

**LEONARDO RODRIGUES GOMES**

**IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS ESPECIAIS NO PROCESSO QUE  
AUMENTAM A OCORRÊNCIA DE PORO NA SOLDA DE TUBOS DE AÇO:  
APLICAÇÃO ETAPAS DEFINIR, MEDIR E ANALISAR DO DMAIC**

**Guaratinguetá**  
**2013**

LEONARDO RODRIGUES GOMES

IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS ESPECIAIS NO PROCESSO QUE AUMENTAM  
A OCORRÊNCIA DE PORO NA SOLDA DE TUBOS DE AÇO: APLICAÇÃO  
ETAPAS DEFINIR, MEDIR E ANALISAR DO DMAIC

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

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Marcela Aparecida Guerreiro Machado

Guaratinguetá  
2013

G633i Gomes, Leonardo Rodrigues  
Identificação de causas especiais no processo que aumentam a ocorrência de poro na solda de tubos de aço: aplicação etapas definir, medir e analisar do DMAIC / Leonardo Rodrigues Gomes – Guaratinguetá : [s.n], 2013.  
54 f : il.  
Bibliografia: f. 53

Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Marcela A G Machado de Freitas

1. Seis sigma (Padrão de controle de qualidade) 2. Controle de qualidade 3. Controle de processo I. Título


CDU 658.5

**IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS ESPECIAIS NO PROCESSO QUE AUMENTAM A  
OCORRÊNCIA DE PORO NA SOLDA DE TUBOS DE AÇO: APLICAÇÃO ETAPAS  
DEFINIR, MEDIR E ANALISAR DO DMAIC**

**LEONARDO RODRIGUES GOMES**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA”

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

  
Prof. Dr. FRANCISCO ALEXANDRE DE OLIVEIRA  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof.ª Dr.ª MARCELA APARECIDA GUERREIRO MACHADO  
Orientadora/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO BRANCO COSTA  
UNESP/FEG

  
Prof. Dr. JORGE MUNTZ JUNIOR  
UNESP/FEG

Dezembro de 2013

## **DADOS CURRICULARES**

### **LEONARDO RODRIGUES GOMES**

NASCIMENTO	27.10.1989 – CÁCERES / MT
FILIAÇÃO	Wilson Vicente Gomes Edna Laet Rodrigues Gomes
2004/2006	Ensino Médio Colégio Imaculada Conceição
2009/2013	Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista

dedico este trabalho à minha família, base de todos os pilares da minha vida; de modo especial ao meus pais Wilson e Edna, ao meu irmão Juliano e a minha irmã Camila, que são o apoio e amparo sempre presentes.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, base de fé e razão do viver, que nos dá oportunidade de trilhar um caminho.

à minha família, meus pais Wilson e Edna, e meus irmãos Juliano e Camila por estar sempre presente apoiando e entendendo os momentos de dificuldade, essencialmente pelo esforço em me proporcionar a oportunidade de cursar uma excelente faculdade.

à minha namorada Cynthia, que além de exemplo e companheirismo, me incentivou a realizar este trabalho.

à minha orientadora Marcela Machado, que me deu as diretrizes para o desenvolvimento deste trabalho, assim como ao professor Fernando Branco, pela participação direta na orientação.

às pessoas do trabalho Adriano, Paulo Lara, Paulo Ramos e Maurício, que colaboraram diretamente com o desenvolvimento, principalmente na questão de acesso aos dados para o estudo.

aos moradores e ex-moradores da *República Tomalá Daká*, Rodrigo, Thiago Urbano, Matheus, Leandro, Felipe Biancardi, Lucas, João Paulo, Caio, Rafael, Thiago Zapparoli, Danilo, André, Felipe Menten e Henrique, pelas amizades, entretenimentos e aprendizados vividos durante os anos de faculdade

à Dona Lú, por aconselhar e aturar todos os moradores da republica.

aos amigos distantes, Guilherme Lazzari, Guilherme Mucari, Marcelo e Alessandro, que além do apoio durante a faculdade, foram amigos presentes por toda a vida.

“Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova no livro do tempo. Aquilo que colocarmos nela, corre por nossa conta.”

Chico Xavier

GOMES, L. R. **Identificação de causas especiais no processo que aumentam a ocorrência de poro na solda de tubos de aço: aplicação etapas definir, medir e analisar do DMAIC.** 2013. 54 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

## **RESUMO**

Este trabalho abrange a metodologia Seis Sigma com a aplicação das etapas Definir, Medir e Analisar em uma empresa de tubos de aço, com o objetivo de identificar causas especiais no processo que impulsionam o surgimento do defeito Poro na solda. Ressalta-se o fato de que este trabalho é a base de um projeto de melhoria contínua que visa eliminar tal ocorrência do defeito. A motivação se dá à necessidade de melhorar a produtividade da fábrica, considerando que o defeito ocorre de forma aleatória e que suas causas são desconhecidas. Desta forma, foi definido o problema a analisar, medido a capacidade do processo em DPMO e analisado com o auxílio do gráfico por atributo P. Os resultados evidenciam os processos que apresentam causas especiais, bem como os processos considerados ideais. Dessa forma, constatou-se neste trabalho, os processos desestabilizados e os controlados, permitindo assim, uma comparação de características para a elaboração de planos de ações concisos para eliminar o defeito. O projeto deve seguir com as etapas Melhorar e Controlar da metodologia Seis Sigma, afim de garantir sucesso em sua execução, visando aumentar a competitividade da empresa.

**PALAVRAS-CHAVE:** *seis sigma, DPMO, gráfico por atributos P*

GOMES, L. R. **Identification of special causes in the process that rise the occurrence of pore in the solder of steel tubes: application steps Define, Measure and Analyze of DMAIC.** 2013. 54 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Production Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

### **ABSTRACT**

This work covers the methodology Six Sigma with the application of the steps Define, Measure and Analyze a company of steel tubes, with the objective of identify special causes in the process that drives the creation of the pore defect in the solder. It is highlighted the fact that this work is the base of an continuous upgrade project that aims in eliminating the occurrence of this defect. The motivation is given to the necessity of improving the productivity of the factory, considering that the defect occurs at random and your causes are unknown. This way, it was defined that the problem to analyze, measured the capability of the process in DPMO and analyzed with the aid of graph by attribute P. The results show the process that present special cases, as well as the process considered ideal, This way it was stated that in this work, the processes destabilized and the controlled, allowing a comparison of the characteristics for the elaboration of concise action plans to eliminate the defect. The project must follow the steps Upgrade and control the methodology Six Sigma, in order to ensure success in his execution, aiming to amplify the competitive edge of the business.

**KEYWORDS:** *six sigma, DPMO, graph by attributes P*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de soldagem por arco submerso .....	16
Figura 2 - Tipos de porosidade a) Porosidade distribuída b) Porosidade agrupada c) Porosidade alinhada.....	17
Figura 3 - Exemplo de poros in loco .....	17
Figura 4 - Roadmap DMAIC.....	22
Figura 5 - Legenda do mapeamento de processos.....	28
Figura 6 - Mapa de processos .....	28
Figura 7 - Gráfico de atributos P para os diâmetros.....	41
Figura 8 - Gráfico de atributos P para as espessuras.....	42
Figura 9 - Gráfico de atributos P para os graus.....	43
Figura 10 - Gráfico de atributos P para os fornecedores de chapas.....	44
Figura 11 - Gráfico de atributos P para os meses de produção em 2011 e 2012 .....	45
Figura 12 - Gráfico de atributos P para os turnos de produção.....	46
Figura 13 - Gráfico de atributos P para as máquinas de solda internas .....	47
Figura 14 - Gráfico de atributos P para dimensionais produzidos .....	49

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Atribuição de Nível Sigma .....	35
TABELA 2 – Cálculo do Nível Sigma.....	36
TABELA 3 – Total de tubos analisados.....	39
TABELA 4 – Diâmetro .....	40
TABELA 5 – Espessura .....	41
TABELA 6 – Grau .....	43
TABELA 7 – Chapa .....	44
TABELA 8 – Sazonalidade .....	45
TABELA 9 – Turno.....	46
TABELA 10 – MSI .....	47
TABELA 11 – Interação: Diâmetro x Espessura .....	47
TABELA 12 – Distribuição de Poisson .....	50

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Variáveis Entrada de Chapa .....	29
QUADRO 2 – Variáveis Fresadora .....	29
QUADRO 3 – Variáveis Prensa de Bordas .....	29
QUADRO 4 – Variáveis Prensa U .....	30
QUADRO 5 – Variáveis Prensa O .....	30
QUADRO 6 – Variáveis Lavador .....	31
QUADRO 7 – Variáveis Secador .....	31
QUADRO 8 – Variáveis Seladora .....	31
QUADRO 9 – Variáveis Selamento Manual .....	32
QUADRO 10 – Variáveis Solda Interna .....	32
QUADRO 11 – Variáveis Grafitar .....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEP	- Controle Estatístico de Processos
DMAIC	- <i>Define, Measure, Analyze, Improve and Control</i>
DPMO	- Defeitos por milhão de oportunidades
IBM	- <i>International Business Machines</i>
GE	- <i>General Electric</i>
LCL	- <i>Lower Control Limit</i>
LIC	- Limite Inferior de Controle
LM	- Linha Média
LSC	- Linha Superior de Controle
MSI	- Máquina de Solda Interna
UCL	- <i>Upper Control Limit</i>
SAW	- <i>Submerge Arc Welding</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$D_i$	número observado de itens
$k$	número de eventos
$m$	último item da amostra
$n$	tamanho da amostra
$p$	proporção de defeitos
$\bar{p}$	proporção média de defeitos
$P$	probabilidade
$P(X)$	probabilidade de que $x$ ocorra
$t$	intervalo
$X_0$	número máximo de defeitos permitido
$\sigma$	desvio padrão
$\mu$	média de eventos
$e$	número de Euler
$\lambda$	frequência de ocorrência

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO - SAW .....	15
1.1.1	Defeito Poro do processo SAW .....	16
1.2	OBJETIVO.....	17
1.2.1	Objetivos Específicos .....	17
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
1.3	MÉTODO.....	18
1.4	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO .....	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
2.1	SEIS SIGMA.....	21
2.1.1	Definir.....	22
2.1.2	Medir.....	23
2.1.3	Analisar .....	23
2.2	MAPEAMENTO DE PROCESSOS .....	23
2.3	GRÁFICOS POR ATRIBUTO .....	24
2.3.1	Gráficos por Atributo P.....	25
2.4	DISTRIBUIÇÃO DE POISSON.....	26
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>27</b>
3.1	DEFININDO O PROJETO .....	27
3.1.1	Mapeamento do processo .....	28
3.2	MEDINDO O PROJETO .....	33
3.2.1	Validando o processo de medição .....	33
3.2.2	Calculando a capacidade do processo .....	34
3.3	ANALISANDO DADOS .....	37
3.3.1	Gráficos por Atributos P .....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1	RESULTADOS.....	39
4.1.1	DPMO e Nível Sigma .....	39
4.1.2	Performance.....	39
4.2	DISCUSSÃO .....	49
4.2.1	Estudo complementar .....	50
	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Imersas em um ambiente competitivo, as empresas buscam constantemente melhorias em seus processos, produtos e/ou serviços afim de manterem-se atualizadas e aptas ao mercado. A melhoria contínua tem se consagrado com uma das formas mais eficientes de evolução da competitividade de uma empresa, por ser simples, de fácil entendimento e de baixo investimento (BESSANT et al., 1994).

Um das principais ferramentas utilizadas em projetos de melhoria contínua, o controle estatístico de processos (CEP) tem por finalidade observar a capacidade e performance de processos. Essa importante ferramenta estatística, através do gráfico de controle por atributos, contribui na percepção de condições especiais que aumentam a probabilidade de ocorrência de uma não conformidade, caracterizando um processo não controlado.

A utilização do CEP neste trabalho será direcionada pela metodologia Seis Sigma, que é uma abordagem disciplinada, fundamentada em dados estatísticos, que orienta projetos afim de reduzir variabilidade, remover defeitos e eliminar desperdícios de produtos, processos e serviços (MONTGOMERY e WOODALL, 2008).

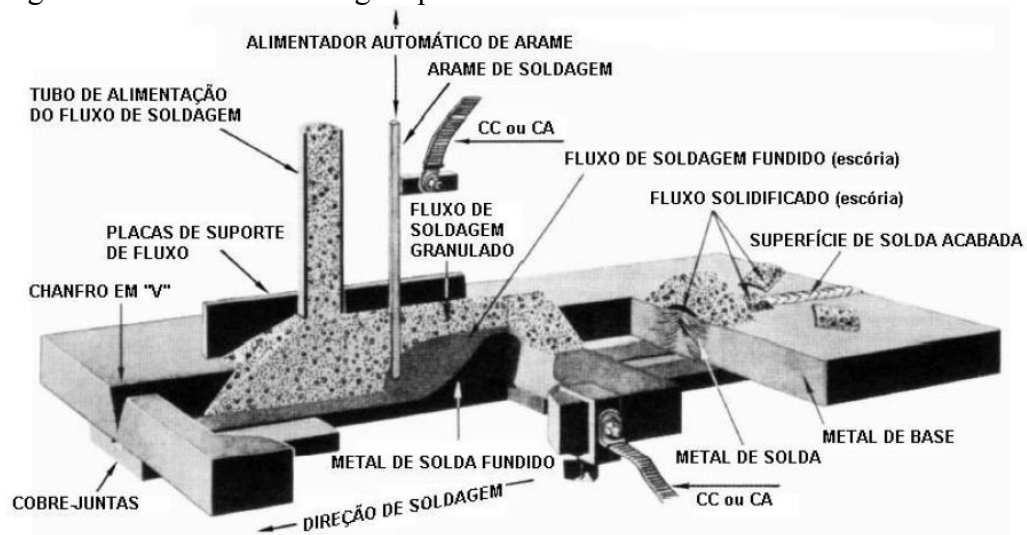
### 1.1 SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO - SAW

O processo de soldagem estudado neste trabalho é Soldagem por Arco Submerso (SAW), método de fusão de metais através do calor fornecido entre arco elétrico, eletrodo e tubo (Figura 1). O processo recebe este nome devido ao fato da fundição entre o arco e o metal estarem submersos em um fluxo granular (RIBEIRO, 2000).

Segundo Fortes (2004), o processo de soldagem acontece após ao momento em que o arco elétrico se estabelece entre o arame e o metal. Em seguida, o arame é alimentado com velocidade controlada; o carro inicia automaticamente seu deslocamento ao longo do cordão de solda; o fluxo, que fica armazenado em um silo, é alimentado através de um tubo do silo e distribui-se pelo cordão de solda um pouco à frente da região de soldagem. O calor criado A passagem da corrente pela zona da soldagem cria o calor necessário para fundir o arame, formando uma poça de metal fundido. O fluxo também é fundido também é fundido neste processo e tem funções como: evitar contaminação por gases atmosféricos cobrindo a

superfície da solda, dissolver, eliminar impurezas da superfície da solda, e ser agente de adição de elementos de liga. O resultado deste processo é uma solda íntegra, limpa e homogênea. Após formar o cordão de solda, a parte do fluxo fundida resfria e endurece, constituindo um material duro e vítreo, que se destaca da solda posteriormente, e é responsável por proteger a solda até seu resfriamento.

Figura 1- Processo de soldagem por arco submerso



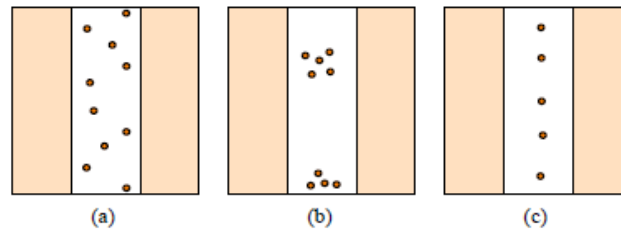
Fonte: FORTES (2004)

As principais vantagens da Soldagem por Arco Submerso são: alta velocidade de soldagem, maiores taxas de deposição, boa integridade do metal de solda, processo de fácil uso, melhor ambiente de trabalho, maior segurança para o operador, além do processo não produzir arco visível, nem faíscas ou fumos (FORTES, 2004).

### 1.1.1 Defeito Poro do processo SAW

Um dos defeitos que o processo SAW pode apresentar é a porosidade. Poro é formado pela evolução de gases e usualmente com forma esférica, se encontram na parte superior da poça de fusão, durante a solidificação. As principais causas de formação deste defeito está relacionado à sujeira, oxidação e umidade na superfície do metal base, aos consumíveis de soldagem, ao equipamento de soldagem ou a perturbações na proteção (Figura 2).

Figura 2 - Tipos de porosidade a) Porosidade distribuída b) Porosidade agrupada  
c) Porosidade alinhada



Fonte: MODENESI (2001)

Para exemplificar, seguem ilustrações do defeito analisado retirados no campo de pesquisa (Figura 3):

Figura 3 - Exemplo de poros in loco



Fonte: Autor

## 1.2 OBJETIVO

O presente trabalho tem o objetivo de identificar e evidenciar as condições determinantes que aumentam a probabilidade da ocorrência de poro no processo de soldagem de tubos de aço e assim direcionar planos de ações concisos para eliminar as causas especiais na tentativa de obter melhor eficiência do processo. Esses planos de ações serão norteados pela comparação de processos não controlados com os processos evidenciados como ideais, que apresentam uma proporção muito reduzida de uma não-conformidade.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

Direcionado pelo *roadmap DMAIC*, os objetivos específicos estão concentrados na realização dos objetivos de cada etapa utilizada neste projeto:

- Mapear o processo identificando as características envolvidas e definir o modo de análise dos dados;
- Montar um plano de coleta de dados e medir a capacidade do processo em DPMO;
- Analisar a importância dos fatores que afetam o processo.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A constante busca pela melhoria de qualidade está presente como uma estratégia bem difundida nas organizações atualmente. Essa busca está motivada pelas vantagens competitivas que acompanham a qualidade de processos como a competitividade da organização.

Contudo, diversas práticas já foram aplicadas com o intuito de eliminar o defeito poro e acabaram se caracterizando por tarefas sem sucesso, na base de tentativa e erro. Verificando que o problema não foi resolvido, tão pouco sabe-se das variáveis que controlam o fenômeno, há necessidade de focar esforços para combater o alto índice de reparos oriundos de poro. O surgimento do defeito prejudica a competitividade do produto na medida em que impacta negativamente na produtividade da planta e na perda de aço. Pois, inicialmente há o retrabalho do produto e/ou corte de pontas, e em caso de insucesso, o produto é descartado.

O desconhecimento dos fatores diretamente ligados, inibe os planos de ações que tem por objetivo eliminar causas especiais para o defeito de poro no processo de soldagem de tubos de aço por SAW.

Este trabalho, fundamentado na estratégia Seis Sigma consiste em identificar as condições que aumentam a probabilidade de ocorrência de uma não conformidade para direcionar tarefas de melhoria e controle da linha produtiva.

“A razão de ser de uma empresa são os seus clientes. Portanto, toda sua administração deve estar voltada para a qualidade, que é a busca contínua da satisfação das necessidades dos clientes” (CAMPOS, 2004. p.109).

### 1.4 MÉTODO

O desenvolvimento deste trabalho foi direcionado pela metodologia Seis Sigma. Como garantia de sucesso da aplicação dessa estratégia, Werkema (2004) aconselha o uso do

método DMAIC, que é uma ferramenta gerencial disciplinada que visa aumentar a lucratividade de uma empresa por meio de melhoria de qualidade de seus processos e produtos. Para isso foi utilizado o método de pesquisa-ação, segundo Miguel (2010) é um dos métodos qualitativos de abordagem de problemas, que cobre muitas formas de pesquisa social orientada para ação. Pesquisa-ação é um método de pesquisa qualitativo que busca a resolução de problemas através de estudo de uma situação real.

Coughlan e Brannick (2008) afirmam que pesquisa-ação é indicada quando a questão da pesquisa relaciona-se com desenvolvimento de uma série de ações ao longo tempo em um determinado grupo. Thiollent (2007) complementa que a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo.

O mapeamento do processo foi construído usando o do *software* Bizagi.

Quanto a natureza, este trabalho pode ser classificado como Pesquisa Aplicada pelo direcionamento tomado em função dos resultados obtidos. E quanto a forma de abordar, pode ser classificado como Pesquisa Combinada por envolver aspectos quantitativos e qualitativos.

O trabalho conceituado no *roadmap* DMAIC, apresenta as etapas Definir, Medir e Analisar. A primeira fase é a Definir, que tratou de identificar e caracterizar o problema, definindo o cliente e a forma de estudo dos dados.

A segunda fase do trabalho é a Medir. Nesta etapa mediu-se a capacidade do processo quantificando a dimensão do problema. A pesquisa foi realizada através de sistemas de rastreabilidade da empresa, onde os dados foram caracterizados e classificados. Os *softwares* utilizados nessa etapa foram os programas particulares da empresa e Excel.

E por fim, a última etapa do processo Analisar é a avaliação das características do processo, evidenciando as que apresentam desestabilidade. Para isso, depois de tratados e classificados, os dados foram analisados através de ferramentas estatísticas com o auxílio de *softwares*, especialmente Excel e Minitab, para geração dos gráficos de acompanhamentos.

Como conclusão, o trabalho direcionará as ações para continuidade no projeto de eliminação do defeito poro, preferencialmente aplicando-se as etapas subseqüentes da metodologia Seis Sigma Melhorar e Controlar.

## 1.5 Apresentação do trabalho

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos. O primeiro capítulo é responsável por contextualizar o problema, apresentar os objetivos, justificar a escolha do tema, e conceituar o processo de soldagem e o defeito poro.

O Capítulo 2 faz referência a metodologia e as ferramentas aplicadas no projeto.

O Capítulo 3 descreve os procedimentos do trabalho. Os passos aplicados em cada etapa.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos e as discussões geradas.

O Capítulo 5 conclui este trabalho definindo as ações a serem tomadas e sugerindo trabalhos subsequentes deste projeto.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SEIS SIGMA

Seis Sigma é uma metodologia que engloba um conjunto de ferramentas seguindo um princípio de melhoria contínua de qualidade de produtos e/ou processos eliminando a quantidade de não-conformidades existentes. A meta dessa importante referência é atingir um nível de ocorrência de fenômenos em, no máximo, 3,4 defeitos por milhão de oportunidades.

Diversos autores conceituam um projeto seis sigma, Berlitz e Haussen (2005) apresentam que o conceito Seis Sigma surgiu na Motorola na segunda metade da década de 80 e que, na década de 90, passou a ser utilizado por empresas da área de serviços. Para completar, os mesmos descrevem:

A estratégia Seis Sigma é monitorar o processo, mantendo-o sob estabilidade e controle efetivo, atuando sobre suas causas de variações, com o objetivo de reduzir o número de defeitos nos produtos finais do processo até valores próximos de zero. A métrica sigma, dessa forma, demonstra o grau no qual qualquer processo se desvia de sua meta, isto é, a capacidade do processo em gerar produtos dentro das especificações pré-definidas. (BERLITZ e HAUSSEN, 2005, p. 302).

De acordo com Werkema (2010, p. 18) seis sigma trata-se:

(...) de uma ferramenta estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo a maximização da lucratividade e da performance de uma empresa, através da melhoria de processo e produtos e da satisfação dos clientes.

Para atender as necessidades de melhoria da qualidade e redução de defeitos, Bill Smith, engenheiro da Motorola, desenvolveu o programa Seis Sigma. Entre os anos de 1987 e 1994, houve uma redução de 94% de defeitos em semicondutores (MONTGOMERY e WOODAL, 2008). A filosofia começou a ser implementada por outras empresas como IBM, GE (*General Electric*), e rapidamente difundiu-se no ambiente corporativo sendo ícone em aplicação de projetos de melhoria contínua. Após o excelente resultado obtido pela Motorola com a implantação, a metodologia ganhou fama e começou a ser difundida em empresas do mundo inteiro (PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2001).

A letra do alfabeto grego sigma ( $\sigma$ ) representa a variação (desvio padrão) de um processo, mensurando a distância de um conjunto de medidas em relação à média. A capacidade de um processo é medido em nível sigma, atribuindo-se uma relação inversa entre

este e a variabilidade do processo, quanto maior for a variação de um processo, maior sua quantidade de defeitos e menor o nível sigma associado a ele. A atribuição é feita transformando-se a quantidade de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) em um número da escala sigma, sendo o objetivo chegar muito próximo de zero defeito – 3,4 defeitos para cada milhão de operações realizadas (WERKEMA, 2004).

Para guiar e garantir o sucesso de aplicabilidade de um projeto, o programa seis sigma é estruturado em fases, instruindo um passo a passo focado em todas as tarefas a serem cumpridas e mostrando a diversidade de ferramentas disponíveis para utilização ao decorrer de suas etapas. Para completar, Werkema (2004) cita que um dos elementos da infraestrutura do Seis Sigma é a constituição de equipes para execução dos projetos, com base em um método denominado DMAIC, constituído pelas seguintes fases (Figura 4):

- Definir (*Define*);
- Medir (*Measure*);
- Analisar (*Analyze*);
- Melhorar (*Improve*);
- Controlar (*Control*).

Figura 4 - Roadmap DMAIC



Fonte: DAGGER (2009)

### 2.1.1 Definir

Através da contextualização do problema ou da oportunidade, nesta etapa ocorre a identificação do cliente e dos requisitos exigidos por ele. Ao caracterizar a importância dessas especificações é definido a meta do projeto. Os objetivos da etapa Definir são:

- Identificar o cliente;
- Como comunicar-se com ele;
- Entender o que ele necessita;
- Atender as necessidades dele.

### **2.1.2 Medir**

A etapa Medir faz uma leitura do impacto do problema. Para isso, é necessário mensurar o processo. E para mensurar o processo, é preciso validar a medição do mesmo. Os objetivos desta etapa são:

- Montar um plano de coleta de dados;
- Verificar a confiabilidade das medições;
- Medir a capacidade do processo.

### **2.1.3 Analisar**

A etapa analisar faz uma seleção de características vitais do processo. Através de análise do comportamento do processo medido na fase anterior, são filtrados variáveis consideradas mais críticas para idealização de um processo. Os objetivos da fase Analisar são:

- Verificar a importância de fatores que afetam o processo;
- Estudar causa raiz;
- Selecionar causas potenciais vitais do processo.

## **2.2 MAPEAMENTO DE PROCESSOS**

O mapeamento de processos é um mecanismo gerencial de comunicação e analítico fundamental para líderes e organizações inovadoras que pretendem melhorar ou implantar uma estrutura voltada para novos processos (VILLELA, 2000).

O mapa do processo tem o objetivo de documentar as etapas de um processo. Segundo Vilela (2000), o mapeamento de processos ainda ganha importância por sua função de registro

e documentação histórica da organização. Ao mapear um processo, é possível identificar todas as variáveis de entrada e de saídas de cada processamento que compõe uma linha produtiva ou uma cadeia de serviços, possibilitando a sinalização de etapas complexas, retrabalhos, refluxos, gargalos e possíveis oportunidades de melhoria.

Conforme Datz, Melo e Fernandes (2004), mapear um processo é essencial para entender como funcionam todos os componentes de um sistema, promover a análise de sua eficiência e localizar as deficiências.

O mapa do processos representa os diversos passos ou eventos que ocorrem durante a execução de uma tarefa específica, ou durante uma série de ações.

### 2.3 GRÁFICOS POR ATRIBUTO

É um gráfico onde são plotados os valores ou proporções de itens conformes e não conformes relacionados às especificações da característica do produto. Trata-se de um meio de comunicação visual e transparente que reporta a análise de dados por atributo, através de um conjunto de ferramentas estatísticas.

Essa ferramenta estatística se dá pela necessidade de estudar dados não mensuráveis, onde as características não são representadas numericamente de modo conveniente. Nesses casos, comumente classificamos cada item investigado como conforme ou não conforme comparados às especificações para aquela característica da qualidade (MONTGOMERY, 2001).

Definida a característica do produto que se tem o interesse em investigar, cabe julgar se o item atende ou não atende aquela qualidade. Os dados por atributos são esses que recebem essa classificação, conforme e não conforme, ou ainda, defeituoso ou não defeituoso.

Costa, Epprecht e Carpinett (2012, p.199) descrevem:

Ser “defeituoso” ou “não defeituoso” é um atributo do produto. As não conformidades presentes num produto também são consideradas atributos. Por isso fala-se em “controle (de processos) por atributos”. Os gráficos recebem a designação geral de gráficos (de controle) por atributos.

Os dados por atributos podem ser classificados por defeituosos ou defeitos. No primeiro caso relaciona-se ao processo que é ideal trabalhar com a quantidade de peças não conformes. Já no segundo, é a situação que é mais conveniente trabalhar com o número de defeitos existentes na amostra estudada.

Para o caso de quantificação de defeituosos, os gráficos utilizados são: gráfico  $np$ , onde o espaço amostral é constante; gráfico  $p$ , quando o tamanho das amostras é variável e, com isso, são plotados as proporções de defeituosos ( $p$ ).

Para o caso de quantificação de defeitos, os gráficos utilizados são: gráfico  $c$ , no caso de gráfico para não conformidades; por último, o gráfico  $u$ , que apresenta o gráfico de não conformidades por unidade.

### 2.3.1 Gráficos por Atributo $P$

Conforme Montgomery (2004), a fração não conforme é definida como a razão entre o número de itens não conformes em uma população e o total de itens naquela população. Os itens podem ter várias características da qualidade que são examinadas simultaneamente.

Para construir um gráfico  $p$ , estuda-se  $m$  amostras do produto, registrando-se para cada amostra o número de itens não-conformes (defeituosos). Sejam  $n_k$  ( $k=1, \dots, n$ ) e  $D_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) o tamanho da amostra e o número observado de itens não conformes. Uma estimativa da fração não conforme é (1) (MONTGOMERY, 2004):

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{k=1}^n mn_k} \quad (1)$$

Para os cálculo do limite inferior de controle (LIS), linha média (LM) e limite superior de controle (LSC), tem-se as seguintes equações respectivamente (2), (3) e (4) (MONTGOMERY, 2004):

$$LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2)$$

$$LM = \bar{p} \quad (3)$$

$$LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (4)$$

## 2.4 DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

A Distribuição de Poisson é frequentemente usada para modelar o número de ocorrências de um evento em um intervalo especificado.

Segundo Mayer (1984), a Distribuição de Poisson exerce por si mesma um papel extremamente importante porque ela representa um modelo probabilístico adequado para um grande número de fenômenos observáveis.

Neto e Cymbalista (2010) caracterizam a Distribuição de Poisson como a ocorrência de sucessos com tal aleatoriedade e independência. Estes descrevem o cálculo da probabilidade de Poisson (5):

$$P(X = k) = \frac{e^{-\lambda t} \times (\lambda t)^k}{k!} \quad (5)$$

$P$  é a probabilidade de que  $k$  eventos ocorram em um intervalo  $t$  com o comportamento do processo conhecido e expressado em frequência  $\lambda$  e  $e$  é número de Euler com valor de 2,71828...

Como a média do comportamento do processo é  $\mu = \lambda t$ , a expressão pode ser escrita como (6) (NETO e CYMBALISTA, 2010):

$$P(X = k) = \frac{e^{-\mu} \times (\mu)^k}{k!} \quad (6)$$

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 3.1 DEFININDO O PROJETO

O projeto foi desenvolvido em uma empresa de fabricação de tubos de aço localizada no interior do estado de São Paulo. A demanda da produção abrange diversos dimensionais de tubos de aços com costura, e o processo utilizado na soldagem do tubo é o SAW – *Submerge Arc Welding*.

Nos últimos anos o índice de qualidade da fábrica tem evidenciado a presença crônica do defeito Poro. Historicamente, a ocorrência do defeito tem surgido de maneira aleatória dentre os dimensionais produzidos, o que dificulta a caracterização dessa ocorrência.

Há algum tempo, já se tem trabalhado para solucionar este problema. Contudo, sua natureza é de tal sorte complexa que, apesar de todos os esforços já empregados ainda não está claro quais variáveis controlam o fenômeno. O que se sabe a respeito dos mecanismos envolvidos na formação desta não-conformidade é ainda incipiente e especulativo.

O presente trabalho faz parte de uma nova abordagem do problema, o qual pretende tratar do assunto com mais critérios do que se fez anteriormente. Os dados aqui levantados serão tratados com respaldo técnico em critérios estatísticos. O trabalho ainda terá a funcionalidade de nortear futuros trabalhos, sugerindo as tarefas a serem aplicadas.

Em função das necessidades acima citadas, a meta do projeto é a eliminação da ocorrência do defeito. Todavia, o presente texto exhibe a aplicação das etapas Definir, Medir e Analisar (filosofia Seis Sigma), sendo a meta deste estudo a identificação de causas especiais, evidenciando as condições que apresentam desestabilidade para possibilitar e encaminhar as atividades seguintes.

Entende-se pela natureza deste trabalho, um projeto voltado para problemas, pois possui características baseada na resolução de problemas crônicos na produção, como o excesso de retrabalho e desperdício de produtos não conformes neste caso. Com isso define-se como cliente, a Qualidade do processo. E para atender à exigência (a voz do cliente) é necessário controlar a variabilidade do processo para aumentar sua eficiência e eliminar o fenômeno retroativo.

### 3.1.1 Mapeamento do processo

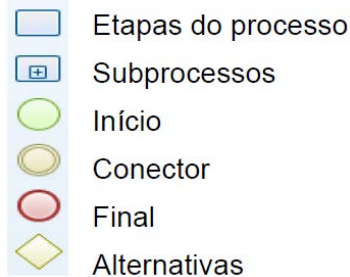
Para entender e estratificar a linha de produção, foi feito um mapeamento de processos com o intuito de identificar as variáveis de entrada e saída de cada etapa produtiva.

Primeiramente, foram estabelecidas como primícias, algumas características do problema. Ao avaliar os dados históricos, foi imposto que trata-se da ocorrência do fenômeno especificamente no processo de soldagem interna do tubo. Haja visto, que a costura do produto é feita em duas etapas: primeiro a solda interna e sequentemente a solda externa.

Essa decisão foi tomada baseada na experiência compartilhada com pessoas envolvidas e comprovada pela proporção de sinalização do defeito no banco de dados determinado para o estudo, mantendo uma relação aproximada de: para cada cem defeitos detectados, 99 estão localizados na solda interna, restando apenas um para solda externa.

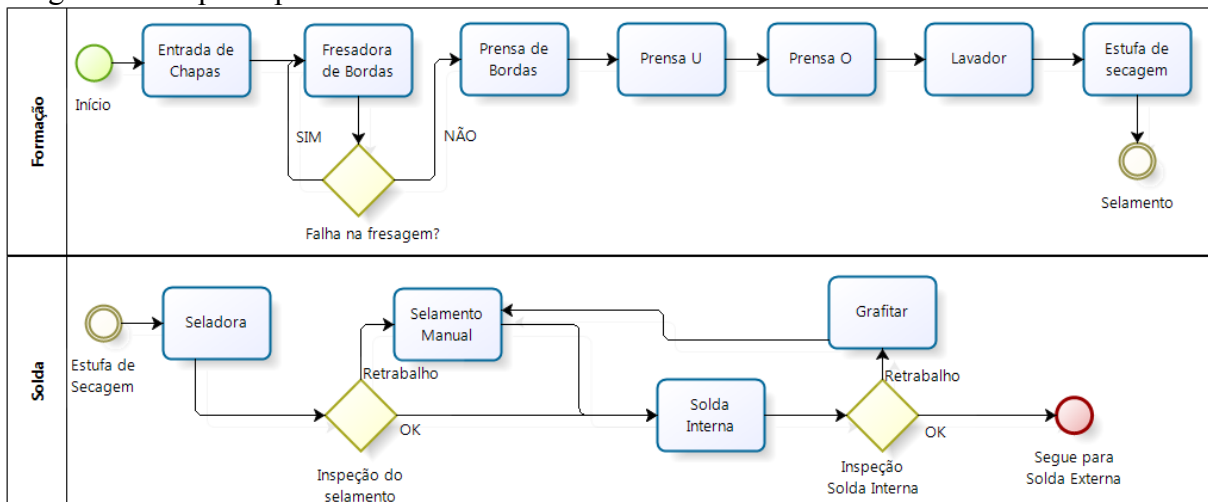
Considerando essa relação de 99% acima citada, o mapa do processo foi realizado somente até o posto de solda interna, julgando serem essas as variáveis a serem controladas. Para entender mapa do processo, ilustrado pela Figura 6, segue abaixo a legenda (Figura 5):

Figura 5 - Legenda do mapeamento de processos



Fonte: Autor

Figura 6 - Mapa de processos



Fonte: Autor

Após o desenho do mapa de processos, identificou-se as variáveis de cada etapa do processamento, com o auxílio da equipe no trabalho, através de análises dos documentos de produção de cada equipamento: listadas nos Quadros de 1 a 11:

Quadro 1 – Variáveis Entrada de Chapa

Tipo	Variável
Entrada	Chapinha Consumível (solda chapinha) Soldador
Saída	Alinhamento da chapinha Contaminação na chapa

Quadro 2 – Variáveis Fresadora

Tipo	Variável
Entrada	<i>Camber</i> Condição superficial do material (oxidação) Eixo A Eixo Z Empeno Espessura Grau Largura da chapa Largura de corte Montagem das roda <i>Offset</i> dos cabeçotes Quantidade de passes Velocidade de corte
Saída	Ângulo inferior (LD) Ângulo inferior (LE) Ângulo superior (LD) Ângulo superior (LE) Comprimento face inferior (LD) Comprimento face inferior (LE) Comprimento face raiz (LD) Comprimento face raiz (LE) Comprimento face superior (LD) Comprimento face superior (LE) Largura final da chapa Qualidade superficial

Quadro 3 – Variáveis Prensa de Bordas

Tipo	Variável
Entrada	Calço Diâmetro

	Espessura Ferramental PB Força (pressão) Grau Número de prensadas Posição do ferramental (abertura da prensa) Posicionamento da chapa (esquadro) Simetria da máquina Tamanho da sobreposição
Saída	Comprimento da borda não conformada Comprimento de borda Contaminação na chapa Laminação da chapa (amassamento) Ovalização Raio de curvatura (GAP)

Quadro 4 – Variáveis Prensa U

Tipo	Variável
Entrada	Aberturas da mesa Diâmetro Espessura Ferramental PU Grau Posição de entrada da chapa (esquadro) Pressão
Saída	Abertura superior da chapa Esquadrejamento Raio de curvatura

Quadro 5 – Variáveis Prensa O

Tipo	Variável
Entrada	Diâmetro Espessura Ferramental PO Grau Posição de entrada da chapa Pressão Simetria da chapa ao longo do comprimento Simetria do ferramental ao longo do comprimento Taxa de compressão
Saída	Abertura do chanfro Esquadro Geometria do chanfro <i>Offset</i> Perímetro final do tubo Simetria do tubo comprimento

Quadro 6 – Variáveis Lavador

Tipo	Variável
Entrada	Abertura do chanfro Frequência de troca de água Operador (lavagem manual) Pressão do jato (lavagem automática) Produto de limpeza Quantidade de carepa Repetições Lavagem (lavagem automática) Sujeira (óleo, graxa, óxido, etc.) Velocidade de lavagem (lavagem automática)
Saída	Qualidade da limpeza

Quadro 7 – Variáveis Secador

Tipo	Variável
Entrada	Abertura do chanfro Ascensor Diâmetro Espessura Posicionamento do secador de chanfro Temperatura Tempo de secagem
Saída	Temperatura ao longo do tubo Umidade

Quadro 8 – Variáveis Seladora

Tipo	Variável
Entrada	Abertura do chanfro Alinhamento da chapinha Consumível Corrente Diâmetro Espessura Grau Limpeza da tocha Operador Posicionamento da tocha no chanfro Posicionamento do tubo Posicionamento dos eixos Tensão Velocidade de soldagem
Saída	Esquadro Falha de solda (pipocamento) <i>Offset</i> Ovalização

	<i>Peaking</i> Penetração
--	------------------------------

Quadro 9 – Variáveis Selamento Manual

Tipo	Variável
Entrada	Condição a ser reparada (falta de selamento, pipocamento, grafite) Consumível Corrente Espessura Lixamento Operador Tensão
Saída	Qualidade do reparo

Quadro 10 – Variáveis Solda Interna

Tipo	Variável
Entrada	Abertura do chanfro Alinhamento da chapinha Ângulo do arame Consumíveis (arames de solda) Consumíveis (fluxo) Contaminação de Consumíveis Contaminação do Chanfro Corrente Distâncias entre os bicos Espessura do tubo Magnetismo Residual Operador Penetração do Selamento Quantidade de arames <i>Stick out</i> (altura) Temperatura do tubo Tensão Tipo de chanfro Tratamento do fluxo (secagem) Umidade relativa do ar Velocidade alimentação do arame Velocidade de avanço lança
Saída	Altura Ângulo Geometria de solda Instabilidade Elétrica Instabilidade Mecânica Largura Penetração Qualidade de solda

Quadro 11 – Variáveis Grafitar

Tipo	Variável
Entrada	Grafite (consumível) Operador
Saída	Resíduos de cobre

### 3.2 MEDINDO O PROJETO

O que diferencia a metodologia Seis Sigma de outros programas de qualidade é a ênfase na tomada de decisão baseada em dados e fatos e não somente nas experiências individuais. Não praticar a medição dos dados induz a erros na tomada de decisão por intuições. Por outro lado, medir coisas desnecessariamente poderá acarretar altos custos e tempo demasiado.

Considerando que a empresa possui sistemas de controles internos que relatam o histórico de produção de cada planta produtiva separadamente, foi definido o intervalo de banco de dados estudado como os anos de produção de 2011 e 2012. Todos os tubos produzidos durante os dois anos citados fizeram parte do espaço amostral investigado para concatenar uma maior variabilidade de casos estudados. Visto que, o modelo de produção da fábrica é programado de acordo com a demanda a ser atendida, variado no portfólio da empresa, que classifica seu produto em dimensional (diâmetro e espessura) e grau. A quantidade de cada dimensional produzido é definido pelo pedido do cliente.

A captação dos dados foi realizada pelos *softwares* responsáveis pelo armazenamento dos dados colhidos durante a época de produção. Esses programas armazenam informações que caracterizam o histórico pelas informações adicionadas pelos operadores da planta.

Como premissa, atribuiu-se qualidade ao produto da seguinte forma: a classificação dos tubos foi feita contando tubos defeituosos, ou seja, contar a quantidade de tubos que apresentaram o defeito, sendo tubos aprovados e tubos não aprovados.

#### 3.2.1 Validando o processo de medição

Um processo por melhor que seja, apresenta variabilidade que pode ser provocada por um único ou diversos fatores. Podemos citar a influência do operador, da máquina ou do processo de medição. A Análise do Sistema de Medição define-se por buscar e eliminar as

variações das medições que podem ocorrer por falha dos equipamentos de medição ou por falha do avaliador.

Qualquer sistema de medição tem por finalidade o fornecimento de dados precisos e características exatas. O objetivo da Análise de um Sistema de Medição (MSA) é compreender as fontes de variação que podem manipular os resultados de medição para eliminá-las.

A validação de um sistema, pode ser realizada através da aplicação da ferramenta R&R, que analisa a Repetitividade e Reprodutividade. A ferramenta investiga se há divergência de medição dentro da repetitividade de um modo de medição (observador/equipamento) e a reprodução dessa medição entre os modos de medição (observadores/equipamentos).

No presente caso estudado, não houve a necessidade de validar um sistema de medição. O processo de produção possui um sistema de indicação de defeitos altamente eficiente. Cinco postos possuem capacidade de percepção do defeito e, pra completar, 100% dos tubos são inspecionados para identificação de qualquer que seja a não conformidade.

Os postos são: Ultrassom 1, Fluoroscopia, Ultrassom 2, *Prove up* (Ultrassom manual) e Raio-X. Destes, apenas na Fluoroscopia não é realizado os testes em 100% dos tubos. No Ultrassom 1, são inspecionados todos os tubos produzidos, assim como no Ultrassom 2. Entretanto, neste último o teste não cobre as extremidades do tubo, que por sua vez, é complementada com as avaliações do *Prove up*. Qualquer percepção de defeito, segue com indicação para o Raio-X, pedindo a liberação ou confirmação do defeito. Caso, o Raio-X que também inspeciona 100% dos tubos, detecte um defeito que não indicado pelos postos anteriores, o produto retorna até o *Prove up* para confirmação do mesmo, retornando posteriormente para o Raio-X para emissão do laudo. O tubo só é liberado do posto do Raio-X após a emissão do laudo, classificando o como conforme ou não conforme.

Para finalizar, o Ultrassom 1 e a Fluoroscopia, tem por essência o controle de processos da fábrica. E os remanescentes, tem por finalidade o controle de qualidade da fábrica. Assim somados, todos os postos convergem para detecção de defeitos.

### **3.2.2 Calculando a capacidade do processo**

O Seis sigma pode ser visto como uma medida de desempenho. A sua capacidade pode ser expressa em nível sigma dependendo da quantidade de defeitos produzidos. A capacidade

dos dados por atributo é definida pela quantidade de defeitos por milhão de vezes em que um processo é desenvolvido. O número de defeitos por milhão de oportunidades é convertido para nível sigma, termo mais comum no vocabulário das organizações que utilizam a metodologia (HOLTZ e CAMPBELL, 2004).

Faz-se necessário conhecer os conceito de Unidade, Defeito e Oportunidade para calcular os indicadores de capacidade: DPU, DPO, DPMO e Nível Sigma do processo.

Unidade é o que se entrega pro cliente no final de um processo ou serviço, e pode ser uma peça, um evento, um período de tempo, uma área, etc. Defeito é a ocorrência de uma não conformidade em relação a uma exigência do cliente, e é caracterizado pela aceitação bom ou ruim, funciona ou não funciona, passa ou não passa, etc. Oportunidade é a avaliação feita na unidade para decidir se satisfaz as especificações ou não. Para isso deve considerar como oportunidades apenas eventos independentes e mensuráveis.

Segue os cálculos dos indicadores para dados por atributo (7), (8) e (9):

$$DPU = \text{Defeitos\_Entrados} \div \text{Total\_Unidades} \quad (7)$$

$$DPO = DPU \div \text{Total\_Oportunidades/Unidade} \quad (8)$$

$$DPMO = DPO \times 10^6 \quad (9)$$

À partir do resultado do DPMO, atribui-se um Nível Sigma à capacidade do processo, como segue descrito na Tabela 1, ou pode-se também utilizar o programa Excel da Microsoft para converter o DPMO em Nível Sigma e vice versa, como mostra a Tabela 2 (SANTANA et al., 2004).

Tabela 1- Atribuição de Nível Sigma

Nível Sigma		
Sigma	DPMO	Rendimento
6	3,4	99,99966%
5	233	99,97673%
4	6.210	99,37903%
3	66.807	93,31928%
2	308.538	69,14625%
1	691.462	30,85375%

Para SANTANA et al.(2004) o Nível Sigma pode ser calculado pelo Excel da seguinte maneira:

- $= (1 - \text{NORMSDIST}(\text{Nível Sigma} - 1,5)) * 1000000$  – Nível Sigma para DPMO
- $= (\text{NORMSINV}(1 - \text{D.P.M.O.}) + 1,5) - \text{DPMO}$  para Nível Sigma

Tabela 2 – Cálculo do Nível Sigma

Nível Sigma					
Sigma	DPMO	Rendimento	Sigma	DPMO	Rendimento
6	3,4	99,99966%	3,4	28.716,50	97,12835%
5,9	5,4	99,99946%	3,3	35.930,30	96,40697%
5,8	8,5	99,99915%	3,2	44.565,40	95,54346%
5,7	13,4	99,99866%	3,1	54.799,30	94,52007%
5,6	20,7	99,99793%	3	66.807,20	93,31928%
5,5	31,7	99,99683%	2,9	80.756,70	91,92433%
5,4	48,1	99,99519%	2,8	96.800,50	90,31995%
5,3	72,4	99,99276%	2,7	115.069,70	88,49303%
5,2	107,8	99,98922%	2,6	135.666,10	86,43339%
5,1	159,1	99,98409%	2,5	158.655,30	84,13447%
5	232,7	99,97673%	2,4	184.060,10	81,59399%
4,9	337	99,96630%	2,3	211.855,30	78,81447%
4,8	483,5	99,95165%	2,2	241.963,60	75,80364%
4,7	687,2	99,93128%	2,1	274.253,10	72,57469%
4,6	967,7	99,90323%	2	308.537,50	69,14625%
4,5	1.350,00	99,86500%	1,9	344.578,30	65,54217%
4,4	1.865,90	99,81341%	1,8	382.088,60	61,79114%
4,3	2.555,20	99,74448%	1,7	420.740,30	57,92597%
4,2	3.467,00	99,65330%	1,6	460.172,10	53,98279%
4,1	4.661,20	99,53388%	1,5	500.000,00	50,00000%
4	6.209,70	99,37903%	1,4	539.827,90	46,01721%
3,9	8.197,50	99,18025%	1,3	579.259,70	42,07403%
3,8	10.724,10	98,92759%	1,2	617.911,40	38,20886%
3,7	13.903,40	98,60966%	1,1	655.421,70	34,45783%
3,6	17.864,40	98,21356%	1	691.462,50	30,85375%
3,5	22.750,10	97,72499%			

Distribuição calculada com  $\pm 1,5\sigma$ .

### 3.3 ANALISANDO DADOS

A etapa Analisar é vital para o sucesso de um projeto Seis Sigma, pois é nessa etapa que as conclusões de estudos estatísticos, aliados ao *brainstorming* do processo, convergem para identificação de variáveis críticas, determinando a causa raiz do problema.

O comportamento do processo em gráficos demonstra as características do processo, que prenunciam variáveis em potencial importantes para a qualidade do mesmo.

No presente trabalho, os dados foram analisados estatisticamente pelo Gráfico de Atributos *P*, devido a natureza do estudo. Tendo dados de tubos defeituosos, aos quais atribuiu-se qualidade conforme e não conforme, e tamanhos de amostrais diversos, dependendo da quantidade produzida, a melhor representação estatística para a performance do processo é a análise do gráfico supracitado.

#### 3.3.1 Gráficos por Atributos *P*

Costa, Epprecht e Carpinett (2012) relatam que, quando o tamanho da amostra varia, deve-se optar pelo Gráfico de *P*, pois terá uma única linha média. O gráfico, contudo, terá vários limites superiores e inferiores de controle.

Para completar, uma das vantagens de trabalhar com o gráfico de proporções é que sua linha central, que corresponde à proporção de não conformes do processo, informa diretamente o nível de qualidade do processo (Costa, Epprecht e Carpinett, 2012). Quanto menor a linha média representada no gráfico, melhor o nível de qualidade.

Para elaborar o gráfico, os dados foram subdivididos em grupos e alocados de acordo com os fatores de produção:

- Diâmetro;
- Espessura;
- Grau;
- Chapa (fornecedor de matéria prima);
- Sazonalidade;
- Turno;
- Máquina de solda interna (MSI).

Dada a classificação, foi elaborado um gráfico para cada fator citado. Por conseguinte, para aproximar as condições analisadas estatisticamente com o real comportamento do processo, foi elaborado um gráfico com a interação entre os fatores Diâmetro e Espessura, visto que, estes são os principais fatores que referenciam a capacidade da demanda de produção da fábrica.

Por regra empírica, delibera-se como confiável, as amostras que possuem espaço amostral ( $n$ ) maior do cem. Para garantir a confiabilidade dos dados, e tomar por base ações reflexivas da estatística referencial, foram observadas apenas as amostras que, categorizadas em sub grupos, possuíam no mínimo cem tubos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 RESULTADOS

Os resultados apresentados pelo presente estudo são: a capacidade do processo calculada com base nos indicadores DPO, DPU e DPMO e transformada em Nível Sigma, tanto como a interpretação dos gráficos de performance pelos Gráficos por Atributo *P*.

#### 4.1.1 DPMO e Nível Sigma

A coleta de dados compreendeu uma variabilidade de produtos significativa para o estudo. A Tabela 3 mostra a quantidade total de tubos analisados e a quantidade tubos de defeituosos:

Tabela 3 – Total de tubos analisados

Quantidade de tubos	
Total	Defeituosos
136.462	2.153

Considerando apenas uma única oportunidade de ocorrência do defeito, um defeito por tubo, aliada aos resultados apresentados pela Tabela 3, segue descrito a capacidade do processo em DMPO e o Nível Sigma calculado:

- 15.777 DPMO;
- Nível Sigma do processo:  $3,65\sigma$ .

#### 4.1.2 Performance

Para efeito conclusivo, os gráficos demonstram o comportamento das características estudadas de forma que, os pontos expressados acima da linha superior de controle (LSC),

elucidam causas especiais presente no processo. Adversamente, os pontos expressados abaixo da linha inferior de controle (LIC), explicitam que podem ser julgados como processos ideais.

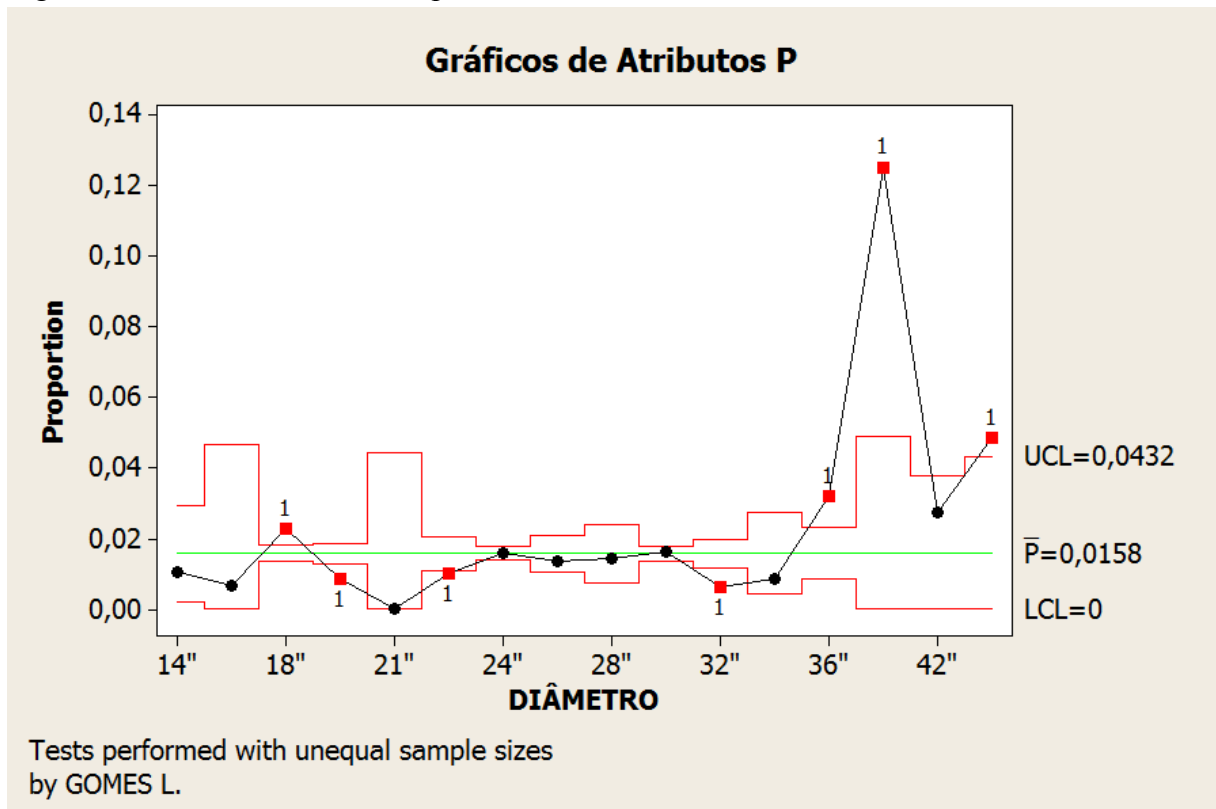
Para essa leitura, os gráficos estão distribuídos em sub grupos diante da natureza identificada na linha produtiva. Todavia, para classificar os tubos nos fatores Sazonalidade, Turno e MSI, a pesquisa foi executada em *softwares* complementares. Isso acarretou em uma divergência nos números totais antes encontrados. É imprescindível citar que, para efeito de comparação nos três fatores citados, a investigação progrediu apenas com analogias de comportamento das variáveis envolvidas.

A apresentação dos resultados dos gráficos está distribuída em fatores e segue anteposta pelo resultado estatístico expressos em tabelas. A Tabela 4 mostra a quantidade de tubos defeituosos e produzidos com relação ao fator Diâmetro:

Tabela 4 – Diâmetro

Fator Diâmetro		
Polegada	Defeituosos	Produzidos
14"	8	748
16"	1	148
18"	591	25.984
20"	155	17.823
21"	0	172
22"	59	5.782
24"	600	37.490
26"	72	5.368
28"	29	2.044
30"	456	28.321
32"	53	8.275
34"	9	1.048
36"	84	2.621
40"	16	128
42"	8	291
46"	3	33
48"	9	186
<b>Total</b>	<b>2.153</b>	<b>136.462</b>

Figura 7 - Gráfico de atributos P para os diâmetros



Fonte: Autor

- Causa especiais: 18", 36", 40" e 48".
- Ideais: 20", 22", 32".

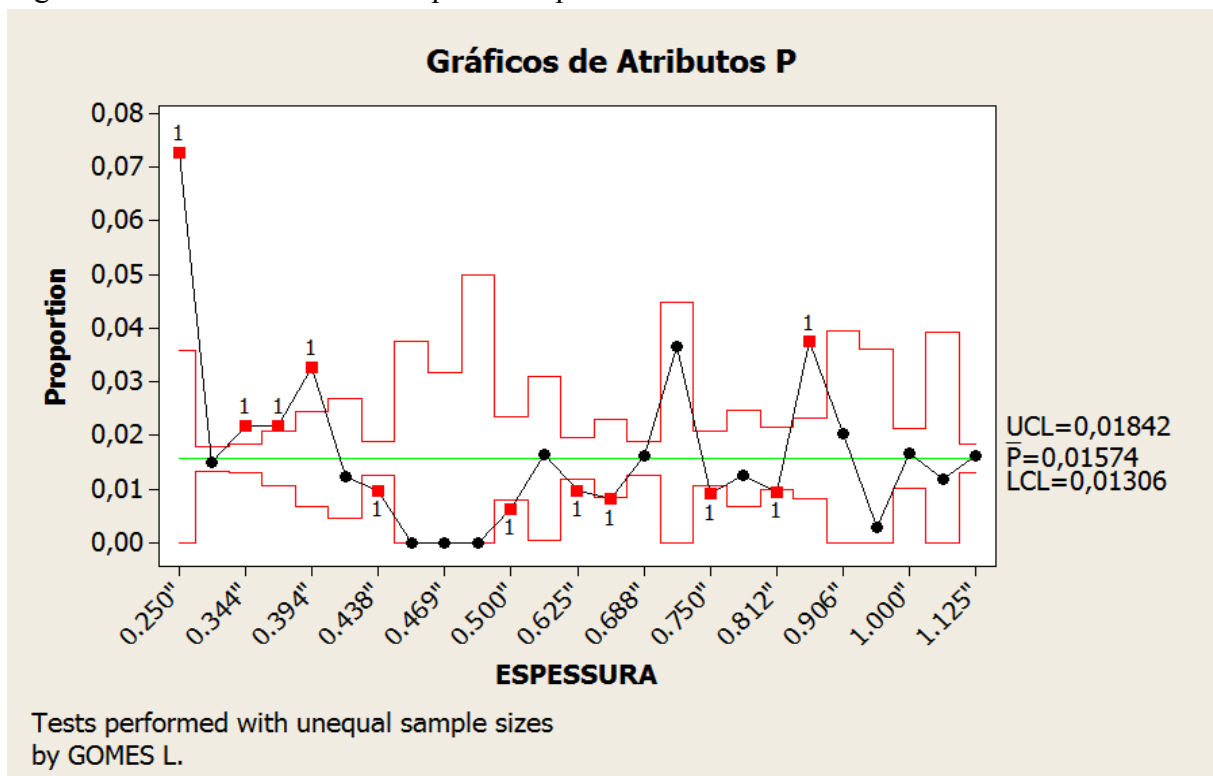
A Tabela 5 mostra a quantidade de tubos defeituosos e produzidos com relação ao fator Espessura:

Tabela 5 – Espessura

Polegada	Fator Espessura	
	Defeituosos	Produzidos
0,250"	25	344
0,320"	393	26.178
0,344"	455	20.879
0,375"	113	5.182
0,394"	58	1.775
0,406"	14	1.131
0,438"	130	13.347
0,460"	0	290
0,469"	0	537
0,492"	0	119
0,500"	15	2.359
0,562"	10	603
0,567"	1	72

Polegada	Defeituosos	Produzidos
0,583''	0	37
0,625''	89	9.100
0,630''	21	2.571
0,688''	213	13.206
0,748''	6	164
0,750''	48	5.257
0,781''	22	1.745
0,812''	39	4.116
0,875''	92	2.454
0,906''	5	246
0,947''	0	17
0,969''	0	44
0,984''	1	337
1,000''	74	4.429
1,062''	3	250
1,125''	316	19.437
1,157''	0	46
1,188''	0	22
1,240''	3	61
1,250''	2	86
1,375''	3	5
1,500''	2	3
Total	2.153	136.462

Figura 8 - Gráfico de atributos P para as espessuras



Fonte: Autor

- Causa especiais: 0,250'', 0,344'', 0,375'', 0,394'' e 0,875''.

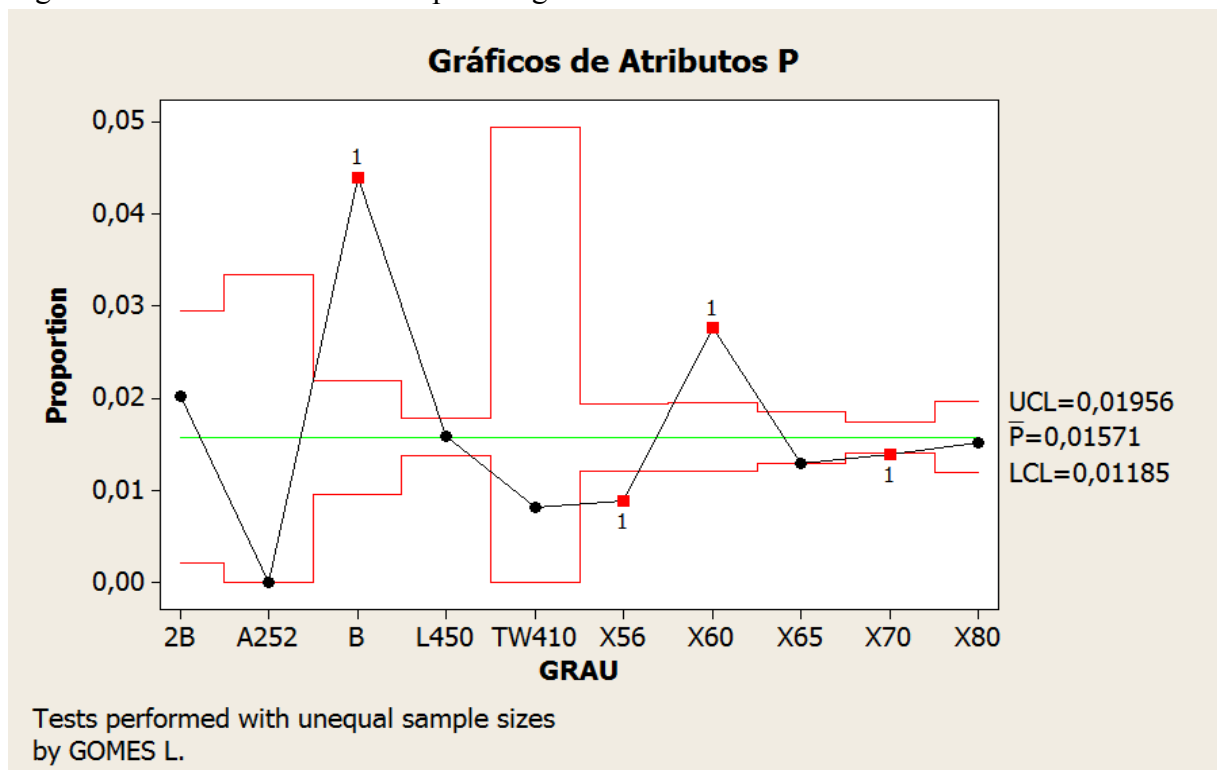
- Ideais: 0,438”, 0,500”, 0,625”, 0,630”, 0,750” e 0,812”.

A Tabela 6 mostra a quantidade de tubos defeituosos e produzidos com relação ao fator Grau:

Tabela 6 – Grau

Fator Grau		
Nominal	Defeituosos	Produzidos
2B	15	744
A252	0	448
B	159	3.620
L450	534	33.749
TW410	1	123
X42	0	2
X52	4	80
X56	90	10.252
X60	278	10.087
X65	226	17.494
X70	697	50.436
X80	141	9.358
X100	8	69
Total	2.153	136.462

Figura 9 - Gráfico de atributos P para os graus



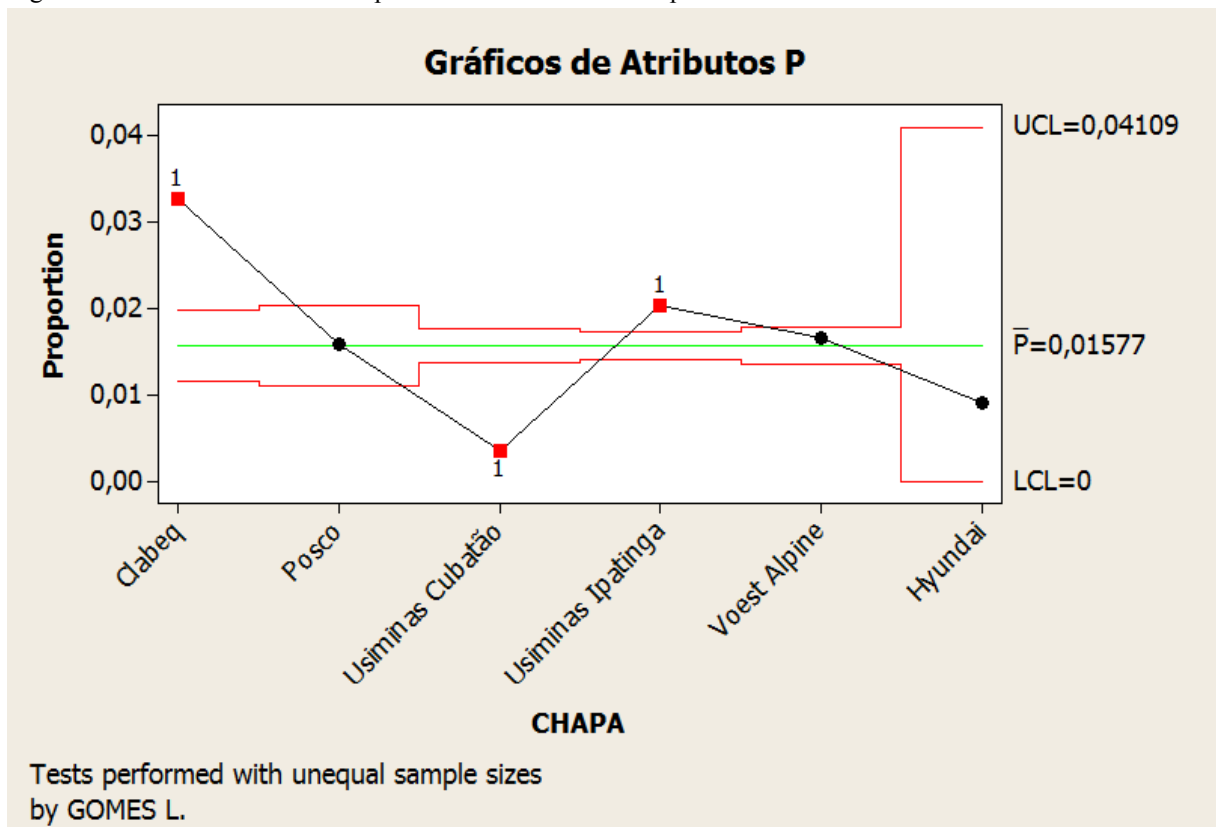
Fonte: Autor

A Tabela 7 mostra a quantidade de tubos defeituosos e produzidos com relação ao fator Chapa:

Tabela 7 – Chapa

Fator Chapa		
Usina	Defeituosos	Produzidos
Clabeq	263	8.000
Cosipa	0	51
Dillinger	3	69
Hyundai	2	218
Nipon Steel	0	30
Posco	102	6.413
Usiminas Cubatão	131	35.426
Usiminas Ipatinga	1.122	54.618
Voest Alpine	530	31.637
<b>Total</b>	<b>2.153</b>	<b>136.462</b>

Figura 10 - Gráfico de atributos P para os fornecedores de chapas



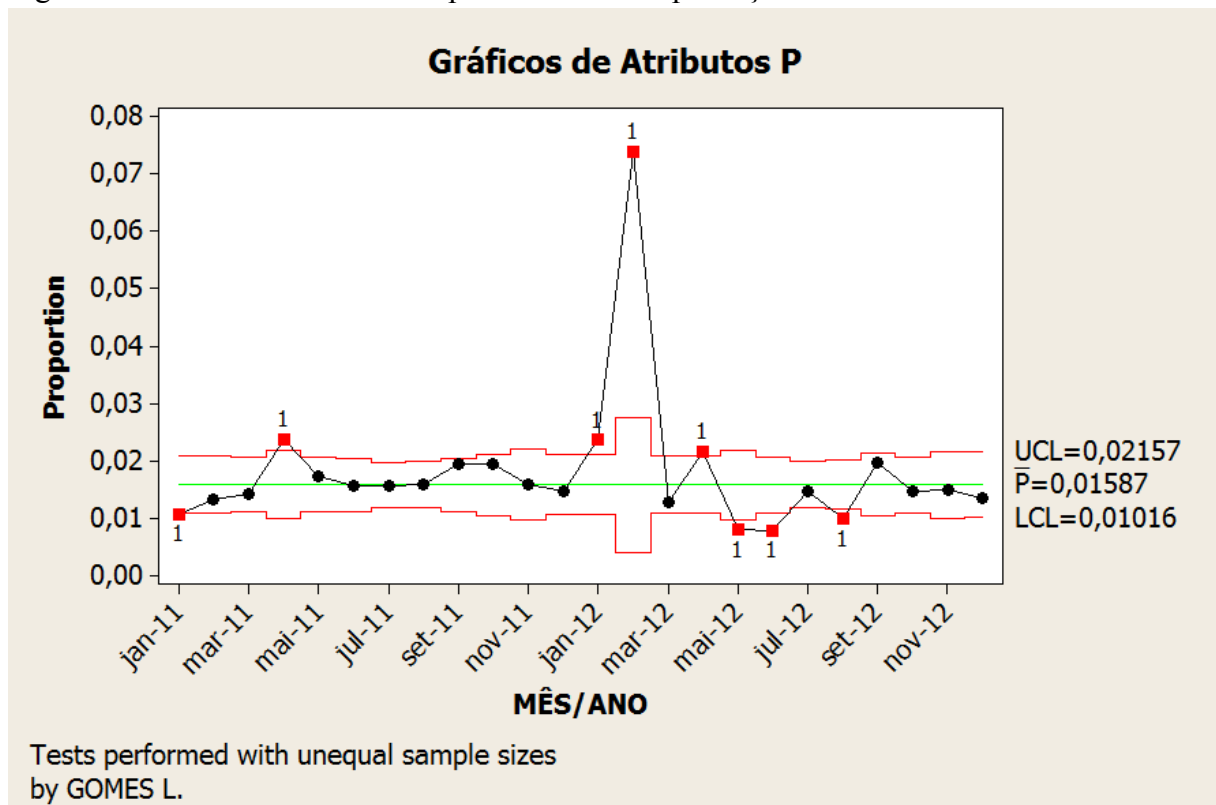
Fonte: Autor

A Tabela 8 mostra a quantidade de tubos defeituosos e produzidos com relação ao fator Sazonalidade, neste caso, o essencial é a análise da performance das variáveis:

Tabela 8 – Sazonalidade

Fator Sazonalidade					
Mês-Ano	Defeituosos	Produzidos	Mês-Ano	Defeituosos	Produzidos
jan-11	61	5.643	jan-12	125	5.266
fev-11	75	5.670	fev-12	75	1.015
mar-11	89	6.255	mar-12	71	5.522
abr-11	94	3.945	abr-12	121	5.577
mai-11	108	6.192	mai-12	31	3.845
jun-11	105	6.705	jun-12	47	5.930
jul-11	147	9.429	jul-12	131	8.897
ago-11	138	8.701	ago-12	77	7.704
set-11	130	6.693	set-12	95	4.812
out-11	94	4.855	out-12	86	5.882
nov-11	59	3.684	nov-12	61	4.096
dez-11	74	5.062	dez-12	59	4.317

Figura 11 - Gráfico de atributos P para os meses de produção em 2011 e 2012



Fonte: Autor

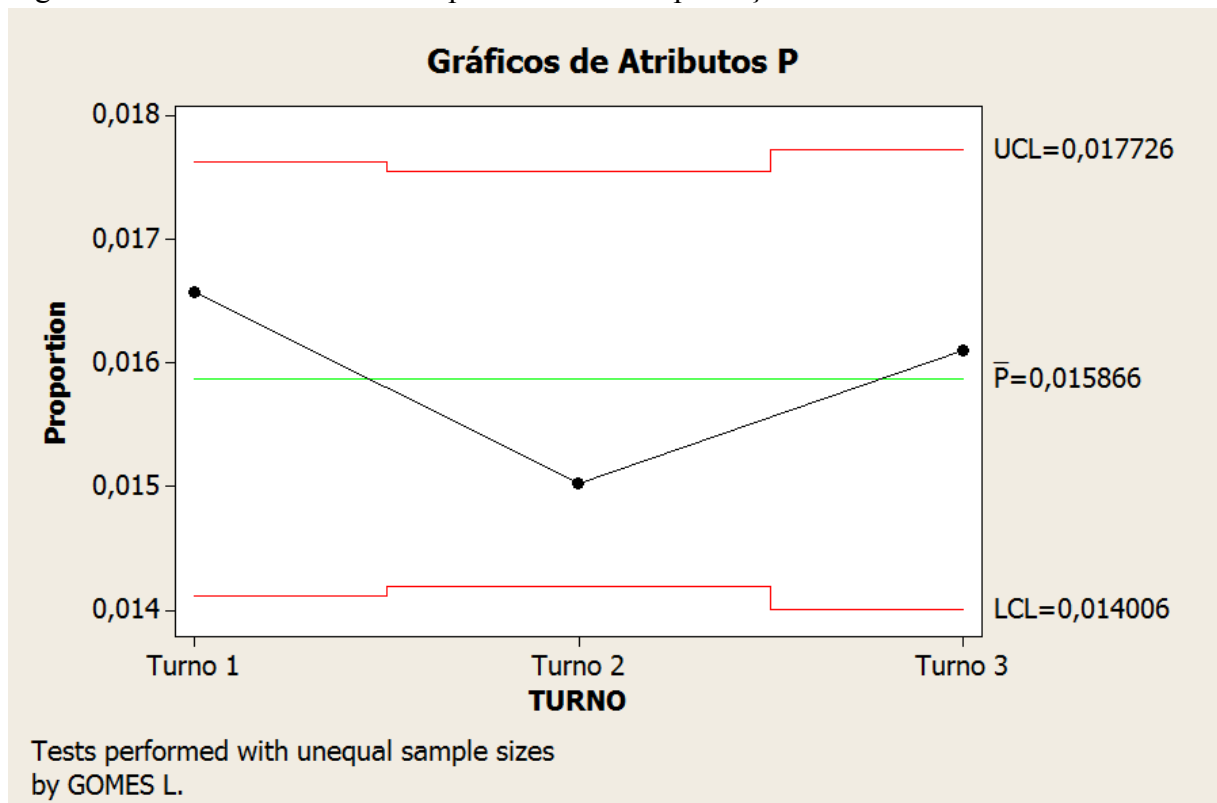
- Causa especiais: abr-11, jan-12, fev-12 e abr-12.
- Ideais: jan-11, mai-12, jun-12 e ago12.

A Tabela 9 mostra a quantidade de tubos defeituosos e produzidos com relação ao fator Turno. Similar à Sazonalidade, neste caso o essencial é a análise da performance das variáveis.

Tabela 9 – Turno

Fator Turno		
Nominal	Defeituosos	Produzidos
Turno 1	753	45.427
Turno 2	746	49.654
Turno 3	654	40.616

Figura 12 - Gráfico de atributos P para os turnos de produção



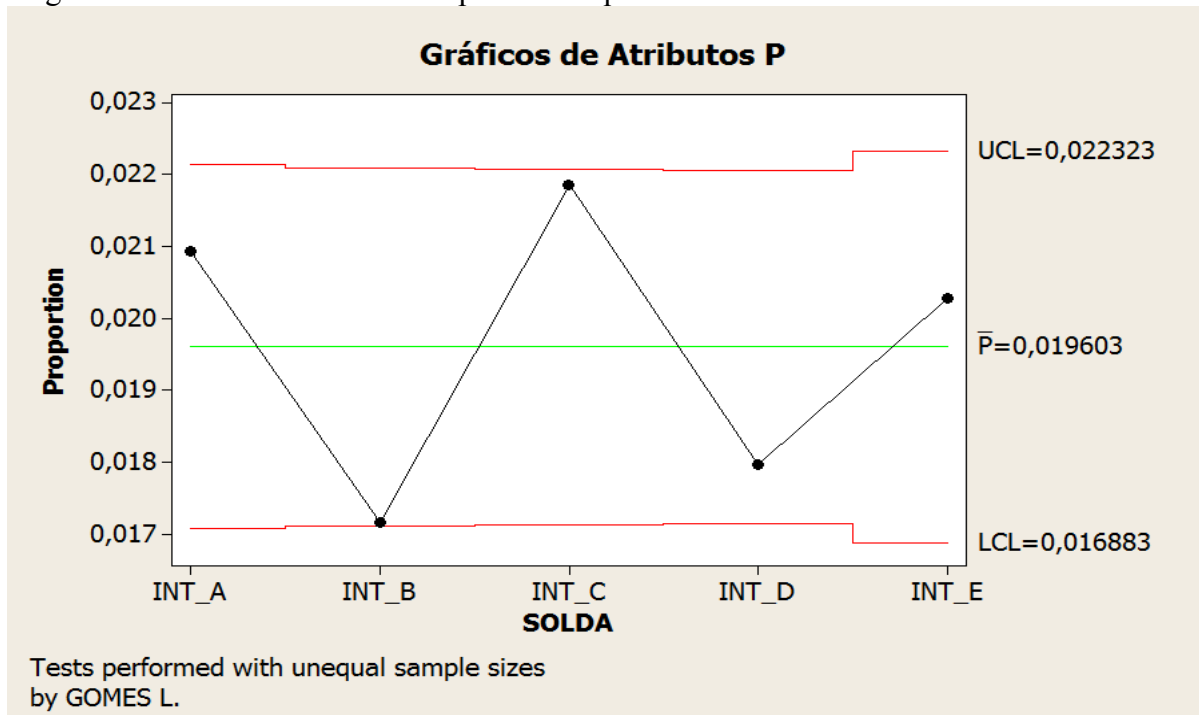
Fonte: Autor

A Tabela 10 mostra a quantidade de tubos defeituosos e produzidos com relação ao fator MSI (máquina de solda interna). Analogamente aos últimos dois casos, neste o essencial é a análise da performance das variáveis.

Tabela 10 – MSI

Fator MSI		
Nominal	Defeituosos	Produzidos
MSI-A	567	27.094
MSI-B	479	27.902
MSI-C	618	28.281
MSI-D	516	28.734
MSI-E	474	23.376

Figura 13 - Gráfico de atributos P para as máquinas de solda internas



Fonte: Autor

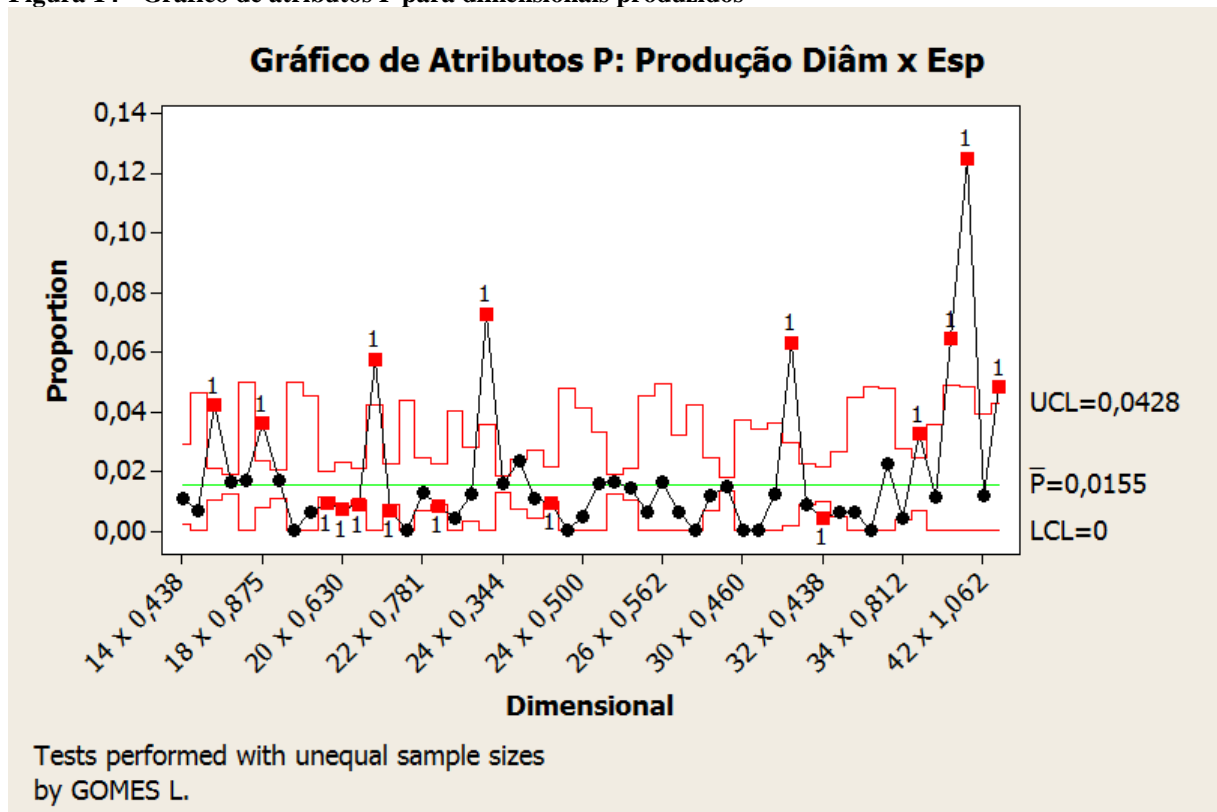
Com o propósito de investigar o real comportamento das variáveis, faz-se fundamental estudar a interação dos fatores. Essa relação foi realizada entre os fatores elementares do processo: diâmetro e espessura. Portanto, segue na Tabela 11 os dimensionais produzidos que atendem  $n \geq 100$ , e suas performances (Figura 13):

Tabela 11 - Interação: Diâmetro x Espessura

Interação: Diâmetro x Espessura		
Dimensional	Defeituosos	Produzidos
14" x 0,438"	8	747
16" x 0,500"	1	148
18" x 0,344"	195	4.619
18" x 0,688"	207	12.785
18" x 0,750"	2	119

Dimensional	Defeituosos	Produzidos
18" x 0,875"	84	2.329
18" x 1,125"	100	6.014
20" x 0,492"	0	119
20" x 0,500"	1	156
20" x 0,625"	64	6.994
20" x 0,630"	17	2.394
20" x 0,750"	41	4.813
20" x 0,812"	11	191
20" x 1,000"	21	3.051
21" x 0,688"	0	172
22" x 0,781"	22	1.729
22" x 0,812"	24	2.918
22" x 0,906"	1	231
22" x 1,125"	11	890
24" x 0,250"	25	344
24" x 0,344"	260	16.259
24" x 0,375"	44	1.862
24" x 0,406"	11	1.040
24" x 0,438"	39	4.194
24" x 0,469"	0	134
24" x 0,500"	1	210
24" x 0,562"	7	446
24" x 1,125"	205	12.533
26" x 0,438"	66	4.544
26" x 0,500"	1	157
26" x 0,562"	2	122
26" x 1,000"	3	497
28" x 0,500"	0	191
28" x 0,625"	20	1.670
30" x 0,320"	393	26.178
30" x 0,460"	0	290
30" x 0,469"	0	403
30" x 0,500"	4	331
30" x 1,000"	46	728
32" x 0,375"	25	2.820
32" x 0,438"	17	3.862
32" x 0,500"	7	1.166
32" x 0,688"	1	162
32" x 0,750"	0	129
32" x 1,000"	3	133
34" x 0,812"	4	934
36" x 0,394"	58	1.775
36" x 0,625"	4	348
36" x 0,875"	8	124
40" x 0,375"	16	128
42" x 1,062"	3	250
48" x 0,375"	9	186
<b>Total</b>	<b>2092</b>	<b>134.569</b>

Figura 14 - Gráfico de atributos P para dimensionais produzidos



Fonte: Autor

## 4.2 DISCUSSÃO

O Nível Sigma obtido pela medição de capacidade do processo em DPMO, configura o mesmo em um processo capaz. Contudo, também certifica-o alvo para projetos de melhoria contínua, exigindo uma maior eficiência de produção, visando a meta de um projeto Seis Sigma de apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades.

A ideia é trabalhar para eliminar os *outliers* por meio de ações tomadas como consequência da identificação de variações, que justificam o afastamento de tais observações das demais da série.

Realizando a interpretação do Figura 14, identifica-se os dimensionais que possuem interferência de causa especiais que contribuem com os desperdícios da planta produtiva. Os pontos acima da LSC são os seguintes dimensionais:

- 18" x 0,344"
- 18" x 0,875"
- 20" x 0,812"
- 24" x 0,250"

- 30” x 1,000”
- 36” x 0,394”
- 36” x 0,875”
- 40” x 0,375”
- 48” x 0,375”

Antagonicamente, a interpretação destaca também os pontos tidos como processos ideais. Os dimensionais plotados abaixo da LIC são os seguintes:

- 20” x 0,625”
- 20” x 0,630”
- 20” x 0,750”
- 22” x 0,812”
- 24” x 0,438”
- 32” x 0,438”

#### 4.2.1 Estudo complementar

A identificação de variações (causas especiais) é melhor investigada se, ao produzir um determinado produto, simultaneamente o processo for reconhecido como não controlado. Tendo em vista que, se o presente estudo possibilitasse a avaliação das variáveis paralelamente à produção, as conclusões seriam em casos, menos indutivas e mais concretas.

Tal controle, pode ser feito equiparando a quantidade de defeitos esperados por determinada produção de tamanho  $t$ . Proveniente da Tabela 11, a quantidade de defeitos (2.092) e quantidade de tubos produzidos (134.569), e ainda oriundo do Gráfico 8, o valor de  $\bar{p}$  igual a 0,155, construiu-se a Tabela 12 aplicando a fórmula de Poisson (6), com  $X_0 = k$ :

Tabela 12 - Distribuição de Poisson

Distribuição de Poisson			
$t$	$\mu$	$X_0$	P(X)
100	1,555	4	97,87%
150	2,332	5	96,83%
200	3,109	6	96,07%
250	3,886	8	98,18%
300	4,664	9	97,88%

$t$	$\mu$	$X_0$	$P(X)$
350	5,441	10	97,64%
400	6,218	11	97,45%
450	6,996	12	97,31%
500	7,773	13	97,21%
550	8,550	14	97,13%
600	9,328	15	97,09%
650	10,105	17	98,43%
700	10,882	18	98,40%
750	11,659	19	98,37%
800	12,437	20	98,35%
850	13,214	21	98,34%
900	13,991	22	98,34%
950	14,769	23	98,34%
1000	15,546	24	98,35%
1050	16,323	25	98,36%
1100	17,101	26	98,38%
1150	17,878	27	98,40%
1200	18,655	28	98,42%

Primeiramente, afirma-se que a frequência ( $\lambda$ ), da fórmula de Poisson, é o valor de  $\bar{p}$  encontrado gráfico de interações. Com isso, encontra-se a média esperada para cada processo, dependendo do tamanho  $t$  de tubos a serem produzidos. Por fim, a probabilidade de ocorrência de, no máximo,  $X_0$  defeitos é calculada de forma que atenda  $P(X_0) \leq 1 - \bar{p}$ .

Conclusivamente, prevalece o limite de defeitos que podem ocorrer dependendo do tamanho da produção. Podendo este, ser no máximo igual  $X_0$ . Caso contrário, a processo produtivo em questão apresentará causas especiais.

De acordo com a Tabela 11, a produção de 747 tubos para o dimensional 14" x 0,438" apresentou 8 tubos defeituosos. Então está em controle, pois de acordo com a Tabela 12 poderiam ser encontrados até 19 defeitos. Em contraponto, a Tabela 11 mostra a produção de 344 tubos do dimensional 24" x 0,250" com 25 defeituosos. Logo, este é um dimensional que apresenta causas especiais de variações de processo, já que, segundo a Tabela 12, poderiam ser encontrados até 10 defeitos.

## CONCLUSÕES

Este trabalho é o pilar de um projeto de melhoria contínua de uma empresa de tubos de aço e teve por objetivo, evidenciar causas especiais presentes no processo que afetam negativamente a eficiência produtiva da fábrica. A investigação também evidenciou processos tidos como ideais, possibilitando confrontos de características para elaboração planos de ações. Assim sendo, conclui-se que o objetivo do trabalho foi alcançado.

O Nível Sigma do processo traduz que há possibilidades significativas de melhorias de um processo que é capaz. Contudo, faz-se necessário a otimização da produção e elevação da competitividade da empresa, visando sua manutenção no mercado.

O objetivo alcançado deste trabalho conduz o projeto à oportunidade de otimização, que se estabelece pela busca da diminuição da ocorrência do defeito Poro, conseqüentemente, leva a diminuição dos desperdícios e aumento da eficiência.

Para dar seqüência no projeto, sugere-se a realização de um *brainstorm* pela equipe da empresa envolvida, comparando as características prejudiciais da planta com as características presentes nos processos ideais. Essa equiparação deve considerar métodos e variáveis, tendo por objetivo selecionar variáveis consumadas vitais para o controle do sinistro.

Para nortear esse seguimento, deve-se investigar o comportamento da interação dos dimensionais (Diâmetro e Espessura), relacionando-o com os comportamentos dos gráficos dos fatores Grau, Chapa e Sazonalidade. Para efeito conclusivo, o fato de, os gráficos dos fatores Turno e MSI se apresentaram como processos controlados, sem a presença de pontos fora dos limites de controles (superior e inferior), afirma que estes não influenciam na ocorrência de não conformidades, logo não merecem atenção de esforços.

Por fim, a forma de controle das variáveis elencadas como vitais deve guiar os planos de ações para implementação da melhoria contínua. A configuração destas variáveis devem ser replicadas à todos os *setups* e os métodos destes processos devem ser modelos de procedimentos produtivos.

## REFERÊNCIAS

- BERLITZ F. A.& HAUSSEN M. L. **Seis sigma no laboratório clínico: impacto na gestão de performance analítica dos processos técnicos**. J Bras Patol Med Lab , v. 41 , n. 5, p. 301-12, outubro 2005.
- BESSANT, J.; CAFFYN, S.; GILBERT, J.; HARDING R. & WEBB, S. Rediscovering continuous improvement. **Technovation**. Vol. 14, n. 1, pp. 17-29, 1994.
- CAMPOS, V.F. **TQC – Controle da Qualidade Total no estilo japonês**. Nova Lima: INDG TecS, 2004.
- COGHLAN, D.; BRANNICK, T. **Doing action research in your own organization**. Londres: Sage, 2008.
- COSTA, A. F. B., EPPRECHT, E. K. e CARPINETTI, L. C. R., **Controle Estatístico de Qualidade**, 2.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012, 336p.
- DAGER, J. **Lean Marketing Implementation: Using DMAIC for your A3 Report in the Lean Marketing House**, 2009. Disponível em: <<http://business901.com/blog1/using-dmaic-for-your-a3-report-in-the-lean-marketing-house/>>. Acesso em: 05 set 2013.
- DATZ, D.; MELO, A. C. S.; FERNANDES, E. **Mapeamento de processos como instrumento de apoio à implementação do custeio baseado em atividades nas organizações**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABEPRO, 2004. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004\\_Enegep0302\\_0606.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0302_0606.pdf)>. Acesso em: 21set.2013.
- FORTES, C., **Arco Submerso**. Ed. ESAB, 2004. 144 p
- HOLTZ, R.; CAMPBELL, P. Six Sigma: its implementation in Ford's facility management and maintenance functions. **Journal of Facilities Management**, Houston, Texas, USA, v. 2, n. 4, p. 320-329, 2004.
- MEYER, P. L. **Probabilidade: Aplicações à estatística**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. p.145. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2010.

MODENESI, Paulo J. **Descontinuidades e Inspeção em Juntas Soldas**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais: 2001.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MONTGOMERY, D.C.; WOODALL, W.H. An Overview of Six Sigma. **International Statistical Review**. Vol. 76, p. 329-346, 2008.

NETO, P. L. O. C.; CYMBALISTA, M. **Probabilidades**. 2.ed. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

RIBEIRO, D., **Tecnologia da Solda**. Ed. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

SANTANA, C. J.; SALLES, M. T.; QUELHAS, O. L. G.; PONTES, L. A. L.; **O uso do Nível Sigma para comparação de processos diferentes: um estudo de caso**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABEPRO, 2004. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2004\\_Enegep0202\\_1636.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2004_Enegep0202_1636.pdf)>. Acesso em: 30 out 2013.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 2007.

VILLELA, C. S. **Mapeamento de Processos como Ferramenta de Reestruturação e Aprendizado Organizacional**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000250&pid=S0103651320100002000900046&lng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000250&pid=S0103651320100002000900046&lng=en)>. Acesso em: 18 set. 2013.

WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Qualitymark. 2004.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma - Introdução as Ferramentas Lean Manufacturing**. Rio de Janeiro: Werkema, 2010.