22,130						22,130			
	Média de Cada Cota	22,160							22,160		
	Amplitude	0,060							0,060		
Média geral de cada cota		22,163							xbar		RP
									3,634		0,000
RESULTADO (%):						STATUS DO RESULTADO					
REPETITIVIDADE		REPRODUTIBILIDADE		R&R		APROVADO					
8,12		2,38		8,46							

Fonte: Planilha MSA SETEC 1998 - modificado pelo autor

Após realizar os experimentos em diferentes diâmetros e espessuras, foi gerado através da planilha R&R os resultados obtidos por meio do estudo aplicado onde estarão apresentadas os resultados no gráfico a seguir.

**Figura 19 - Gráfico com os Resultados R&R das Inspeções**



**Fonte: Gráfico elaborado pelo autor**

Através dos dados coletados e dos resultados obtidos foi possível verificar em nosso estudo que para essa tolerância aplicada  $\pm 0,2$  mm, foi possível realizar a inspeção de espessura de parede em superfície cilíndricas com a mesma ponta utilizando o equipamento Ultrassom GE CL5.

Isso possibilitou substituir as tolerâncias de forma e linha qualquer por um controle de espessura de parede nessas regiões. Gerando dessa forma um aumento de 20 % na utilização do ultrassom, visto que essas tolerâncias de forma eram controladas por máquinas tridimensionais e passaram a serem inspecionadas por esse novo método.

Além disso, com essa substituição foi possível reduzir em até 10% no ciclo de produção de algumas peças e conseqüentemente reduzir o custo final do produto.

Vale ressaltar que para verificar a eficácia do equipamento para esse tipo de tolerâncias ou até mesmo mais apertada é necessário aplicar o estudo MSA pra visualizar se o equipamento está apto ou não para a execução de tal atividade, visto que existem variações de um equipamento para outro podendo através da aplicação do estudo comprovar a garantia da exatidão da inspeção.

## 6 CONCLUSÃO

O estudo aplicado e desenvolvido nesse trabalho possibilitou a utilização do instrumento ultrassom, em diferentes formas com a mesma ponta, o que trouxe um grande benefício dentro da indústria, principalmente no setor aeronáutico em peças que estruturalmente são necessárias serem controladas sua espessura de parede, não sendo preciso dessa forma, ser comprado um novo equipamento para realização desse tipo de inspeção.

Com esse experimento foi necessário o desenvolvimento de corpos de provas que foram fabricados no laboratório de Usinagem da Universidade o que trouxe uma boa experiência prática sobre os assuntos abordados.

O método alterou a forma de inspeção de algumas peças que deixaram de ser inspecionadas em máquinas tridimensionais e passaram a ser controladas apenas por ultrassom verificando sua espessura de parede, colocando mais facilidade no processo, visto que o ultrassom é fácil de manusear e um equipamento mais barato, além de reduzir o tempo de inspeção dessas peças e conseqüentemente o custo final delas.

## REFERÊNCIAS

ANDREUCCI,. Publicado em 2014. Disponível em:

<[http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/US\\_maio-2014%20\(1\).pdf](http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/US_maio-2014%20(1).pdf)>, Acessado em: 26 de Abril de 2018 às 11:50.

Automotive Industry Action Group (AIAG) (2010). **Manual de Referência de Análise de Sistemas de Medição**, 4ª edição. Força Tarefa de Requisitos da Qualidade de Fornecedores da Chrysler, Ford e General Motors.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais**: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002

CQ Treinamento (2018). **Ensaio Não – Destrutivos**. Disponível em:<http://cqtreinamento.com.br/ultrassom-convencional-nivel-2-medicao-de-espessura-e-inspecao-de-solda/>Acesso em 27 de 11 de 2018 às 22:38

DIETER, George Ellwood. **Metalurgia mecânica**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.

Gerzvolff,D.(fevereiro de 2010). **Manual de instruções do medidor de espessura Ultra-Sônico Modelo UT-1200**. Acesso em 27 de novembro de 2018, disponível em ICEI manaus: <https://www.icei-manaus.com.br/manual/UT-1200%20MANUAL.pdf>

Impac (1990).**Instrumentos de medição** . Disponível em: <  
<https://www.impact.com.br/medicao/medidor-de-espessura-ultrassom-ip-8811.html>  
>Acesso em 15 de 10 de 2018 às 00:06

Leite, Paulo G.P , **“Curso de Ensaios Não Destrutivos”**, Associação Brasileira de Metais-ABM , 8a. edição 1966

Menezes, F. M. (2013). **MSA. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO** , p. 28.

MONDENESI, P.J.(Novembro de 2001). Soldagem I. **Descontinuidade e Inspeção em Juntas de Solda**, p.16.

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

OKUMURA, T., TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. São Paulo, LTC, 1982.

(Pizzolato, 2018) Pizzolato, M. (2018). **Tolerâncias**. p. 14.

Ribeiro, J. L., & Caten, C. S. (2012). **Controle Estatístico do Processo**.

Monografia, Monografia (Monografia em Engenharia) - FEENG/UFRGS, Porto Alegre.

Santos, V. (2016). **Como Avaliar o Sistema de Medição. Fm2s**. Disponível em: <<https://www.fm2s.com.br/avaliacao-do-sistema-de-medicao/>>. Acesso em 27 de 04 de 2018 às 19:03

Secco,A.(2015).**Tolerancia Geometrica**, São Paulo: SENAI-SP

SENAI , "**Soldagem**" , São Paulo , SP , 1997

Silva, A. C. (2005). **UMA SISTEMÁTICA PARA GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA APLICADA EM AMBIENTE INDUSTRIAL**. Dissertação, Dissertacao (Dissertacao em Engenharia) - UFSC, Florianopolis.

Silva,B.P.(Setembro de 2011).Avaliação de Falhas em Revestimentos Anticorrosivos pelo Metodo de Ensaio nao-destrutivo por ultra-som. p.14.

Tatini,S.Z.(1997).**Coleção TecnologiaSenai Soldagem**. São Paulo.

Tillman,C.A.(2013) **Motores de combustão Interna e seus Sistemas**.Pelotas

Toledo, P. J., & Oprime, P. C. (2008). **Análise de um sistema de medição** . O estudo da repetitividade e reprodutibilidade (R&R) , p. 27.

Usintek (1988). **Usinagem Técnica Industrial**. Disponível em:

<<http://www.usintek.com.br/maquina-medicao-tridimensional-coordenadas>>Acesso

em 15 de 10 de 2018 às 23:57