

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
MBE EM QUALIDADE E SEIS SIGMA

MAURÍCIO VIEIRA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA
REDUÇÃO DOS CUSTOS DE RETRABALHO E INSPEÇÃO
PARA ATENDER A ESPECIFICAÇÃO DE ROSCA DAS
CONEXÕES DE RESERVATÓRIOS DE AR**

PORTO ALEGRE

2017

MAURÍCIO VIEIRA

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUÇÃO DOS CUSTOS
DE RETRABALHO E INSPEÇÃO PARA ATENDER A ESPECIFICAÇÃO DE ROSCA
DAS CONEXÕES DE RESERVATÓRIOS DE AR

Trabalho de Conclusão de Curso de MBE
em Qualidade e Seis Sigma da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
UNISINOS

Orientador: Prof. MS. Renato de Boer.

PORTO ALEGRE

2017

RESUMO

O uso do Seis Sigma, como auxílio do método DMAIC (*Define – Measure – Analyse – Increase – Control*) para a solução de problemas é cada vez mais comum entre as empresas. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo reduzir os custos de retrabalho e inspeção no processo de produção de reservatórios de ar em uma empresa de grande porte do Rio Grande do Sul. Para isto, foi utilizado, como metodologia de trabalho, o estudo de caso devido a esta metodologia facilitar a aplicação de método no dia a dia de uma empresa. Como Início do estudo, como base no DMAIC, o primeiro passo feito foi a definição do problema, com suas métricas primárias e secundárias, e do time de projeto. O problema em questão era o alto gasto com retrabalho e inspeção no processo de fabricação de tanques devido ao não atendimento da especificação de rosca na etapa final. Como meta a ser buscada, foi definida a redução em 50% destes custos. Após, na fase *Measure*, devido a não existência de dados que pudessem ser analisados, foi previsto o acompanhamento de lotes de produção como forma de obter dados. Após, com auxílio da equipe, foi desenvolvido o diagrama Ishikawa do processo com as possíveis causas, estas que foram classificadas em uma matriz priorização. Já na fase *Analyse*, as causas elencadas como principais foram investigadas, por métodos estatísticos e gráficos, de forma estabelecer quais fatores eram significativos, sendo o processo de pintura E-coat o maior influenciador na especificação de rosca. Com as informações do processo conhecidas, um plano de ação foi proposto na fase *Increase*, com seus prazos e responsáveis. Conclui-se que, com a implementação do plano de ação, a meta de redução nos custos será atingida. Além disso, foi percebida, pelo autor deste trabalho, a robustez e a capacidade de gerar resultados da metodologia Seis Sigma.

Palavras-chave: Seis Sigma; reservatório de ar; inspeção; retrabalho; custo; rosca; DMAIC.

ABSTRACT

The use of Six Sigma DMAIC method, as aid (Sets – Measure-Analyse-Increase-Control) for the solution of problems is increasingly common among companies. Thus, the present work aims to reduce rework and inspection costs in the production process of air tanks in a large company of Rio Grande do Sul, Brazil. For this, it was used as a work methodology, the case study due to this methodology to facilitate the application of the method in the day by day of a company. From the beginning of the study, as the basis of DMAIC, the first step was the definition of the problem, with its primary and secondary metrics, and project team. The problem in question was the high spent on rework and inspection in the manufacturing process of air tanks due to non-attendance of the screw in the final specification. Goal to be reach was set to 50% reduction of these costs. After Measure phase, due to lack of data that could be analyzed, was foreseen to monitoring of production batches in order to obtain data. After, with the help of the team, Ishikawa diagram of the process was developed aiming the possible causes, which were classified in an array prioritization. On the Analyses stage, the causes listed as priority were investigated, utilizing statistical and graphical methods, in order to establish which factors were significant, being the electrocoat paint process the biggest influencer in the screw specification. With the information in the known process, an action plan was proposed in phase Increase, with deadlines and responsible. It is concluded that, with the implementation of the action plan, the cost reduction target will be achieved. In addition, it was perceived, by the author of this work, the strength and the ability to generate results of Six Sigma methodology.

Key-words: Six Sigma; air tank; inspection; rework; cost; screw; DMAIC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação entre padrão quatro Sigma e seis Sigma.....	19
Figura 2 – Correspondência entre o método DMAIC e o Ciclo PDCA.....	22
Figura 3 – Estrutura do Diagrama Ishikawa.	28
Figura 4 – Exemplo de matriz de priorização.	30
Figura 5 – Exemplo de histograma.....	32
Figura 6 – Exemplo de Carta de controle estatístico (Gráfico de controle).	34
Figura 7 – Esquema do sistema pneumático de frenagem.	42
Figura 8 – Esquema da suspensão pneumática.	43
Figura 9 – Partes que compõem um reservatório de ar.	44
Figura 10 – Foto de um PNP de rosca interna.	45
Figura 11 – Foto do setor de retrabalho e inspeção criado.	47
Figura 12 – Desdobramento métricas do projeto.	49
Figura 13 – Carta de projeto.....	51
Figura 14 – SIPOC do processo de fabricação de reservatórios de ar.	53
Figura 15 – Mapa do processo de produção de reservatórios de ar.	54
Figura 16 – Diagrama de Ishikawa: Número de produtos fora da especificação.....	55
Figura 17 – Pareto das possíveis causas raízes do problema.	58
Figura 18 – Foto das lâminas de calibração.....	60
Figura 19 – Foto da medição de GAP de solda com lâminas de calibração.	61
Figura 20 – Foto da medição do diâmetro do furo do estampo após calandra e solda longitudinal.	61
Figura 21 – Gráfico da distribuição de frequência das medidas do furo do estampo do corpo.	62
Figura 22 – Gráfico da distribuição de frequência das medidas do diâmetro interno das conexões antes da solda.....	63

Figura 23 – Gráfico da distribuição de frequência das medidas do diâmetro externo das conexões.	64
Figura 24 – Histograma da distribuição de frequência das medidas do diâmetro externo das conexões após medições com micrometro de maior resolução.	64
Figura 25 – Gráfico da distribuição de frequência das medidas do diâmetro externo das conexões.	65
Figura 26 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições da altura da conexão alta.	66
Figura 27 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições da altura da conexão baixa.	66
Figura 28 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do GAP de solda.	67
Figura 29 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do furo do corpo em x após solda longitudinal.	68
Figura 30 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do furo do corpo em y após solda longitudinal.	68
Figura 31 – Resultado da análise de capacidade do furo do estampo do corpo.	69
Figura 32 – Resultado da análise de capacidade do diâmetro externo das conexões.	70
Figura 33 – Resultado da análise de capacidade da altura da conexão alta.	71
Figura 34 – Resultado da análise de capacidade da altura da conexão baixa.	71
Figura 35 – Histograma do diâmetro interno das conexões antes da solda.	73
Figura 36 – Carta de controle do diâmetro interno das conexões antes da solda.	74
Figura 37 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do diâmetro interno das conexões altas.	74
Figura 38 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do diâmetro interno das conexões baixas.	75

Figura 39 – Resultado do teste de hipótese para o diâmetro interno da conexão alta antes e depois da solda.	76
Figura 40 – Resultado do teste de hipótese para o diâmetro interno da conexão baixa antes e depois da solda.	76
Figura 41 – Resultado do teste de hipótese para o diâmetro interno da conexão alta antes e depois da solda.	77
Figura 42 – Distribuição dos valores de GAP para as conexões unidas nas diferentes calotas e corpo do reservatório.	78
Figura 43 – Resultado do teste de hipótese para verificar se há diferença na proporção de conexões defeituosas entre corpo, calota de 1 conexão e calota de 2 conexões.	80
Figura 44 – Especificação de rosca M22x1,5 6H (tolerâncias).....	81
Figura 45 – Medições da espessura de tinta ao longo dos filetes de rosca na conexão alta da calota.	83
Figura 46 – Detalhe das medições da espessura de tinta ao longo de um filete de rosca da conexão alta da calota.....	83
Figura 47 - Medições da espessura de tinta ao longo dos filetes de rosca na conexão baixa do corpo.....	84
Figura 48 – Detalhe das medições da espessura de tinta ao longo de um filete de rosca da conexão baixa do corpo.....	84
Figura 49 – Resultado do teste de hipótese para verificar se há diferença na proporção de conexões defeituosas soldadas nos diferentes gabaritos.	85
Figura 50 – Resultado do teste de hipótese para verificar se há diferença na variância do diâmetro interno das conexões soldadas nos diferentes gabaritos.....	86
Figura 51 – Foto do processo de retrabalho com macho laminador.	87
Figura 52 – Foto dos reservatórios com suas respectivas isolações.	88
Figura 53 – Resultado do teste de hipótese para verificar se as duas isolações geram diferença de produtos reprovados.....	89

Figura 54 – Projeto dos tampões vazados de aço para isolação do E-coat.....	90
Figura 55 – Tampão vazado de silicone.....	90
Figura 56 – Mapa do processo de produção de reservatórios proposto.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Decisão de aceitar ou rejeitar hipótese nula.....	33
Tabela 2 – Membros do projeto.....	41
Tabela 3 – Custo da não qualidade.....	47
Tabela 4 – Cronograma do projeto.....	50
Tabela 5 – Matriz de priorização XY.	56
Tabela 6 – Resumo matriz de priorização XY.	57
Tabela 7 – Etapas de medição do lote de acompanhamento de processo.	60
Tabela 8 – Distribuição dos defeitos de solda encontrados.	79
Tabela 9 – Proporção de conexões com defeitos de solda em relação a peça em que foi soldada.	79
Tabela 10 – Histórico dos resultados dos testes com PNP.....	82
Tabela 11 – Resultado da verificação com PNP 6H após pintura a pó.....	88
Tabela 12 – Plano de ação para redução do GAP de solda.	92
Tabela 13 – Plano de ação para produção de conexões na nova especificação de usinagem.....	93

LISTA DE SIGLAS

CEP	Controle Estatístico do Processo
COPQ	Coast of Poor Quality
Cpk	Índice de Capabilidade do Processo
Cp	Razão de capacidade do processo
DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve, Control (Definição, Medição, Análise, Melhoria, Controle)
PNP	Passa não Passa
SIPOC	Supplier – Input – Process – Output – Client
LIE	Limite Inferior de Engenharia
LSE	Limite Superior de Engenharia
MSA	Measurement Systems Analysis (Análise do Sistema de Medição)
PDCA	Plan – Do – Check – Action
DOE	Design of Experiments
Xs	Variáveis de Entrada
Ys	Variáveis de Saída
5W2H	Who – What – When – Where – Why – How – How Much
GUT	Gravidade – Urgência – Tendência
LIC	Limite Inferior de Controle
LSC	Limite Superior de Controle
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
CNC	Comando Numérico Computadorizado

SUMÁRIO

ABSTRACT	3
SUMÁRIO	10
INTRODUÇÃO	13
1.1 Definição Problema	14
1.2 Justificativa	15
1.3 Delimitações do Trabalho	15
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo Geral	16
1.4.2 Objetivos Específicos	16
1.5 Estrutura do Trabalho	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Metodologia Seis Sigma	18
2.1.1 Origem do Seis Sigma.....	20
2.2 Método DMAIC	21
2.2.1 Fase <i>Define</i>	22
2.2.2 Fase <i>Measure</i>	24
2.2.3 Fase <i>Analyse</i>	25
2.2.4 Fase <i>Improve</i>	25
2.2.5 Fase <i>Control</i>	26
2.3 Ferramentas utilizadas em um projeto Seis Sigma	27
2.3.1 Diagrama Ishikawa	27
2.3.2 Matriz de Priorização.....	29
2.3.4 Histograma.....	30
2.3.5 Teste de Hipótese.....	32

2.3.6 Gráfico de Controle	33
2.3.8 Capacidade de Processos	35
3 METODOLOGIA	37
3.1 Método de Pesquisa	37
3.2 Método de Trabalho	37
4 ESTUDO DE CASO	39
4.1 Fase Definição	39
4.1.1 Business Case	39
4.1.2 Time de Projeto	40
4.1.3 Reservatório de ar e seus componentes	41
4.1.4 Dificuldade para atender a especificação de rosca das conexões	44
4.1.4 Processo atual de inspeção	46
4.1.5 Custos da não qualidade – COPQ (<i>Coast of poor Quality</i>)	47
4.1.6 Definição da meta do projeto	48
4.1.7 Ganhos qualitativos com a meta	48
4.1.8 Métricas do projeto Seis Sigma	49
4.1.9 Cronograma	50
4.1.10 Carta de Projeto	50
4.2 Fase Medição	52
4.2.1 Mapeamento do Processo	53
4.2.2 Diagrama Ishikawa	54
4.2.4 Matriz de Priorização XY	55
4.2.5 Plano de acompanhamento e medição dos processos de fabricação	59
4.2.6 Teste de Normalidade para as medições	61
4.2.7 Capabilidade dos processos	69

4.3 Fase Análise	72
4.3.1 Conexão reduz diâmetro interno na solda	72
4.3.1.1 <i>Análise dos defeitos de soldagem</i>	79
4.3.2 Especificação da rosca na usinagem não está correta	80
4.3.3 Pintura E-coat com alta deposição de tinta	81
4.3.4 Gabaritos de solda geram influencia na solda das conexões.....	85
4.3.5 Isolação da conexão na pintura pó não é suficiente.....	87
4.3.6 Teste com isolação da pintura E-coat	89
4.4 Fase Melhoria	91
4.4.1 Redução do GAP de solda nas conexões	92
4.4.2 Especificação de tolerância de rosca para a usinagem	92
4.4.3 Proposta de alteração de processo para o cliente	93
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERÊNCIAS	97

INTRODUÇÃO

A necessidade de as empresas aumentarem cada vez mais seu nível de qualidade não é novidade alguma. A exigência dos clientes cresce a cada dia, tornando intensa a busca por processos mais robustos e confiáveis pelas empresas. Porém, a busca da qualidade não exige apenas um bom desempenho da função produção da empresa, mas também de outras funções como marketing e desenvolvimento de produtos (CORDEIRO, 2004).

Para Marshall, Rocha, Mota e Quintella (2012), a gestão da qualidade não significa o controle da produção, a qualidade intrínseca de bens e serviços, a aplicação isolada de ferramentas e métodos de gestão, ou uma assistência técnica apropriada, mas também um modelo de gerenciamento que busca a eficiência e a eficácia organizacionais.

Em busca do aperfeiçoamento da gestão dos processos, as empresas também vão em busca de conceitos que transcendem os conceitos de qualidade e abrangem a produção consciente, onde o custo é o principal vilão. De acordo com Silva (1999), os custos tornaram-se determinantes à competitividade de muitos setores e uma obsessão constante das empresas no que diz respeito à otimização dos recursos visando ao aumento do lucro e à sobrevivência no mercado.

As empresas cada vez mais sustentam sua evolução na afirmação de ferramentas e metodologias de forma a tornarem seus processos de resolução de problemas e gerenciamento da qualidade consolidados. Conforme Francisco (2011), “para garantir a qualidade é necessário criar uma soma sinérgica do uso de métodos e ferramentas, ou seja, solucionar os problemas com observância do método com a correta utilização das ferramentas”.

O modelo Seis Sigma, originalmente fundamentado pela empresa Motorola, conforme Krajewski, Ritzman e Malhotra (2010) é um sistema orientado por uma compreensão precisa da necessidade do cliente, além de buscar o uso disciplinado

de fatos, dados e análises estatísticas visando a reinvenção dos processos de negócio.

A implementação do Seis Sigma, conforme Arie et al. (2005), “minimiza os custos pela redução ou eliminação de atividades que não agregam valor ao processo e maximiza a qualidade de saída dos procedimentos para se obterem lucros em níveis esperados pelos acionistas”. Os autores também destacam que a metodologia gera uma mudança cultural na empresa, onde a melhoria é alcançada através do aperfeiçoamento dos processos. Este progresso dos métodos, cria uma cultura de organização matricial, e nela os processos adquirem poder.

Sendo assim, este presente trabalho visa a utilização da metodologia seis Sigma para a resolução de um problema industrial, onde suas ferramentas e etapas do processo foram explorados de forma a dar rigidez e embasamento nas soluções propostas.

1.1 Definição Problema

Reservatórios de ar são produzidos em alta escala pela empresa onde o trabalho foi desenvolvido. Estes são utilizados em veículos em geral para armazenar ar comprimido do sistema de freio e pistões de movimento de mecanismos. Atualmente, a empresa produz cerca de 12650 reservatórios mensais de diversos modelos e para um número relativamente grande de clientes. A produção de reservatório exige uma série de processos, como, processos de estampagem, usinagem, calandragem, solda, jato e pintura, tornando a fabricação deste item complexa e com a necessidade de várias máquinas, robôs e pessoas.

De maneira geral, os reservatórios de ar são compostos por diversos componentes, estando entre estes as conexões roscadas. Estas conexões roscadas são utilizadas para conectar o reservatório ao sistema pneumático dos veículos. Desde a fabricação destas conexões até a inspeção final, esta sofre influência de diversos processos.

Sendo assim, o problema em questão é a dificuldade em garantir a especificação de rosca definida pelo cliente sem a necessidade de retrabalho de praticamente 100% das mesmas no final do processo. Além disso, o retrabalho excessivo gera a presença de cavacos ou sujeiras oriundas do processo de repasse de macho no final da fabricação dos reservatórios, estes que são de difícil remoção já que o reservatório possui apenas conexões M22 como porta de identificação e saída destas impurezas.

1.2 Justificativa

Atualmente, a produção está em torno de 575 dia, sendo que, para garantir a especificação de rosca, estão sendo utilizados cerca de 15 pessoas, distribuídas em dois turnos, na inspeção e retrabalho dos reservatórios. Além disso, há uma inspeção terceirizada, esta requisitada pelo cliente, visando a garantia do atendimento as especificações de projeto. Esta inspeção terceirizada foi requisitada devido a quantidade de problemas de qualidade que a produção deste item possuía, principalmente devido ao não atendimento da especificação de rosca.

Outro fator que impulsionou a escolha deste problema para a realização deste trabalho foi o aumento da demanda dos clientes, esta que cresceu cerca de 15% nos últimos 3 meses.

Dessa forma, a utilização do uso da metodologia Seis Sigma (método DMAIC) foi uma maneira encontrada para que a investigação, identificação das causas e melhoria fossem realizadas.

1.3 Delimitações do Trabalho

Este trabalho limita-se ao estudo e aplicação da metodologia Seis Sigma do processo de fabricação de reservatórios de ar de um modelo e cliente específico, sendo esta escolha devido a este ser o reservatório de maior demanda.

Além disso, não serão divulgados nomes do cliente e da empresa onde o trabalho será aplicado devido a este ser um produto estratégico.

O estudo será realizado abrangendo todo o processo produtivo do modelo em questão, como a usinagem das roscas, estampagem das calotas e furos, processo de calandragem, solda e embutimento, além dos processos de jato e pintura, com o intuito de levantamento de informações e conhecimento do processo produtivo. Porém, os processos que serão mais enfatizados são os que atuam sobre as conexões, já que a redução dos defeitos sobre estas que é o principal assunto deste trabalho.

A metodologia DMAIC será aplicada até a fase de análise, porém, as melhorias que se julgam necessárias para o atingimento do objetivo serão listadas e explicadas.

Também serão levantados possíveis problemas de solda, para que sejam realizados estudos futuros, já que estes também podem gerar retrabalho nos reservatórios de ar.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a redução dos custos de retrabalho e inspeção nas conexões de reservatórios de ar presentes no atual processo produtivo de uma empresa de grande porte do estado do Rio Grande do Sul através da implementação da metodologia Seis Sigma, buscando a identificação dos causadores da variabilidade da dimensão das roscas e propondo as melhorias necessárias para o alcance da meta estipulada.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar o mapa do processo atual de forma a trazer um entendimento do processo, este que será de base para o restante do trabalho;
- b) Identificar quais são os processos que causam a maior variabilidade no dimensional das roscas;

- c) Proporcionar a empresa um conhecimento abrangente do processo produtivo de reservatórios de ar;
- d) Melhorar a estabilidade do processo de soldagem com relação a problemas gerados no processo;
- e) Propor ações para redução do retrabalho.

1.5 Estrutura do Trabalho

A formulação deste trabalho segue conforme descrição abaixo:

- Capítulo 1: apresenta uma breve descrição de forma a introduzir o assunto a ser abordado no trabalho, juntamente com a definição do problema e sua respectiva justificativa, além de uma explanação a respeito da delimitação e de seu objetivo geral e específicos;
- Capítulo 2: neste capítulo irá ser apresentada a revisão bibliográfica das teorias e conteúdos que foram utilizados para a realização do estudo em discussão, como a metodologia Seis Sigma e suas respectivas ferramentas;
- Capítulo 3: contém a demonstração do método de pesquisa utilizado de forma a explicar como o estudo foi realizado;
- Capítulo 4: demonstração do estudo de caso realizado, mostrando os passos e a aplicação da metodologia Seis Sigma na solução de problemas (método DMAIC).
- Capítulo 5: capítulo onde as considerações finais são feitas juntamente com a descrição dos próximos passos para que os objetivos deste trabalho sejam alcançados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fundamentação teórica será feita principalmente em torno da metodologia Seis Sigma e suas respectivas ferramentas, de forma a abranger os conceitos e metodologias utilizados na realização deste trabalho.

2.1 Metodologia Seis Sigma

A metodologia Seis Sigma está cada vez mais se difundido entre as organizações. Para Arie et al.(2005), a metodologia é ferramenta estratégica de gerenciamento que tem sido adotada pelas empresas, revolucionando os negócios nas grandes corporações através do melhoramento dos processos operacionais e transacionais, atacando as causas raízes e alcançando o nível de qualidade requerido pelos clientes. Este método também é aplicado na criação de novos processos e produtos.

Conceitualmente, Seis Sigma é:

Um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. Seis Sigma é singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análise estatísticas e a atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos de negócios (PANDE, NEUMAN, CAVANAGH, 2010, p. XIII).

Os mesmos autores ainda citam os tipos de sucesso empresarial que se pode alcançar com o uso da metodologia, como:

- Redução de custos;
- Melhoria de produtividade;
- Crescimento de fatia de mercado;
- Retenção de tempo de ciclo;
- Redução de defeitos;
- Mudança Cultural;
- Desenvolvimento de produto/serviço.

Já conforme Chowdhury (2002) no romance “O poder do Seis Sigma”, “o Seis Sigma é uma filosofia administrativa concentrada em eliminar erros, desperdício e repetição de trabalho”.

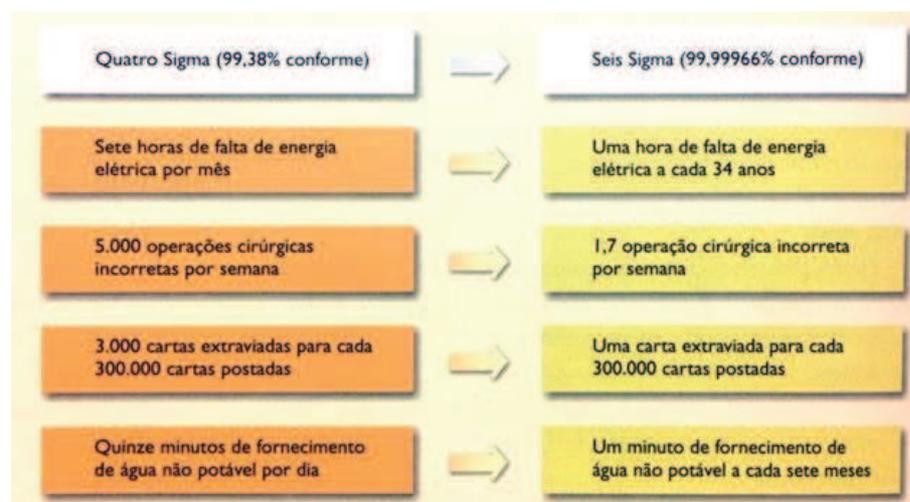
Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação do cliente e consumidores (WERKEMA, 2012, p. 15).

Seguindo no entendimento do Seis Sigma, a metodologia tem como base o Sigma.

O Sigma é como uma medida, usada para determinar o quanto é bom ou ruim o desempenho de um processo; em outras palavras, quantos erros uma empresa comete no que se propõe a fazer (CHOWDHURY, 2002, p. 31).

Para Werkema (2012), a meta do seis Sigma pode ser entendida se for feita uma comparação entre o padrão utilizado pela maioria das empresas, este que é de quatro Sigma, ou 99,38% de conformidade, com a performance seis Sigma, este que é de 99,99966% de conformidade.

Figura 1 – Comparação entre padrão quatro Sigma e seis Sgima.



Fonte: WERKEMA, 2012, p. 16.

Portanto, a quantidade de Sigma, de certa forma, expressa a quantidade, em percentagem, de conformidade que se pode produzir em um processo. Quanto mais

Sigma o processo tiver, menor a quantidade de não conformidade este processo possui.

2.1.1 Origem do Seis Sigma

Na década de 80, a empresa Motorola, em um momento em que os clientes começaram a reclamar da qualidade de seus produtos dizendo que os produtos dos concorrentes estavam superando em desempenho, percebeu que precisava reagir. Inicialmente, a gerência estabeleceu metas mais elevadas para que os defeitos fossem reduzidos a um décimo do nível de desempenho anterior, exigindo assim que todos trabalhassem de maneira mais inteligente. Dessa forma, a Motorola começou a fomentar que seus funcionários dessem ideias, além de buscar a realização de *Benchmarking* de seus concorrentes (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2010).

Após a implementação de todas as ideias e melhorias nos processos, a empresa viu, em 10 meses, a taxa de defeitos reduziu em cerca de 70 por cento. Com este resultado, a Motorola documentou refinou todos os procedimentos que levaram a este resultado, dando origem ao Seis Sigma.

Dessa forma, o Seis Sigma ofereceu à Motorola uma maneira simples e eficiente de acompanhar o seu desempenho e compará-lo às exigências de seus clientes. Ao se espalhar por toda a empresa, alavancada pelo então presidente de conselho, Bob Galvin, o Seis Sigma deu à Motorola energia extra para atingir os objetivos que na época pareciam impossíveis (ARIENTE, et al., 2005, p. 85).

De acordo com Pande, Neuman e Cavanagh (2010), as principais conquistas da Motorola entre 1987 e 1997 foram:

- Crescimento de cinco vezes nas vendas, com lucratividade aumentando 20% ao ano;
- Economia acumulada decorrente dos esforços Seis Sigma, fixada em US\$ 14 bilhões;
- Aumento dos ganhos nos preços das ações, na taxa de 21,3% ao ano.

Depois do sucesso alcançado pela Motorola, outras empresas passaram a utilizar o programa. A empresa General Electric (GE), foi uma destas empresas que buscou a implementação da metodologia.

O Seis Sigma foi celebrizado pela GE, a partir da divulgação, feita com destaque pelo CEO Jack Welch, dos expressivos resultados financeiros obtidos pela empresa através da implantação da metodologia (por exemplo, ganhos de 1,5 bilhão de dólares em 1999). Após a adoção pela GE, houve uma grande difusão do programa (WERKEMA, 2012, p. 13).

Dessa forma, a metodologia foi se difundindo no âmbito empresarial, com adesão continua de cada vez mais empresas, buscando a melhoria contínua de seus processos.

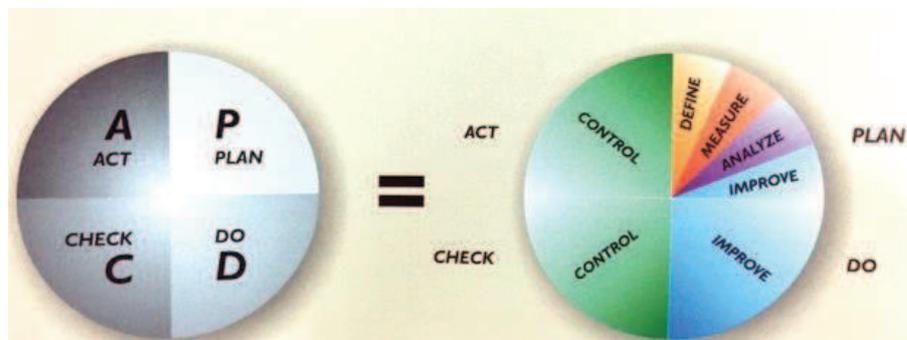
2.2 Método DMAIC

O Seis Sigma sofreu, ao decorrer dos anos, várias modificações até o atual método conhecido como DAMIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control).

O método DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) substituiu o antigo método MAIC (Measure, Analyze, Improve, Control) como a abordagem para a condução dos projetos Seis Sigma de melhoria de desempenho de produtos e processos (WERKEMA, 2012, p. 13).

Portanto, o método DMAIC consiste em um ciclo de melhoria de cinco fases que se baseia no ciclo original PDCA (Plan, Do, Check, Action), este que foi introduzido por W. Edwards Deming (PANDE, NEUMAN, CAVANAGH, 2010).

Figura 2 – Correspondência entre o método DMAIC e o Ciclo PDCA.



Fonte: WERKEMA, 2012, p. 38

Este método, formado por 5 passos, pode ser aplicado a projetos envolvendo melhorias radicais. Além disso, ele pode ser utilizado no desenvolvimento de um novo processo (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2010).

Sendo assim, em resumo, as 5 etapas ou passos do método, são (WERKEMA, 2012, p. 29):

- *Define* (Definir) – Definir com precisão o escopo do projeto;
- *Measure* (Medir) – Determinar a localização ou foco do problema;
- *Analyze* (Analisar) – Determinar as causas de cada problema;
- *Improve* (Melhorar) – Propor, avaliar e implementar as soluções para cada problema;
- *Control* (Controlar) – Garantir que a meta seja alcançada;

2.2.1 Fase *Define*

Nesta fase é onde a meta, escopo e o time que irá participar do projeto são definidos. Além disso, também procura-se identificar as principais necessidades do cliente.

Para Werkema (2012), nesta etapa deve ser respondida as seguintes questões:

- Qual é o problema a ser abordado no projeto?
- Qual a meta a ser atingida?
- Qual é o processo relacionado ao problema?

- Qual o impacto econômico que, se atingido a meta, trará para a empresa?

Porém, antes de responder estes questionamentos, um problema a ser resolvido deve ser selecionado. A escolha do problema a ser resolvido pela metodologia é, sem dúvida, a etapa mais importante. Conforme Chowdhury (2002, p.76): “Escolha o problema que está prejudicando mais, causando mais prejuízos para a empresa, tornando os clientes insatisfeitos, aquele que lhe trará mais benefícios se for resolvido”.

Com o problema selecionado, e os questionamentos respondidos, deve-se construir o *Business Case*.

A business case is one of the major components of the project charter. The other two major components include the *problem statement* and the *project scope*. The Business Case describes, in non-quantifiable terms, what the project does. It describes the impact of the strategic business objectives. It's used as a motivational tool that describes why the project is worth doing and explains the consequences of not Project (GRAVES, 2013).

Todos estes itens devem compor a *Project Charter* (Carta de Projeto). “A *Project Charter* é um documento que representa uma espécie de contrato firmado entre a equipe responsável pela condução do projeto e os gestores da empresa (*Champions e Sponsors*)” (WERKEMA, 2012, p.81).

Na Carta de Projeto também consta a definição do time de projeto, juntamente com as suas respectivas responsabilidades dentro do projeto. É necessário de que o time de projeto esteja totalmente comprometido com o projeto, pois eles serão os especialistas responsáveis por proporcionar suporte técnico específico. (WERKEMA, 2012).

Outro item que compõe a carta de projeto é a meta do projeto. Para Falconi (2011), a boa meta não pode ser genérica, deve ser bem estabelecida (sendo desafiadora, mas possível) e bem distribuída ao longo da organização.

Somando a todos os itens citados, é interessante que a fase *Define* possua um cronograma do projeto. Neste cronograma, são especificadas as etapas juntamente com suas respectivas datas de conclusão.

2.2.2 Fase *Measure*

Nesta fase, o problema, de certa forma, deve ser quantificado. Deve ser selecionado o que devesse medir para se ter embasamento para solucionar o problema. Além disso, conforme Werkema (2012), deve ser especificado quais são os focos prioritários do problema, estes que são indicados pela análise dos dados gerados pela medição de resultados associados ao problema.

Além disso, a autora também propõe uma série de questionamentos que auxilia o desenvolvimento desta etapa, como:

- Como o problema pode ser estratificado? Quais seus fatores?
- Existem dados históricos confiáveis para a estratificação do problema? Como foram coletados? Caso não existam, como os novos dados
- Quais são os focos do problema, e como se comportam ao longo do tempo?
- Quais são as metas específicas para cada um dos focos do problema?
- As metas específicas são suficientes para o alcance da meta geral do projeto?
- As metas específicas pertencem a área de atuação da equipe?

Ao observar os questionamentos, é possível constatar que é possível utilizar dados históricos, quando os dados para análises já existem na organização, ou utilizar novos dados, estes que proveem de um plano de coleta de dados.

Além disso, também deve-se avaliar se os dados a serem analisados são confiáveis. Para isso, pode ser utilizado a Avaliação de Sistema de Medição e Inspeção (MSA, *Measurement Systems Analysis*). Dessa forma, a quantificação do grau de exatidão dos dados é realizada (WERKEMA, 2012).

Nesta fase, também é feito o mapeamento do processo a ser analisado, levando todas as suas etapas de forma a proporcionar a equipe um entendimento macro, facilitando a fase subsequente.

2.2.3 Fase *Analyse*

Com os dados confiáveis obtidos na fase *Measure*, a fase *Analyse* pode ser iniciada. Nesta fase do projeto, os dados serão analisados de forma a proporcionar a melhoria incremental do processo ou um reprojeto radical do processo (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2010).

De forma geral, nesta etapa deverão ser determinadas as causas fundamentais do problema prioritário associado a cada uma das metas definidas na etapa de medição. Em outras palavras, nesta fase é formulada a equação $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, onde Y é o problema em questão e os Xn são os elementos geradores do problema, juntamente com o seu grau de influência (WERKEMA, 2012).

Ao analisar os dados e determinar quais são os verdadeiros fatores que influenciam o problema em questão, pode-se chegar a conclusões diferentes que se tinha no início do projeto.

Como uma história de detetive, você pode tentar calcular o que vai acontecer em seguida, mas geralmente você se surpreende. Uma das lições mais valiosas da abordagem do Seis Sigma, na verdade, é que os “suspeitos de rotina” (as causas que você “pensa” serem a raiz do problema) geralmente provam que “não são culpados”, ou no mínimo apenas cúmplices do “verdadeiro” culpado (PANDE, NEUMAN, CAVANAGH, 2010, p. 261).

Nesta fase são utilizadas ferramentas de análise de dados, como diagrama de pareto, histograma, estudo de capacidade, cartas de CEP (Controle Estatístico de Processo) (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2010). Também pode ser utilizado, conforme Werkema (2012), Diagramas de Dispersão, Análise de Regressão, Testes de Hipóteses, Análise de Variância e Planejamento de Experimentos (DOE – *Design of Experiments*).

2.2.4 Fase *Improve*

Com a fase de analisar concluída, as melhorias que devem ser feitas nos fatores mais influentes no problema podem ser realizadas. Sendo assim, conforme

Krajewski; Ritzman; Malhotra (2010), esta fase consiste em modificar ou reprojeter métodos existentes para satisfazer os novos objetivos de desempenho.

Para esta fase, Werkema (2012) propõe que:

- Ideias e soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema prioritárias sejam geradas;
- As soluções potenciais sejam priorizadas;
- Avaliação e minimização dos riscos das soluções prioritárias sejam efetuados;
- Testes de pequena escala das soluções selecionadas sejam feitos, e, caso necessário, realizar melhorias ou ajustes;
- Retorno a fase *Measure* em caso de a meta não ter sido alcançada;
- Plano de implementação das soluções em larga escala seja elaborado e executado.

Para a implementação das melhorias, podem ser utilizadas ferramentas de planejamento como, por exemplo, Diagrama de Gantt e 5W2H (What – When – Where – Who – Why – How – How much).

2.2.5 Fase *Control*

Nesta fase do método DMAIC, o processo é monitorado para que seja certificado de que estejam mantidos níveis elevados de desempenho. (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2010).

Para que o sucesso do atingimento da meta seja mantido, Werkema (2012) faz as seguintes recomendações:

- Padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas;

- Transmitir os novos padrões a todos os envolvidos;
- Definir e implementar um plano para monitoramento da performance do processo e do alcance da meta;
- Definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo;
- Sumarizar o que foi aprendido e fazer recomendações para trabalhos futuros.

A autora ainda relata a importância de incorporar mecanismos que garantam a realização de atividades “à prova de erro” (Poka-Yoke), enfatizando assim a detecção e correção de erros, antes que estes se transformem em novos ou antigos erros, afetando os clientes. Além disso, plano de monitoramento da performance do processo e do alcance da meta deve ser elaborado.

2.3 Ferramentas utilizadas em um projeto Seis Sigma

Para a realização de um projeto Seis Sigma, utilizando o método DMAIC, existe uma grande quantidade de ferramentas que podem ser utilizadas. Para proporcionar um maior embasamento para este trabalho, algumas delas, pelo menos as mais comuns, serão explanadas.

Muitas destas ferramentas utilizam técnicas estatísticas, estas que são poderosas e que devem ser utilizadas ao longo de todo o processo de solução de problemas. Estas ferramentas auxiliam na análise da variabilidade dos processos, esta que está presente em todos os processos de produção de bens e de fornecimento de serviços (WERKEMA, 2014).

2.3.1 Diagrama Ishikawa

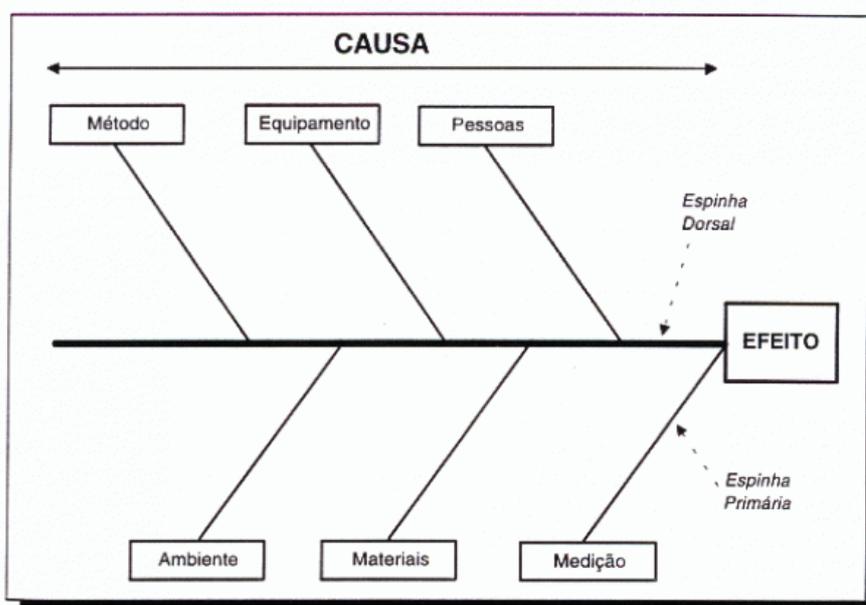
Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito é uma ferramenta da qualidade que ajuda a levantar as causas-raízes de um problema,

analisando todos os fatores que envolvem a execução do processo (BASTIANI, MARTINS, 2012).

O diagrama de causa e efeito é utilizado para sumarizar e apresentar as possíveis causas do problema considerado, atuando como guia para a identificação da causa fundamental desse problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas (WERKEMA, 2014, p. 90).

Normalmente, são propostas 6 categorias pelo método, que são: Máquina, Material, Mão de Obra, Meio-Ambiente, Método e Medida. Porém, nem todos os processos ou problemas utilizam-se de todos esses fatores, assim é preciso avaliar quais deles estão presentes ou são importantes para a execução (BASTIANI, MARTINS, 2012).

Figura 3 – Estrutura do Diagrama Ishikawa.



Fonte: <https://valeriagabassa.wordpress.com/2012/10/24/diagrama-de-causa-e-efeito-diagrama-de-ishikawa/>

Conforme Werkema (2014), as seguintes etapas para a construção do Diagrama de Ishikawa devem ser realizadas:

- Definir a característica da qualidade ou o problema a ser analisado;

- Relacionar dentro de retângulos, as causas primárias que afetam a característica da qualidade ou problema já definido;
- Relacionar as causas secundárias que afetam as causas primárias;
- Relacionar as causas terciárias que afetam as causas secundárias;
- Identificar, no diagrama, as causas que parecem exercer um efeito mais significativo sobre a característica da qualidade ou problema;

2.3.2 Matriz de Priorização

Matriz de Prioridade é uma ferramenta utilizada para selecionar, entre inúmeras causas ou problemas, os que apresentam maior prioridade ou importância para o resultado que se propõem atingir, através de condições próprias, customizadas e da especificidade do processo. Normalmente é utilizada na priorização de estratégias, tomadas de decisão e solução de problemas de organizações em projetos (MARTINS, 2012).

É comum a matriz de priorização ser usada após o diagrama Ishikawa, pois ela ajuda a correlacionar as saídas do processo (medidas associadas aos problemas prioritários e a outros resultados importantes) às entradas e outras variáveis do mesmo, ou seja, às causas potenciais dos problemas prioritários (WERKEMA, 2014).

Para construção de uma matriz de priorização, Martins (2012) relata os seguintes passos:

- Selecionar os problemas ou as causas potenciais do problema, ou seja, os itens que serão avaliados na matriz;
- Definir os critérios: nesta etapa é definido os critérios nos quais os problemas ou causas serão avaliados. Um exemplo comumente utilizado é o critério GUT (G = gravidade; U = urgência; T = tendência);
- Definir a escala: a escala nos quais as causas ou problemas serão pontuados nos critérios selecionados;

- Multiplicar os pesos e identificar a hierarquia das prioridades: como última etapa, deve-se multiplicar todos os valores pontuados em todos os critérios. Desta forma, será possível hierarquizar as causas ou problemas de forma decrescente, ou seja, os itens com maiores valores serão os mais prioritários.

Figura 4 – Exemplo de matriz de priorização.

		Problema prioritário			Total
		Atraso no tempo entre a chegada do material ao porto e o desembarço, decorrente da variação natural do processo de importação de polímeros por transporte marítimo.	Atraso no tempo entre a emissão do pedido e o embarque, decorrente da variação natural do processo de importação de polímeros por transporte marítimo.	Falta de ordem de fabricação de reagentes.	
Peso (5 a 10)		9	8	10	
Causa potencial	Tempo elevado de preparação da carga pelos fornecedores.	0	5	0	40
	Mudanças frequentes no roteiro de viagem feitas pelos fornecedores, sem comunicar à empresa.	5	5	0	85
	Deficiências do software utilizado na programação da produção.	1	0	5	59
	Falta de treinamento das pessoas que trabalham em áreas administrativas da empresa.	3	0	3	57

Fonte: WERKEMA, 2012, p. 112.

2.3.4 Histograma

Os histogramas são usados para mostrar a frequência dos valores de uma distribuição de forma gráfica (MARTINS, 2012). Entende-se por distribuição como um modelo estatístico para um padrão de ocorrência de valores de uma determinada população (WERKEMA, 2014).

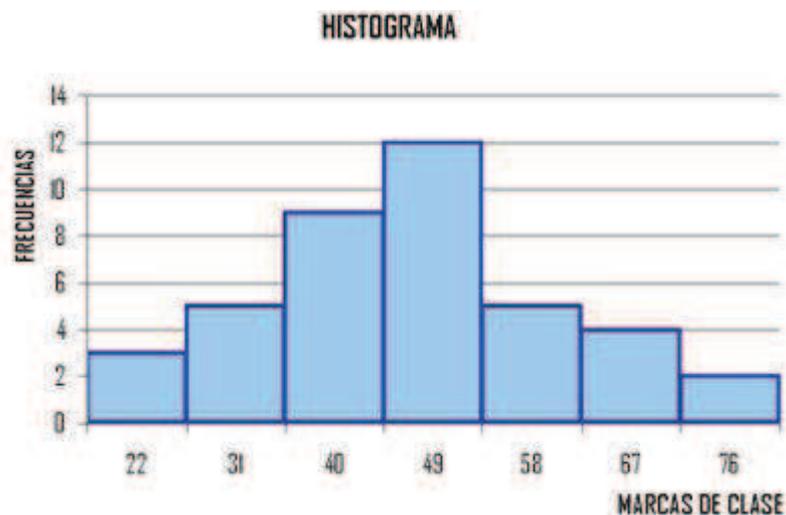
O histograma é um gráfico de barras no qual o eixo horizontal, subdividido em vários pequenos intervalos, apresenta os valores assumidos por uma variável de interesse. Para cada um desses intervalos é construída uma barra vertical, cuja área deve ser proporcional ao número de observações na amostra cujos valores pertencem ao intervalo correspondente (WERKEMA, 2014, p. 104).

Dessa forma, o histograma dispõe as informações tornando possível a visualização da forma de distribuição de um conjunto de dados, além de fornecer a percepção da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno desse valor central (WERKEMA, 2014).

Para a construção de um histograma, Martins (2012) propõe as seguintes etapas:

- Determinar a amostra: obtida de forma mais aleatória possível e que seja suficiente para demonstrar a totalidade do comportamento da população;
- Calcular a amplitude: obter a amplitude dos valores da amostra através da subtração entre o maior e o menor valor encontrado;
- Definir um número de classe: será o número de faixas de variação a ser lançado no gráfico. Não há uma regra determinada para esta escolha, porém o número de faixas não deve ser muito grande, de forma a dispensar demasiadamente os dados e nem muito pequeno, de forma a descaracterizar o histograma. O número de classes depende do tamanho da amostra;
- Calcular o intervalo de classe: é obtido através do cálculo da divisão da amplitude pelo número de classes;
- Calcular os extremos de classes: selecionar o menor valor da amostra e somar o valor do intervalo de classe, sendo encontrado o valor superior da primeira classe. Para o cálculo do limite superior da segunda classe, deve-se somar o valor do intervalo de classe ao limite superior da primeira classe. O procedimento deve ser repetido até ser encontrado os limites superior e inferior de todas as classes;
- Montar o histograma: contar o número de valores que está presente no intervalo de cada classe. O histograma deve ser montado de forma gráfica onde no eixo horizontal encontra-se os valores dos intervalos de classe e no eixo vertical a frequência encontrada para cada classe.

Figura 5 – Exemplo de histograma.



Fonte: <http://portefoliodemacsbyrodrigo.blogspot.com.br/2013/03/79-histograma.html>

2.3.5 Teste de Hipótese

Um teste de hipótese é uma ferramenta que possibilita a análise de aceitar ou rejeitar uma alegação sobre uma população de acordo com as provas fornecidas por uma amostra de dados. Basicamente, o teste examina duas hipóteses opostas sobre uma população: a hipótese nula e a hipótese alternativa. A hipótese nula é a declaração que está sendo testada. Já a hipótese alternativa é a declaração que se quer testar, de forma a evidenciar se a mesma é verdadeira com base em evidências fornecidas pelos dados da amostra (Minitab Support, 2017).

Testes de hipóteses permitem um processamento mais aprofundado das informações contidas nos dados, de modo que se possa controlar, abaixo de valores máximos pré-estabelecidos, os erros que podem ser cometidos no estabelecimento das conclusões sobre as questões avaliadas (WERKEMA, 2014, p. 210).

Com base nos dados amostrais, o teste determina se deve ser rejeitada a hipótese nula através do uso de um coeficiente conhecido como p-valor. Caso o valor deste coeficiente seja menor que o nível de significância, a hipótese nula deve ser rejeitada (Minitab Support, 2017).

De acordo com Calegare (2015), entende-se por hipótese nula (H_0) como sendo a hipótese que está sendo testada, ou seja, admitta-se que a diferença entre o

valor obtido na amostra (estimador) e o parâmetro da população não é significativa, sendo assim, fato ocorrido unicamente pelo acaso. Já com relação a hipótese alternativa (H1), o mesmo autor relata que é qualquer hipótese diferente da hipótese nula, isto quer dizer que neste caso é significativa a diferença entre o estimador amostral e o parâmetro populacional, existindo razões além do acaso para explicar esta diferença.

Em resumo, com base nos conceitos anteriores, a Tabela 1 mostra quando a hipótese nula é aceita ou rejeitada.

Tabela 1 – Decisão de aceitar ou rejeitar hipótese nula

	Decisão	
	Aceita H0	Rejeita H0
Coeficiente P-value	p-value > nível de significância	p-value < nível de significância

Fonte: Adaptado de Calegare (2015, p. 2).

Entende-se por nível de significância (α) como sendo o valor limite que se toma como base para afirmar que um certo desvio é decorrente do acaso ou não (CONTI, 2011).

2.3.6 Gráfico de Controle

Os gráficos de controle permitem, de forma geral, o entendimento de como as causas da variação que podem estar presentes em um processo afetam os resultados do mesmo, sendo assim, ferramentas importantes para a quantificação e priorização das causas de variação de um processo (WERKEMA, 2012).

Apesar de um esforço considerável ser especificamente direcionado para controlar a variabilidade em cada um desses fatores, existirá sempre a variabilidade no produto acabado de cada processo de uma empresa. Portanto, é importante que essa variabilidade também seja controlada, para que possam ser fabricados produtos de boa qualidade. Assim, os gráficos (cartas) de controle são ferramentas para o monitoramento da variabilidade e para a avaliação da estabilidade de um processo (WERKEMA, 2014, p. 174).

A importância do uso de gráficos de controle também é destacada por outros autores:

“Controle” significa a capacidade de manter um processo dentro de uma faixa de variação previsível. O objetivo consiste em manter um processo com um desempenho estável e consistentemente positivo. Com o CEP (Controle Estatístico de Processo), estamos introduzindo a noção de controle estatístico na discussão. Assim, para saber se um processo está estatisticamente “sob controle” ou “fora de controle”, é preciso começar a medir o processo ao longo do tempo para então examinar as variações nos dados acumulados. Disposto de dados suficientes, pode-se calcular o que se denomina “Limites de controle”, dando assim o primeiro passo na avaliação de como o processo vem operando (PANDE, NEUMAN, CAVANAGH, 2010).

Dessa forma, um gráfico de controle é composto por (WERKEMA, 2014):

- Uma linha média: esta que representa o valor da média dos valores analisados;
- Um par de limites de controle, representados por um abaixo (limite inferior de controle – LIC) e outro acima (limite superior de controle – LSC) da linha média. Estes que são determinados de forma que, se o processo esteja sob controle, praticamente todos os pontos traçados no gráfico estarão entre estes limites;
- Valores da característica da qualidade traçados no gráfico.

Figura 6 – Exemplo de Carta de controle estatístico (Gráfico de controle).



Fonte: <http://www.portalaction.com.br/controle-estatistico-do-processo/graficos-ou-cartas-de-controle>

Cabe ressaltar que existem dois tipos de gráficos de controle (WERKEMA, 2014):

- Gráficos de controle para variáveis: usado quando a característica da qualidade é expressa por um número em uma escala contínua de medidas;
- Gráficos de controle para atributos: usado quando as medidas representadas no gráfico resultam de contagens do número de itens do produto que apresentam uma característica particular de interesse (atributo).

2.3.8 Capacidade de Processos

As técnicas de controle estatísticos de processo permite a permanência de uma distribuição do processo de forma a não se alterar em termos da média e variância. Através dos limites de controle é possível observar quando a média ou variabilidade do processo se alteram. Entretanto, um processo que está sob controle estatístico pode não estar gerando produtos de acordo com a especificação de projeto, pois os limites de controle são baseados nas médias e na variabilidade da distribuição amostral, e não nas especificações de cliente. Sendo assim, a capacidade de processo se refere à capacidade do processo de satisfazer estas especificações (KRAWJEWSKI, RITZMAN, MALHOTRA, 2010).

Cabe ressaltar que, conforme Werkema (2014), somente processos estáveis devem ter sua capacidade avaliadas, pois caso contrário, esta avaliação não será representativa no âmbito da população.

Para avaliação da capacidade de processo, existem dois tipos de grandezas que podem ser calculadas permitindo assim quantificar o quanto o processo é capaz. Estas razões são (KRAWJEWSKI, RITZMAN, MALHOTRA, 2010):

- Razão de Capabilidade do processo: o resultado desta grandeza mostra se a diferença entre a especificação superior e inferior, chamada de amplitude de tolerância, é maior que seis desvios padrões, este que é calculado como base nos valores encontrados na distribuição que se esteja analisando. Quanto maior for este o valor encontrado, maior será a capacidade do processo. Caso este valor seja menor do que 1, entende-se que o processo não atende a especificação de engenharia (limites inferior e superior).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

Onde:

C_p = Razão de capacidade do processo

LSE = Limite superior de engenharia

LIE = Limite inferior de engenharia

σ = desvio padrão da distribuição de processo

- Índice de Capacidade do processo: o resultado desta grandeza representa a centralização do processo, ou seja, um processo pode ter sua razão de capacidade muito maior do que 1 e estar com sua média deslocada, gerando assim produtos fora da especificação. Sendo assim, o índice de capacidade permite medir a posição que a distribuição se encontra dentro dos limites de engenharia. O valor do índice de capacidade é o valor mínimo encontrado ao ser comparada a média da distribuição com os limites inferior e superior. Quanto maior este valor, maior é a capacidade do processo. Se os dois valores forem iguais, mostra que a média do processo está exatamente no centro entre os limites de engenharia.

$$C_{pk} = \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma} , \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma} \quad (2)$$

C_{pk} = Índice de capacidade do processo

LSE = Limite superior de engenharia

LSI = Limite inferior de engenharia

σ = desvio padrão da distribuição de processo

\bar{x} = média da amostra

3 METODOLOGIA

3.1 Método de Pesquisa

Se tratando que a busca deste trabalho é a redução de um processo indesejado, o método utilizado para a realização deste trabalho é o Estudo de Caso. Conforme Yin (2015, p. 4), “quanto mais suas questões procurarem explicar alguma circunstância presente, mais o método de estudo de caso será relevante”. O autor ainda definiu que o estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo (o “caso”) em profundidade e em seu mundo real.

Partindo da classificação de Stake (1995), o estudo de caso em questão trata-se de um estudo de caso intrínseco, pois há interesse exclusivamente neste caso – aplicação da metodologia Seis Sigma para diminuição de conexões do reservatório de ar que não atendem as especificações na etapa de inspeção final.

3.2 Método de Trabalho

A primeira etapa a ser realizada no trabalho foi a definição do tema. A ideia de escolha era que o assunto:

- Fosse relevante para a empresa, de forma a solução deste, através da metodologia Seis Sigma, pudesse servir de divulgação do método e de suas ferramentas para a companhia, já que atualmente o DMAIC não é utilizado para solução de problemas;
- Obtivesse dados que pudessem ser facilmente analisados por métodos estatísticos;
- Tivesse apoio para formação da equipe de trabalho.

Após a definição do tema, iniciou-se a pesquisa dos assuntos pertinentes ao estudo como metodologia Seis Sigma e suas ferramentas, análises estatística de

dados, normas de padrões de roscas, tipos de defeitos de soldagem, processos de pintura E-coat e a pó.

Com o embasamento teórico, o estudo passou para a etapa de aquisição de dados. Nesta etapa utilizou-se tanto de dados históricos, como índices de problemas detectados nas inspeções quanto de dados adquiridos em estudos anteriormente realizados pelo setor de Engenharia.

O passo seguinte foi a implementação do método DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Implementar melhorias e Controlar). Juntamente com o método, foram utilizados uma série de ferramentas que a metodologia propõe, principalmente na etapa de análise, onde conceitos de estatísticas foram amplamente aplicados.

O último passo foi a realização das considerações finais, juntamente com a determinação das próximas etapas do trabalho e o plano de aplicação das melhorias para que o objetivo de redução de conexões fora da especificação na etapa de inspeção seja reduzido.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa de grande porte do Sul do Brasil, esta que atua no setor metalomecânico produzindo peças para a indústria automobilística, agrícola e rodoviário.

O modelo DMAIC, descrito no Capítulo 2 (2.2 Método DMAIC), e cada fase foi descrita nos itens a seguir.

4.1 Fase Definição

4.1.1 Business Case

A iniciação do projeto Seis Sigma foi a definição do Business. A definição do tema partiu através de uma reunião entre o autor deste trabalho e o Supervisor de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) da empresa. O motivo para a procura deste profissional foi devido a sua experiência em trabalhos acadêmicos e técnicos. Assim, o assunto escolhido para o desenvolvimento do trabalho foi, de certa forma, um dos maiores problemas técnicos que a empresa estava enfrentando. A magnitude deste problema pode ser explicada por vários fatores, dentre eles se destacam:

- Grande número de retrabalho para garantir a especificação de rosca do cliente, necessitando de uma quantidade considerável de pessoas;
- Processo instável e sem controle, este que era expressado pela grande quantidade de produtos rejeitados no posto de inspeção final;
- Insatisfação do cliente, este que, devido aos seus procedimentos de gestão de qualidade, exigiu que empresa terceirizada de sua confiança realizasse inspeções de liberação;
- Demanda de pedidos do cliente em ascensão.

Com este cenário, o projeto teve seu início com o preenchimento da carta de projeto (Item 4.1.10), juntamente com seu respectivo Business Case, este que segue abaixo:

A produção de reservatórios de ar é um dos carros chefe da empresa. Atualmente a empresa produz cerca de 575 reservatórios dia, produzidos em dois turnos, demanda esta que proporciona uma produção de 12650 reservatórios mês. O reservatório é composto por diversas conexões roscadas, estas que servirão para fazer a ligação no sistema pneumático de caminhões, este que é responsável por algumas funcionalidades como, por exemplo, seus sistemas de frenagem. A especificação de rosca, esta que é caracterizada pela tolerância em que esta rosca deve estar, é de 6H ($\pm 0,095$ mm). A dificuldade de garantir a especificação do cliente se dá devido a quantidade de processos que estas conexões passam, como, solda e dois processos de pintura. Atualmente há cerca de 15 pessoas retrabalhando e inspecionando as roscas em 300% para que a especificação seja garantida, porém, mesmo assim, há uma detecção média de 35,6 reservatórios dia na última etapa de inspeção. Com esta quantidade de problemas, o cliente exigiu ainda uma inspeção por empresa terceirizada de sua confiança, custo este que é de cerca de R\$16.000,00 /mês. O custo atual desta quantidade de inspeção e retrabalho adicionados ao processo é de cerca de R\$63.250,00/mês. Somados a este ainda há um custo médio de R\$ 25.052,14 de sucateamento devido a falha de retrabalho. Este problema está impactando diretamente no custo da peça e a satisfação do cliente.

4.1.2 Time de Projeto

A formação do time de projeto foi uma etapa em que se procurou profissionais com alta capacidade técnica e com conhecimento do produto de maneira a formar uma equipe multifuncional capaz de solucionar o problema em questão. O time de projeto contou com diversos supervisores, engenheiros e técnicos, fato este que proporcionou uma facilidade de realização das fases seguintes, pois, devido à gravidade e preocupação da empresa com um todo, o time obtinha total apoio de gerência e direção.

Desta forma, o time foi formado com 11 profissionais, onde o autor deste trabalho foi responsável pela orientação e aplicação da metodologia Seis Sigma e suas respectivas ferramentas.

Tabela 2 – Membros do projeto.

Time projeto Seis Sigma	
Papel	Cargo
Champion	Supervisor de P&D
Process Leader	Supervisor de Engenharia
Black Belt	Supervisor de Produção - Estamparia
Members	Engenheiro de P&D
	Supervisor de Solda
	Supervisor de Produção - Solda
	Supervisor de Produção - Pintura
	Supervisor de Produção - Pintura
	Técnico de Usinagem
	Líder de Inspeção
	Técnico de programação torno CNC

Fonte: Elaborado pelo autor.

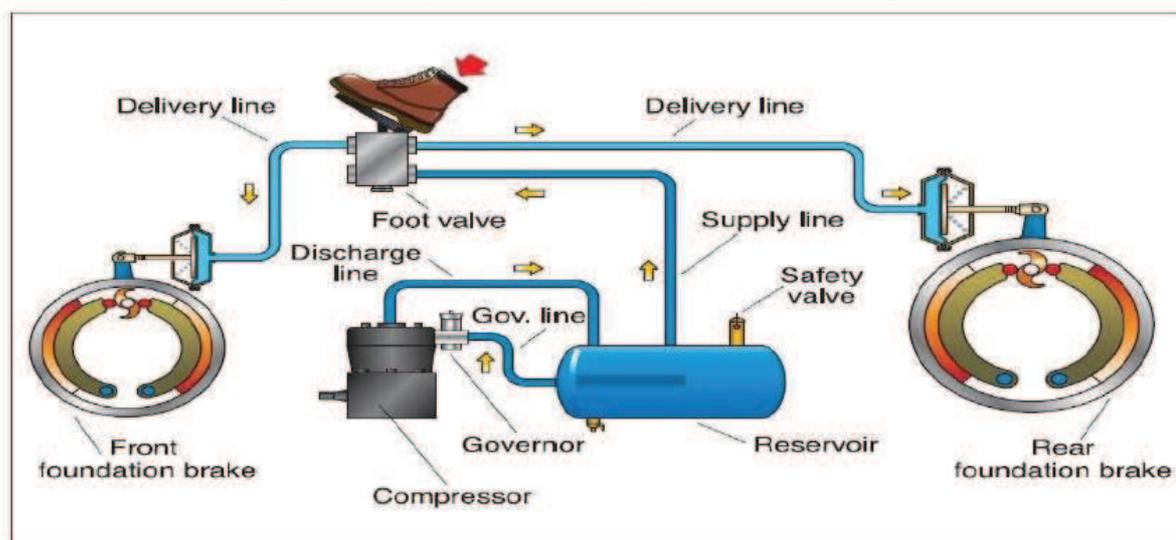
Também foi acordado que a equipe se reuniria semanalmente para que houvesse um alinhamento entre as atividades e ações que cada membro estivesse realizando. Esta reunião foi marcada para todas as terças-feiras às 11h da manhã.

4.1.3 Reservatório de ar e seus componentes

Os reservatórios de ar são estruturas de aço e que são utilizados em veículos do segmento rodoviário para armazenar ar comprimido, ar este que possibilita o funcionamento dos freios, já que estes tipos de veículos utilizam um sistema pneumático para realizar o acionamento do freio e do freio de estacionamento. O ar comprimido armazenado é gerado pelo compressor, este que possui uma capacidade

de produção de ar limitada. Sendo assim, o reservatório garante ao sistema de frenagem pressão e volume de ar para o mantimento da capacidade de frenagem.

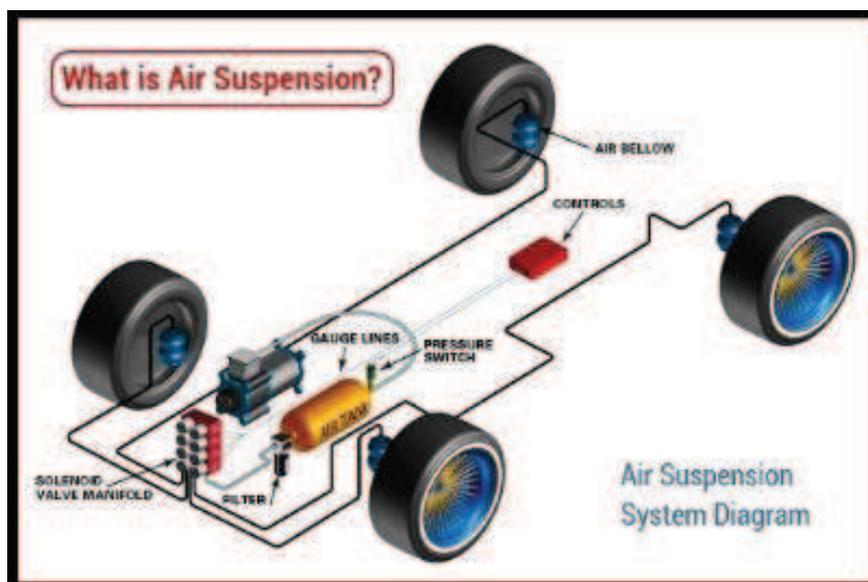
Figura 7 – Esquema do sistema pneumático de frenagem.



Fonte: <http://www.jrctransportation.net/driver-safety/truck-air-brake-system-part-1/>

Além disso, os reservatórios também são utilizados para armazenar ar comprimido da suspensão em veículos que possuem este tipo de mecanismo.

Figura 8 – Esquema da suspensão pneumática.



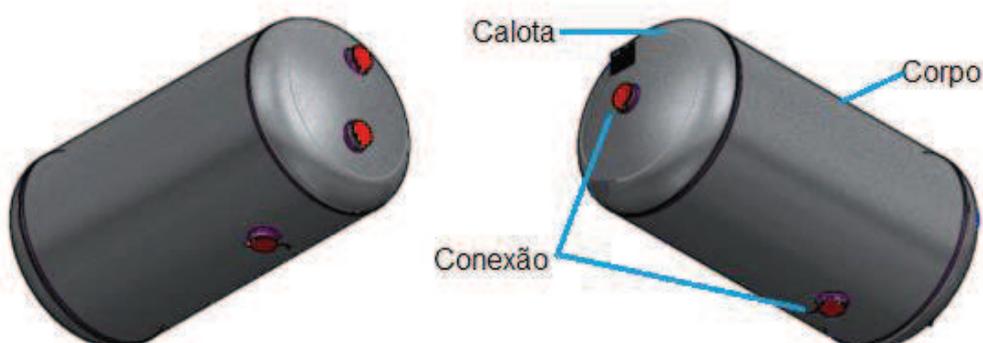
Fonte: http://www.buyautoparts.com/howto/what_is_air_suspension.htm

Os reservatórios de ar fabricados pela empresa de realização do estudo de caso são compostos por basicamente três tipos de peças:

- Calota: as calotas são as extremidades dos reservatórios. Normalmente as calotas possuem ao menos uma conexão, porém há tipos de reservatórios que possuem uma calota sem conexão esta que é conhecida como “calota cega”. O processo de fabricação das calotas consiste basicamente no repuxo da forma e no estampo do(s) furo(s), quando este existir.
- Corpo: o corpo do reservatório é a parte que proporciona o maior volume de armazenagem. Conforme o modelo ele pode variar em diâmetro e comprimento. Seu processo de fabricação consiste basicamente em calandrar uma chapa e solda-la longitudinalmente de maneira a formar um cilindro. O furo onde a conexão é soldada é feito na chapa, ou seja, antes do processo de calandra. Sempre há ao menos uma conexão, esta que é soldada logo após a solda longitudinal.
- Conexões: as conexões são produzidas a partir da usinagem de barras roscadas em torno CNC. O processo de usinagem consiste basicamente em faceamento, furação, ciclo de rosqueamento com ferramenta e corte. Todos os

diversos tipos de reservatórios são feitos com apenas dois tipos de conexão, cuja variação é somente na altura, sendo ambas com rosca milimétrica de 22mm de diâmetro e passo de 1,5mm (M22x1,5mm). Tanto o processo de solda das conexões nas calotas como no corpo é feito em robô de solda.

Figura 9 – Partes que compõem um reservatório de ar.



Fonte: Desenho técnico da empresa.

4.1.4 Dificuldade para atender a especificação de rosca das conexões

Como já dito, as conexões possuem uma rosca M22x1,5mm, porém além disso há especificação de rosca, que neste caso é 6H. Esta especificação, presente no projeto do cliente, diz que a tolerância do diâmetro primitivo da rosca pode variar $\pm 0,095$ mm. A verificação se esta rosca está dentro da especificação é feita através de um dispositivo passa/não passa (PNP). Este tipo de dispositivo consiste em uma haste onde em uma de suas extremidades há uma rosca com a especificação inferior da rosca, esta que por sua vez deve rosquear na conexão até o fim. Já na outra extremidade, há uma rosca que é imediatamente superior ao limite superior da especificação, dessa forma ele não deve rosquear na conexão.

Figura 10 – Foto de um PNP de rosca interna.



Fonte: Foto feita pelo autor.

Ao longo do processo de produção dos reservatórios as conexões passam por diversos processos como solda, jato e dois tipos de pintura. Estes processos de alguma forma alteram a condição inicial da conexão fazendo com que as mesmas não atendam a especificação do cliente.

É fato que esta dificuldade sempre existiu, porém, através de um acerto com os clientes, as conexões não eram verificadas com o PNP 6H e sim com um simulador de montagem com tolerância de 6g, este que representa exatamente a peça que é montada no cliente na conexão. Como este simulador obtinha uma especificação inferior menor ele, de certa forma, montava na maioria das vezes, fazendo com que a verificação fosse fácil, gerando uma parcela de reservatórios a serem retrabalhados muito baixa.

Porém, atualmente houve uma exigência de uma cliente em específico que o padrão de verificação fosse o PNP 6H, ou seja, exatamente o que foi especificado em projeto.

Desde que esta exigência foi feita, a verificação ficou mais dificultosa e o retrabalho cresceram ao ponto de ser em 100% em um determinado ponto do processo. Além disso, o retrabalho nas conexões, este que é repassar o macho, gerou um modo de falha no produto, que é a presença de cavaco dentro do reservatório. Este modo de falha tornou o processo de retrabalho ainda mais demorado, pois além de repassar o macho, o reservatório deve ser inspecionado novamente para garantir que não há cavaco dentro do reservatório, caso houver, o mesmo deve ser removido. Porém, tanto o processo de verificação da presença de cavaco quanto a sua remoção

são de extrema dificuldade, pois esta detecção e retirada de cavaco somente é possível através das conexões, estas que possuem diâmetro de cerca de 20mm.

Somada a este problema, houve ainda a exigência do mesmo cliente de uma empresa terceirizada inspecionasse 100% dos reservatórios, de forma a garantir que a especificação seja garantida, sendo este custo incorporado de certa forma ao custo de produção da peça. A condição para extinção desta empresa terceirizada é que em 3 meses a mesma não possa encontrar problema algum nos reservatórios, dessa forma, qualquer problema encontrado zera o contador de dias.

4.1.4 Processo atual de inspeção

Para garantir a especificação de cliente, a empresa teve a necessidade de adicionar pontos extras de verificação e retrabalho. Estes pontos são:

- Após pintura E-coat: nesta etapa foram adicionadas 6 pessoas para realizar o processo de verificação com PNP 6H e retrabalho das roscas;
- No setor de liberação: para esta etapa foram adicionadas cerca de 9 pessoas que realizam novamente a inspeção de todas as roscas das conexões e retrabalho das reprovadas.
- Empresa terceirizada: nesta etapa há cerca de 4 pessoas trabalhando em dois turnos. Esta equipe realiza somente a inspeção, caso alguma peça não conforme seja encontrada, esta retornará ao processo anterior.

Figura 11 – Foto do setor de retrabalho e inspeção criado.



Fonte: Foto feita pelo autor.

4.1.5 Custos da não qualidade – COPQ (*Coast of poor Quality*)

Conforme descrito, os processos de retrabalho e inspeção adicionados além do aumento do sucateamento de peças, geraram um elevado custo sobre o produto. Este custo mensal, levando em consideração somente as pessoas adicionadas na inspeção e retrabalho e tomando como base o piso salarial da empresa, além de um custo médio dos reservatórios sucateados, pode ser estimado conforme Tabela 3:

Tabela 3 – Custo da não qualidade.

Processo	Valor
Inspeção e Retrabalho	R\$47.250,00
Inspeção de terceiro	R\$16.000,00
Reservatórios sucateados	R\$ 25.052,14
Total	R\$88.302,14

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante destacar que para o custo de retrabalho está sendo considerado somente o custo gerado no retrabalho das conexões. Não foram considerados custos relativo a retrabalhos por outros motivos, como, por exemplo, problemas de pintura.

Com relação ao sucateamento, o custo demonstrado é o custo médio mensal total de sucateamento após o acréscimo das inspeções e retrabalho das conexões.

Assim, o custo de sucateamento de reservatórios por motivos diferentes ao de não atingir a especificação de rosca das conexões está somado a este valor.

4.1.6 Definição da meta do projeto

A definição da meta de projeto foi realizada com toda a equipe, formando assim uma ideia consensual de todos. Sendo assim, a meta deste projeto será em reduzir o custo de retrabalho e inspeção em 50%. É importante destacar que esta meta foi baseada na situação anterior as inspeções com PNP, ou seja, na forma em que o processo estava antes da reclamação de cliente. Além disso, esta meta também levou em consideração, pela experiência da equipe, que a eliminação total de produtos fora da especificação da rosca na inspeção final seria muito improvável, principalmente levando em conta a atual situação.

4.1.7 Ganhos qualitativos com a meta

Além dos ganhos monetários com a redução da inspeção, retrabalho e sucateamento, ao atingir a meta proposta, o projeto trará outros ganhos, como:

- Maior conhecimento do processo de forma a serem levantadas todas as variações significativas deste;
- Conhecer a capacidade atual dos processos que geram influência na formação na solda das conexões;
- Verificar a influência da solda no processo de fabricação;
- Propor soluções de melhoria para a redução do retrabalho;
- Tornar o processo produtivo confiável de forma a convencer o cliente a remover a inspeção terceirizada;
- Atingir a satisfação do cliente aumentando a credibilidade dele no processo de fabricação de reservatórios da empresa;

4.1.8 Métricas do projeto Seis Sigma

Como métrica primária do projeto Seis Sigma foi definido o número de peças fora da especificação de rosca na etapa de inspeção final. Este indicador é atualizado diariamente pelo setor responsável pela inspeção. É fato que este não seria o mais adequado, pois ele é suscetível a variação da produção da peça em questão, porém, este já estava sendo utilizado quando este projeto teve início.

Desdobrando a métrica principal, foi possível estabelecer as métricas secundárias que foram: COPQ (*Cost of Poor Quality*) e o número de pessoas no processo de inspeção e retrabalho, estes que estão indiretamente ligados.

$$COPQ (R\$) = NP \times Sal + NPS \times CM \quad (3)$$

Onde:

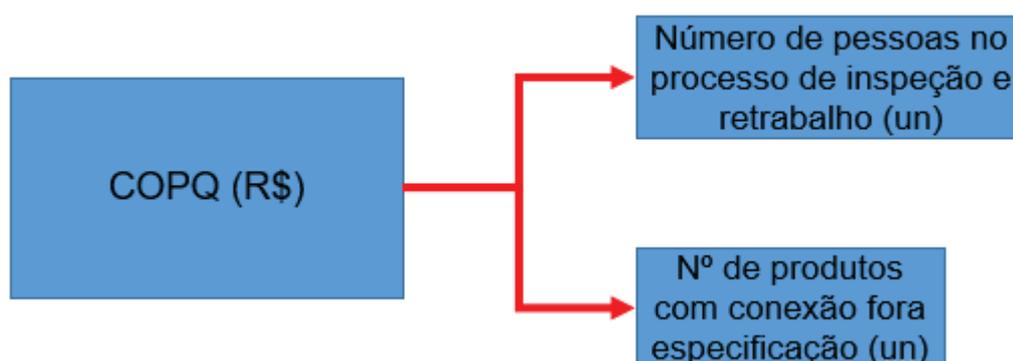
NP = número de pessoas no processo de inspeção e retrabalho

Sal = salário médio mais encargos

NPS = número de peças sucateadas

CM = custo médio dos reservatórios de ar

Figura 12 – Desdobramento métricas do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desta forma, estima-se que este projeto irá realizar um *Saving* anual de cerca de R\$529.812,84 este tomando como base a produção média mensal dos reservatórios e o número médio atual de sucateamento.

4.1.9 Cronograma

Para se possibilitar um controle das fases do projeto, um cronograma foi confeccionado. Neste cronograma se utilizou o controle de semanas do ano, isto que possibilita um melhor controle, além de permitir uma melhor divisão das fases, já que devido ao tamanho deste problema para a empresa, o mesmo deve ser solucionado de forma emergencial.

Tabela 4 – Cronograma do projeto

Etapas do projeto	Mês	Julho				Agosto					Setembro				Outubro				Novembro				Dezembro				
	Semana	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Definir																											
Medir																											
Analisar																											
Incrementar																											
Controlar																											

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.10 Carta de Projeto

Após todas as definições geradas através de seções de Brainstorming e análise dos dados obtidos, a Carta de Projeto foi formalizada.

Redução dos custos de retrabalho e inspeção para atender a especificação de rosca das conexões de reservatórios de ar

Figura 13 – Carta de projeto.

Project Charter		Date:	
Project title	Redução dos custos de retrabalho e inspeção para atender a especificação de rosca das conexões de reservatórios de ar.		
Time line	Start date:	04/jul/17	Projected completion date: 30/dez/17
Champion	Name: Supervisor de P&D	Department: Pesquisa e Desenvolvimento	
Council/Leadership Group	Council Owner:		
Team	Name:	Department:	Role & Committed Resources Allocation
Process Leader/Owner	Supervisor de Engenharia	Engenharia	
Black/Greenbelt	Supervisor de Produção - Estamparia	Produção	
Members	Especialista P&D	Pesquisa e Desenvolvimento	
	Supervisor de Solda	Engenharia	
	Supervisor de Produção - Solda	Produção	
	Supervisor de Produção - Pintura	Produção	
	Técnico Usinagem	Produção	
	Lider de Inspeção	Produção	
	Técnico Programador CNC	Engenharia	
Support Group		Analista de Qualidade	
		Engenheiro de Processos - Pintura	
		Técnico de produção - Solda	

Description		
Business Case Situation	A produção de reservatórios de ar é um dos carros chefe da empresa. Atualmente a empresa produz cerca de 575 reservatórios dia, produzidos em dois turnos, demanda esta que proporciona uma produção de 12650 reservatórios mês. O reservatório é composto por diversas conexões roscaadas, estas que servirão para fazer a ligação no sistema pneumático de caminhões, este que é responsável por algumas funcionalidades como, por exemplo, seus sistemas de frenagem. A especificação de rosca, esta que é caracterizada pela tolerância em que esta rosca deve estar, é de 6H ($\pm 0,035$ mm). A dificuldade de garantir a especificação do cliente se dá devido a quantidade de processos que estas conexões passam, como, solda e dois processos de pintura. Atualmente há cerca de 13 pessoas retrabalhando e inspecionando as roscaas em 300% para que a especificação seja garantida, porém, mesmo assim, há uma detecção média de 35,6 reservatórios dia na última etapa de inspeção. Com esta quantidade de problemas, o cliente exigiu ainda uma inspeção por empresa terceirizada de sua confiança, custo este que é de cerca de R\$16000,00 /mês. O custo atual desta quantidade de inspeção e retrabalho adicionados ao processo é de cerca de R\$63.250,00/mês. Somados a este ainda há um custo médio de R\$ 25.052,14 de sucateamento devido a falha de retrabalho. Este problema está impactando diretamente no custo da peça e a satisfação do cliente.	
Scope	In:	Out:
	Alto custo de retrabalho e inspeção devido ao processo não garantir a especificação de rosca nas conexões	Processo mais estabilizado de forma a garantir a especificação de rosca do cliente.
Goals & Objectives	Reduzir o custo de retrabalho e inspeção para atender a especificação de rosca nas conexões do reservatório de ar em 50%.	
Other Deliverables	<ul style="list-style-type: none"> • Maior conhecimento do processo de forma a serem levantadas todas as variações significativas deste; • Conhecer a capacidade atual dos processos que geram influência na formação na solda das conexões; <ul style="list-style-type: none"> • Verificar a influência da solda no processo de fabricação; • Propor soluções de melhoria para a redução do retrabalho; • Tornar o processo produtivo confiável de forma a convencer o cliente a remover a inspeção terceirizada; • Atingir a satisfação do cliente aumentando a credibilidade dele no processo de fabricação de reservatórios da empresa; 	

Project Steps	Phase	Deadline	Deliverables / Tools
	AIM - Project Launch	4-Jul-17	Definição do time
			Reunião de abertura de projeto
			Definição das responsabilidades da equipe e data e frequência das reuniões
	D efinition	16-Jul-17	Preenchimento da carta de projeto
			Estabelecimento das métricas do projeto
			Definição de cronograma
	M easurement	6-Aug-17	Mapeamento do processo (SIPDC)
			Identificação das possíveis causas raízes.
			Priorização das possíveis causas do problema
			Estabelecimento e acompanhamento do plano de medição de processo.
	A nalysis	3-Sep-17	Análise de normalidade dos dados
			Análise através dos dados coletados do lote de acompanhamento da influência das possíveis causas levantadas na matriz de priorização
	I mprovement	30-Sep-17	Propor as melhorias e colocá-las em um cronograma juntamente com seu respectivo responsável.
C ontrol	30-Dec-17	Implementar as melhorias conforme processos e normas da empresa.	
		Definir a forma de controle do processo	
R eplicate Review		Acompanhar o processo verificando a eficácia da solução proposta.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

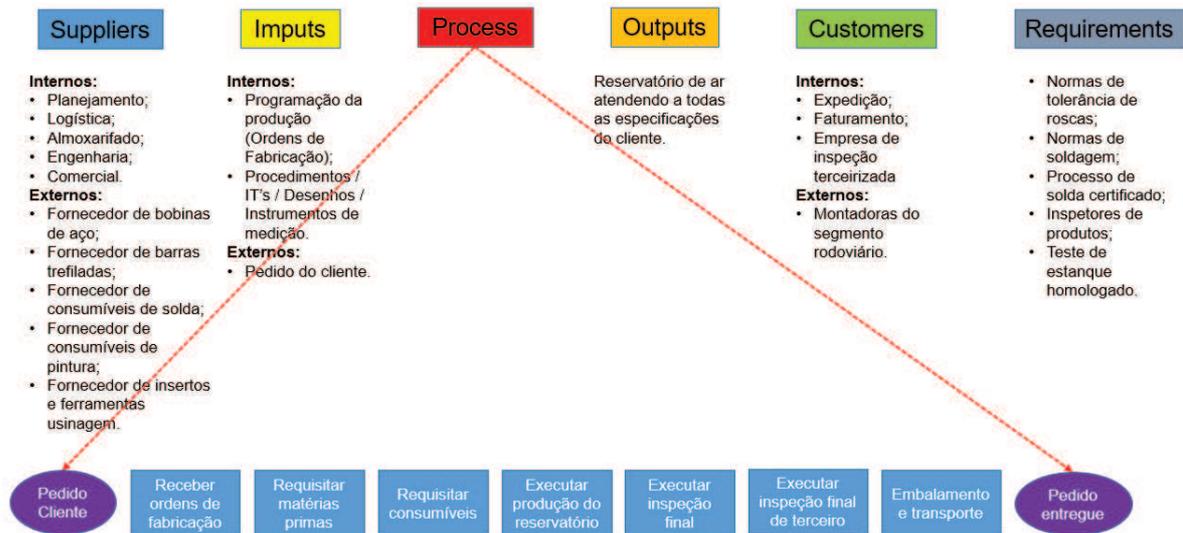
4.2 Fase Medição

Com a fase de definição concluída, a fase de medição do projeto Seis Sigma foi iniciada.

4.2.1 Mapeamento do Processo

Para entendimento do processo produtivo de reservatórios de ar, de forma a possibilitar a identificação onde e em quais processos teriam que ser investigados para que soluções fossem propostas, um mapeamento do atual processo de produção foi realizado. Para este mapeamento, foi utilizado primeiramente o Mapa de processo de Alto Nível (SIPOC – Supplier – Input – Process – Output – Customer), de forma a proporcionar um entendimento macro do processo de produção de reservatório de ar.

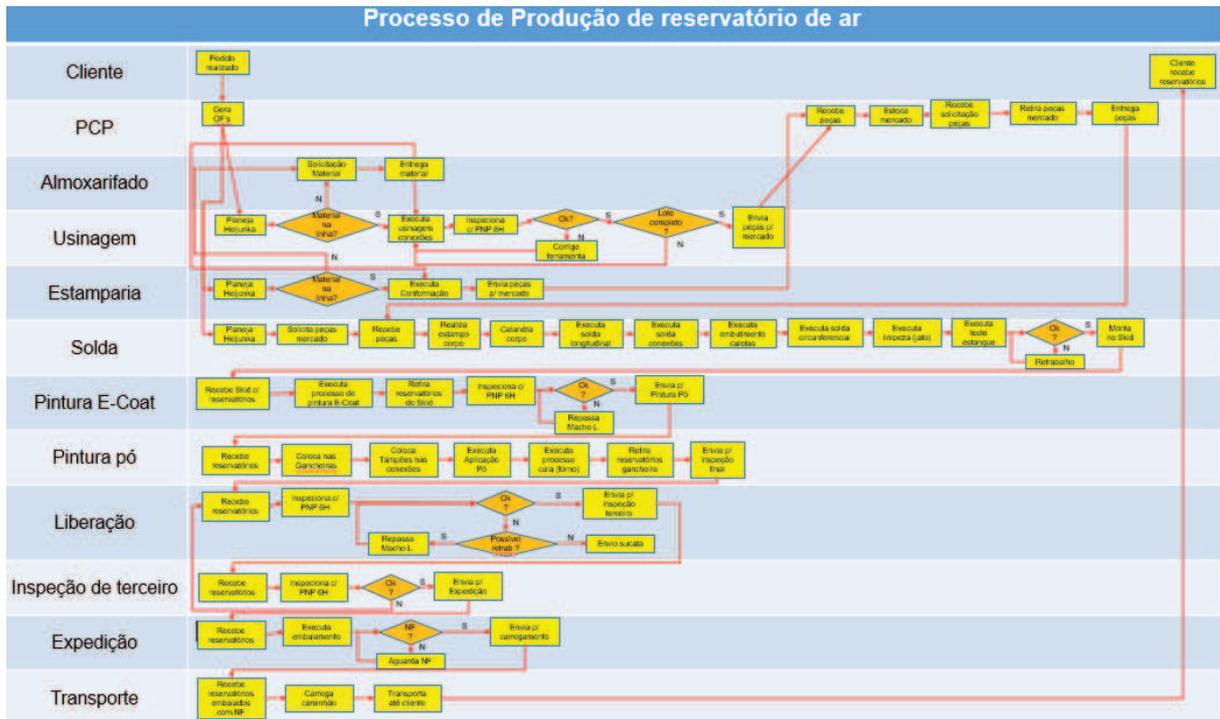
Figura 14 – SIPOC do processo de fabricação de reservatórios de ar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em contrapartida, devido a complexidade do processo e para que se tivesse um conhecimento mais fundamentado do processo, houve a necessidade da realização de um mapeamento de processo funcional com uso de raias, onde cada raia representa um setor envolvido no processo de fabricação de reservatório de ar. A representação real do processo foi buscada de forma a facilitar a análise do processo.

Figura 15 – Mapa do processo de produção de reservatórios de ar.



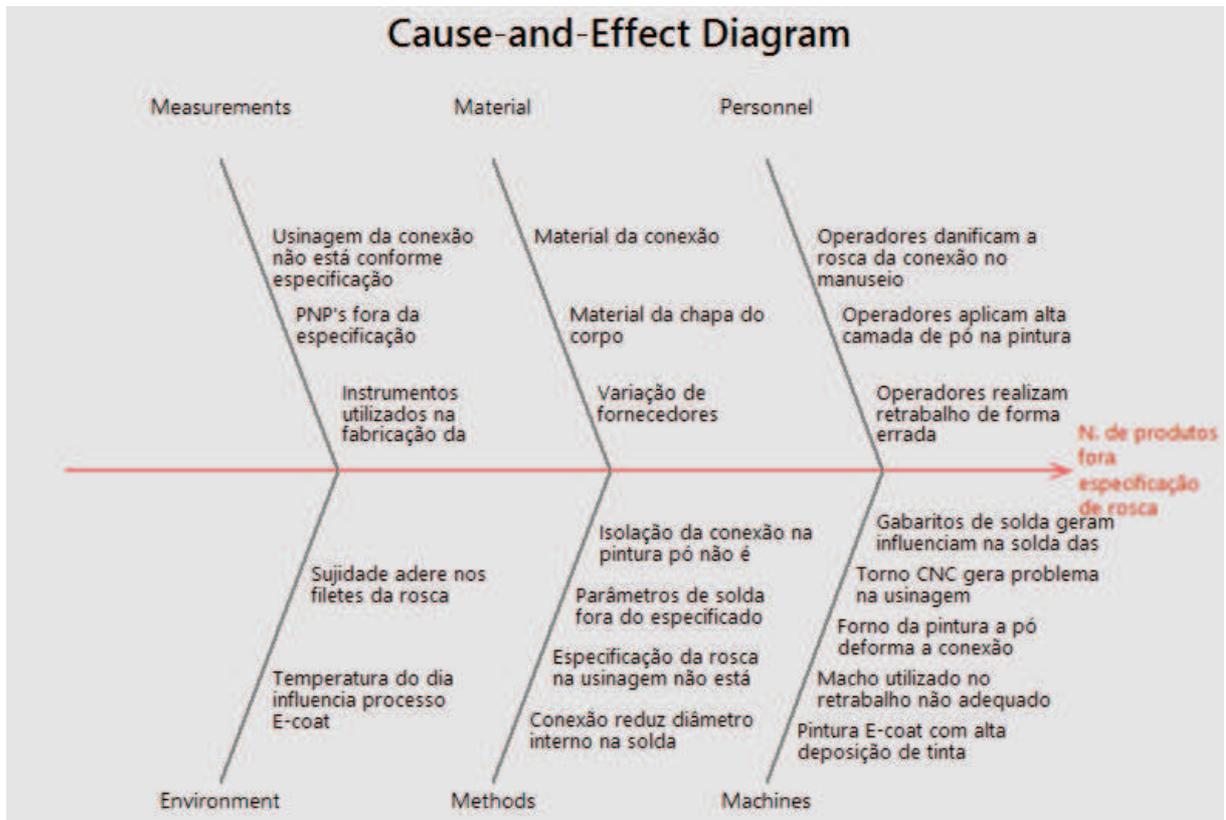
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Diagrama Ishikawa

O próximo passo realizado no projeto foi a elaboração do Diagrama de Ishikawa. Sua confecção foi feita em reunião que envolveu praticamente todos os membros da equipe. Também houve uma preparação prévia do autor deste trabalho que buscou vivenciar o processo de fabricação dos reservatórios de maneira a compreender todas as suas etapas. Além disso, neste acompanhamento houve uma ênfase nas conversas com líderes e operadores, para que detalhes não explícitos do processo fossem conhecidos.

No diagrama Ishikawa buscou-se identificar as possíveis causas para haver um alto custo na inspeção, retrabalho e sucateamento das peças em questão. Sua elaboração foi feita através de *Brainstorming* da equipe, tomando como base as causas do “6M’s”: mão-de-obra, método, material, máquina, medição e meio ambiente. Sendo assim, o diagrama de causa efeito realizado pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Diagrama de Ishikawa: Número de produtos fora da especificação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.4 Matriz de Priorização XY

Após a identificação das possíveis causas que podem ser responsabilizadas pelo número de reservatórios com conexões que não atendem a especificação do cliente sem a realização de retrabalho na última inspeção do processo, há a necessidade de classificar quais são os X's (causas) que mais geram influencia sob o Y (efeito) em estudo.

Para que isso fosse realizado com uma metodologia que facilitasse a correta classificação, foi utilizada a *Matriz de Priorização XY*, esta que consiste primeiramente em elencar pesos para os Y's em questão e após pontuar cada possível causa com relação a estes efeitos.

Tabela 5 – Matriz de priorização XY.

Demo		Process:					Ranking Scale:
Delete		Date:					1- none, 3- marginal, 9-
View Summary			1	2	3	7	
Output Variables (Ys)		Description	N. de produtos fora especificação de rosca	COPG	N. de pessoas no processo de		
ht			10	8	5		
Input Variables (Xs)							Ranking
1	Material da conexão		1	1	1		23
2	Material da chapa do corpo		1	1	1		23
3	Variação de fornecedores		3	1	1		43
4	Operadores danificam a rosca da conexão no manuseio		3	3	3		69
5	Operadores aplicam alta camada de pó na pintura		3	1	1		43
6	Operadores realizam retrabalho de forma errada		3	3	3		69
7	Conexão reduz diâmetro interno na solda		9	9	9		207
8	Especificação da rosca na usinagem não está correta		9	9	3		177
9	Parâmetros de solda fora do especificado		3	3	1		59
10	Isolação da conexão na pintura pó não é suficiente		9	3	3		129
11	Pintura E-coat com alta deposição de tinta		9	9	3		177
12	Macho utilizado no retrabalho não adequado		3	3	3		69
13	Forno da pintura a pó deforma a conexão		1	1	1		23
14	Torno CNC gera problema na usinagem		1	3	1		39
15	Gabaritos de solda influenciam a solda das conexões		9	3	3		129
17	PNP's fora da especificação		3	1	3		53
18	Instrumentos utilizados na fabricação da conexões na usinagem fora da calibração		1	1	1		23
19	Temperatura do dia influencia processo E-coat		1	1	1		23
20	Sujidade adere nos filetes da rosca		3	3	3		69
							1447

Fonte: Elaborado pelo autor.

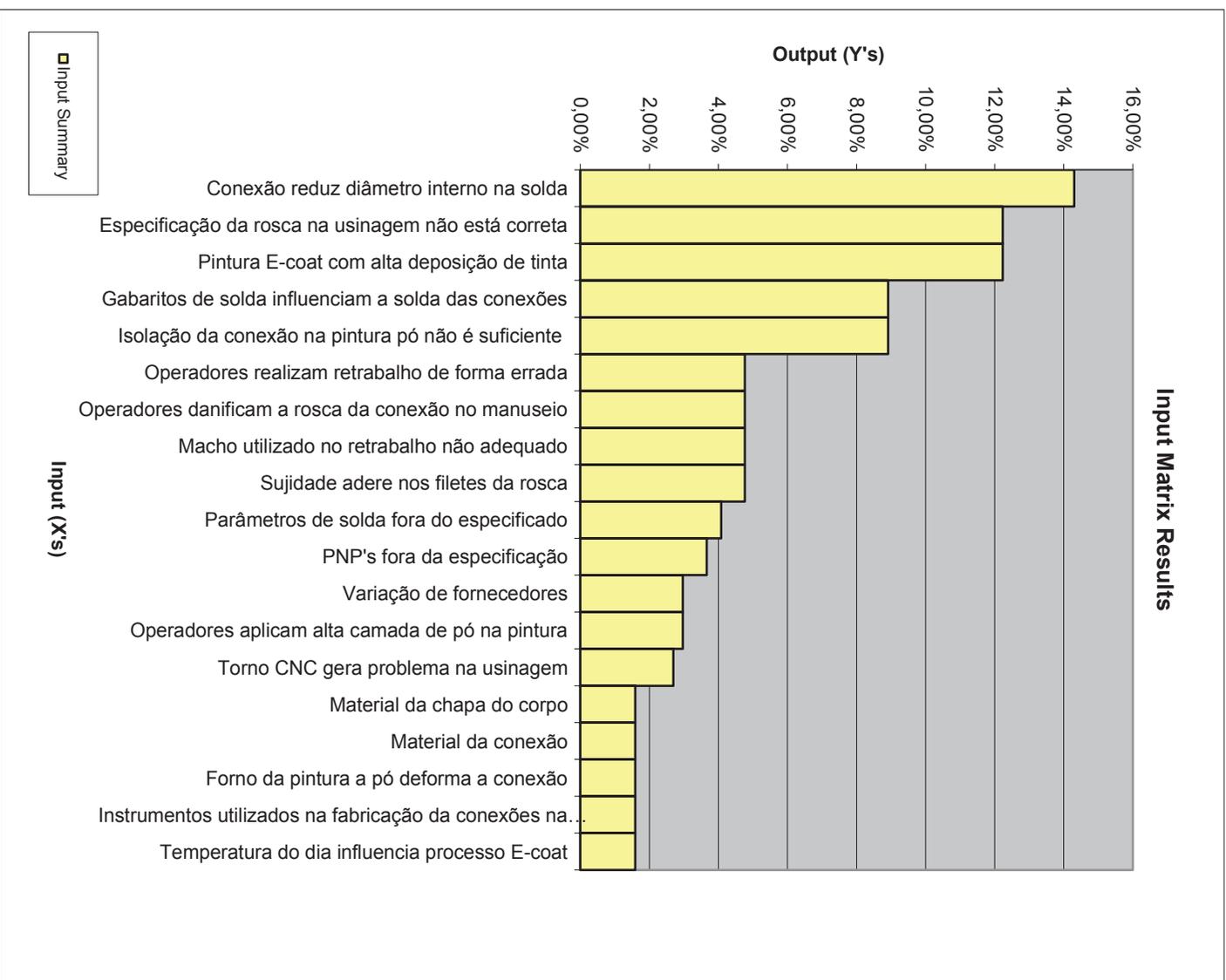
Após a finalização da pontuação, esta feita por membros da equipe de projeto, foi possível listar quais são os X's que geram mais influência sob os Y's. Este resultado pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Resumo matriz de priorização XY.

Input Variables		
Description	Ranking	Rank %
Conexão reduz diâmetro interno na solda	207	14,31%
Especificação da rosca na usinagem não está correta	177	12,23%
Pintura E-coat com alta deposição de tinta	177	12,23%
Gabaritos de solda influenciam a solda das conexões	129	8,91%
Isolação da conexão na pintura pó não é suficiente	129	8,91%
Operadores realizam retrabalho de forma errada	69	4,77%
Operadores danificam a rosca da conexão no manuseio	69	4,77%
Macho utilizado no retrabalho não adequado	69	4,77%
Sujidade adere nos filetes da rosca	69	4,77%
Parâmetros de solda fora do especificado	59	4,08%
PNP's fora da especificação	53	3,66%
Variação de fornecedores	43	2,97%
Operadores aplicam alta camada de pó na pintura	43	2,97%
Torno CNC gera problema na usinagem	39	2,70%
Material da chapa do corpo	23	1,59%
Material da conexão	23	1,59%
Forno da pintura a pó deforma a conexão	23	1,59%
Instrumentos utilizados na fabricação da conexões na usinagem fora da calibração	23	1,59%
Temperatura do dia influencia processo E-coat	23	1,59%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Sendo assim, com base no resultado da matriz de priorização foi possível constatar 5 possíveis causas que seriam as principais responsáveis pelos efeitos em questão. As outras variáveis não foram destacadas totalmente, porém, estas ficarão em segundo plano nos próximos passos deste projeto. Uma representação gráfica do resultado da matriz de priorização XY pode ser observada na Figura 17.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 – Pareto das possíveis causas raízes do problema.

4.2.5 Plano de acompanhamento e medição dos processos de fabricação

Através do mapeamento do processo, que proporcionou uma visão mais ampla do processo, o autor deste trabalho foi em busca de informações de controles, estudos ou quaisquer outras possibilidades que levasse a investigação do problema em questão. Sendo assim, com a necessidade de se ter dados para que se pudessem ser analisados com as ferramentas da metodologia Seis Sigma, percebeu-se que haviam uma série de dados confusos, não organizados e que, possivelmente, teriam erros de medição.

Com este cenário, foi elaborado então, com ajuda do *Champion* deste projeto, um plano de acompanhamento e medição de todos os processos de fabricação dos reservatórios de ar. Este plano consistia basicamente em acompanhar e medir todas as variáveis que pudessem ser medidas na produção de uma quantidade de 20 reservatórios de ar, desde a produção de componentes até a inspeção final no processo de liberação (após pintura a pó). As medições se deteriam principalmente nas roscas, através do uso de PNP's, porém também se teve um cuidado de medir todas as dimensões que pudessem influenciar na especificação final destas, principalmente as possíveis influências dos fatores, elencados na matriz de priorização, causadores do problema. Para este estudo foi escolhido o reservatório que possui a maior demanda, facilitando assim a possibilidade de utilização da linha de produção para os testes.

Sendo assim, foi montado um plano de medições para o lote de teste 01, este que pode ser observado na Tabela 7:

Tabela 7 – Etapas de medição do lote de acompanhamento de processo.

Peças	Etapas de Medição				
	Antes da Solda	Após a Solda	Após o jato	Após E-coat	Após pintura pó
Corpo	Furo do estampo (Micrômetro)	Furo do estampo em dois eixos (Paquímetro)	***	***	***
Calota	Furo do estampo (Micrômetro)	***	***	***	***
Conexão Usinagem	PNP 8	PNP 8	PNP 8	PNP 8	PNP 8
	PNP 7	PNP 7	PNP 7	PNP 7	PNP 7
	PNP 6	PNP 6	PNP 6	PNP 6	PNP 6
	Diâm. Interno (Micrômetro)	Diâm. Interno (Micrômetro)	***	***	***
	Diâm. Externo (Micrômetro)	Defeitos de solda (Visual)	***	***	***
	Altura (Paquímetro)	***	***	***	***
GAP	Valor [mm] (Lâminas de calibração)	***	***	***	***
	Posição (Identificação da posição de solda - gabarito)	***	***	***	***

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todas as medições realizadas foram feitas com instrumentos com certificado de calibração válidos, com exceção da medida de GAP de solda. Realizar esta medida foi um desafio, pois não se conseguia instrumentos de medição que pudessem ser utilizados. A solução encontrada foi a utilização de lâminas de calibração, estas que proporcionaram a medição de GAP's uma resolução de 0,1mm, já que esta era a menor espessura de laminas que se dispunha. Na Figura 18 é possível observar a foto das lâminas utilizadas, assim como algumas fotos das medições que foram feitas.

Figura 18 – Foto das lâminas de calibração.



Figura 19 – Foto da medição de GAP de solda com lâminas de calibração.



Figura 20 – Foto da medição do diâmetro do furo do estampo após calandra e solda longitudinal.



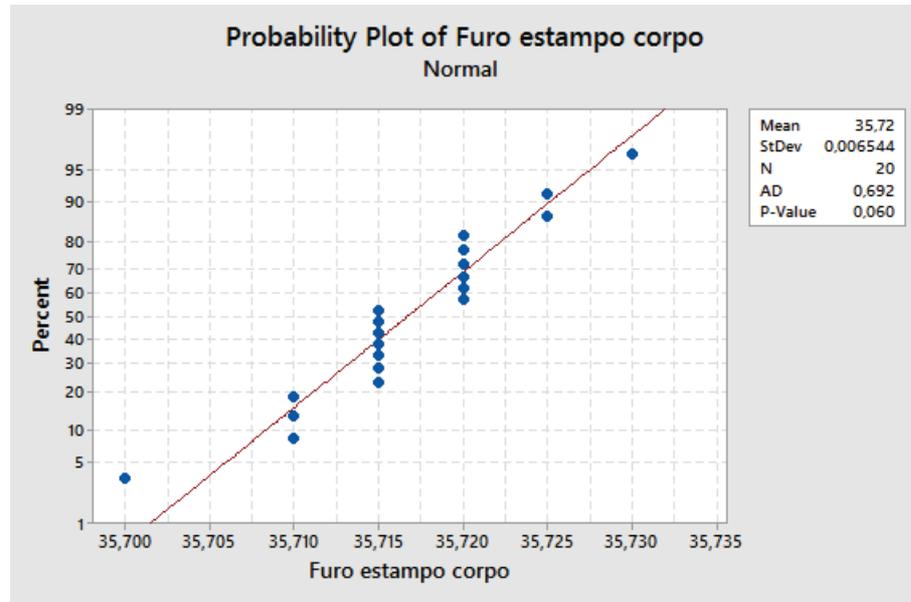
Fonte: Fotos feitas pelo autor.

4.2.6 Teste de Normalidade para as medições

Para que a decisão da maneira correta de analisar os dados fosse tomada, foram feitos testes de normalidade dos dados contínuos obtidos através das medições de processo. Para os testes de normalidade foi utilizado o método de *Anderson Darling* presente no software Minitab. Os testes de normalidade podem ser observados a seguir.

- a) Furo do estampo do corpo: Embora os dados apareçam com um certo empilhamento, fato que demonstra um problema de resolução, o coeficiente p-value foi maior que 0,05, considerando assim os dados como normais.

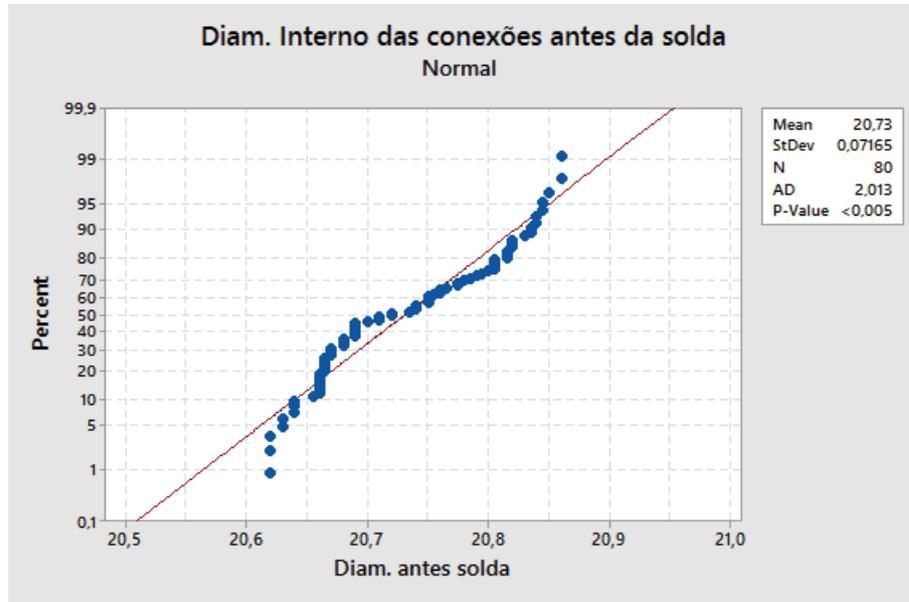
Figura 21 – Gráfico da distribuição de frequência das medidas do furo do estampo do corpo.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

- b) Diâmetro interno da conexão: Analisando todas as conexões do lote 01 de acompanhamento do processo de produção, observa-se que os dados não seguem uma distribuição normal. As investigações desta causa serão avaliadas na próxima fase da metodologia.

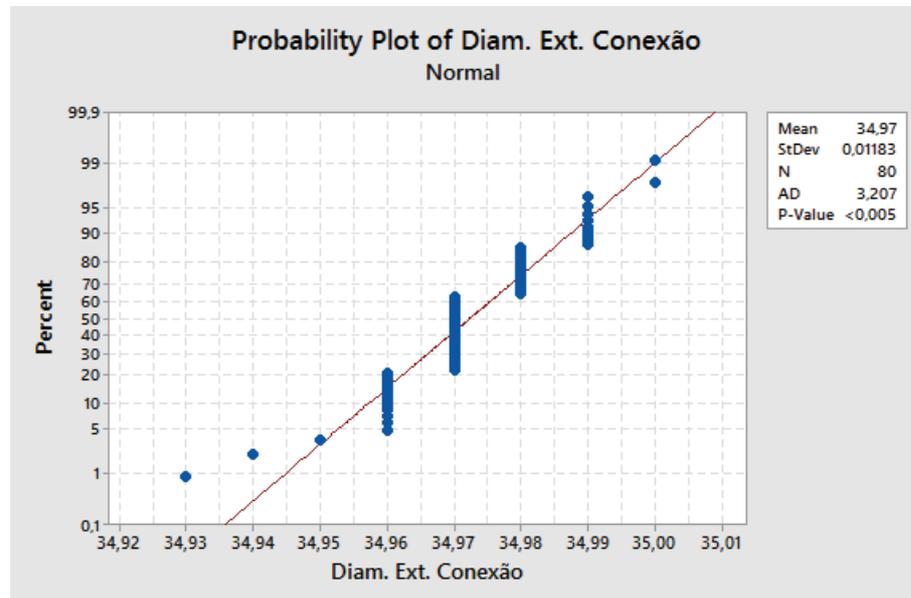
Figura 22 – Gráfico da distribuição de frequência das medidas do diâmetro interno das conexões antes da solda.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

- c) Diâmetro externo da conexão: as medidas realizadas não podem ser consideradas uma distribuição normal devido ao coeficiente p-value ser menor que 0,05. Analisando o gráfico, percebe-se que o problema da não normalidade do gráfico pode ter sido causada pela falta de resolução do instrumento de medição utilizado, já que há um empilhamento demasiado nos dados.

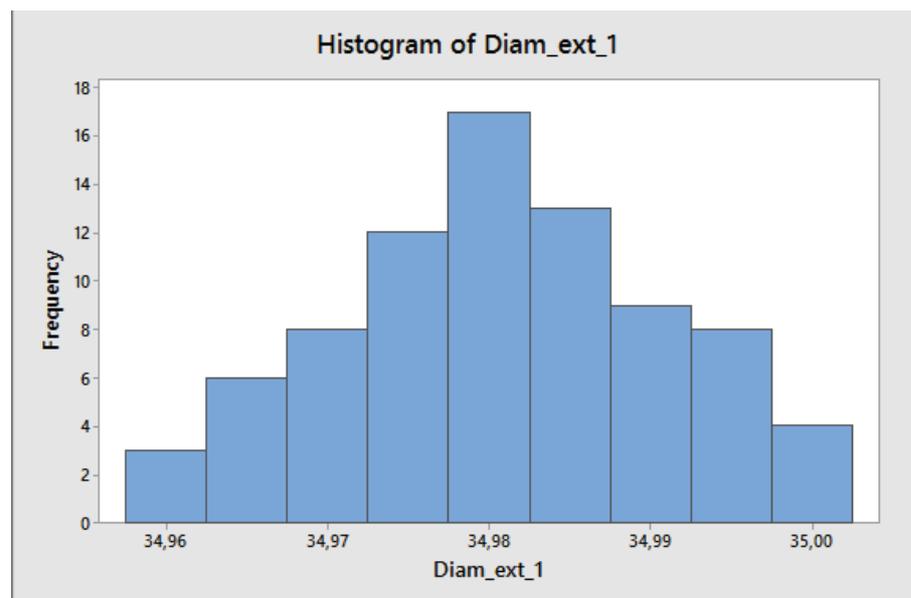
Figura 23 – Gráfico da distribuição de frequência das medidas do diâmetro externo das conexões.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Como houve uma possível falta de resolução do instrumento de medição, novas medições foram feitas com micrômetro de maior resolução. Para estas medições obtiveram-se os seguintes resultados expressos em histograma.

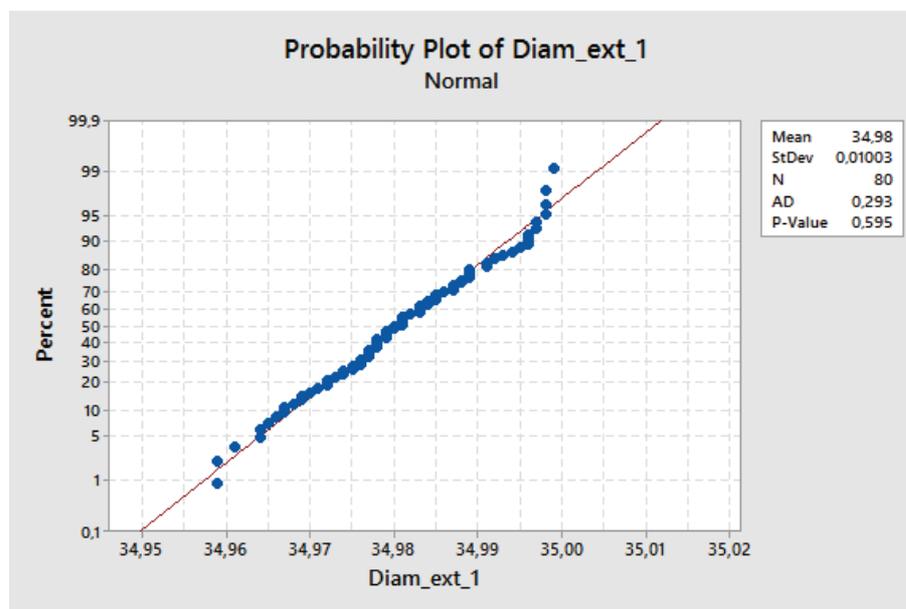
Figura 24 – Histograma da distribuição de frequência das medidas do diâmetro externo das conexões após medições com micrometro de maior resolução.



Fonte: Elaborado pelo autor com *Minitab*.

Sendo assim, um novo teste de normalidade foi feito com os resultados das medições do diâmetro externo das conexões.

Figura 25 – Gráfico da distribuição de frequência das medidas do diâmetro externo das conexões.

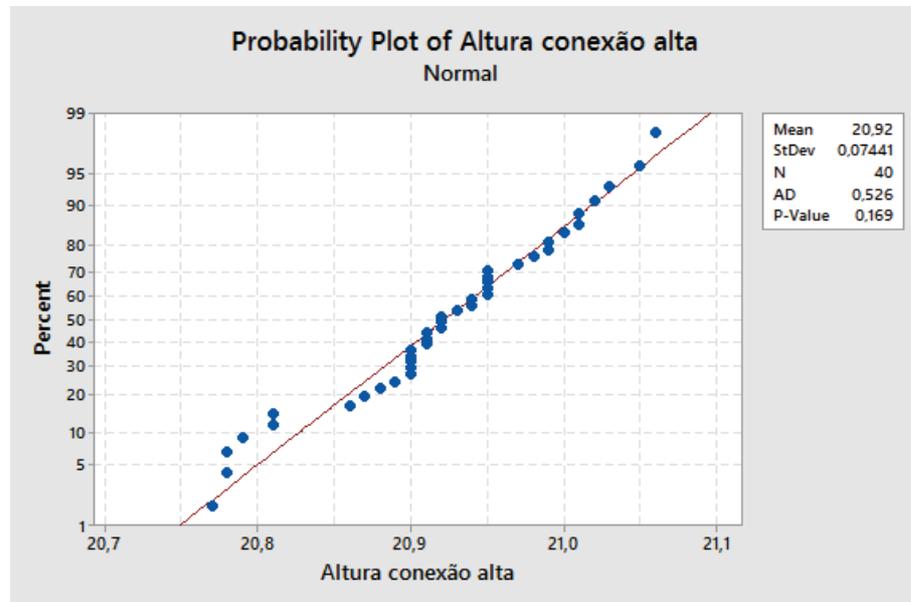


Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Avaliando o resultado do novo teste de normalidade é possível afirmar que os dados seguem uma distribuição normal, pois o valor de p-value foi igual a 0,595, sendo maior do que 0,05.

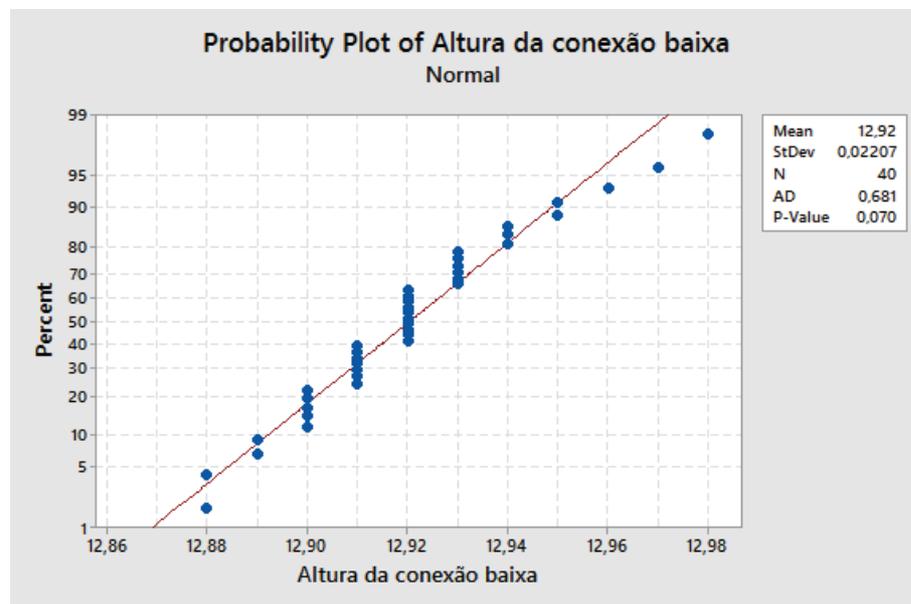
- d) Altura da conexão: as medidas de altura dos dois tipos de conexão utilizados no reservatório do estudo (alta e baixa) podem ser consideradas estar em uma distribuição normal.

Figura 26 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições da altura da conexão alta.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Figura 27 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições da altura da conexão baixa.

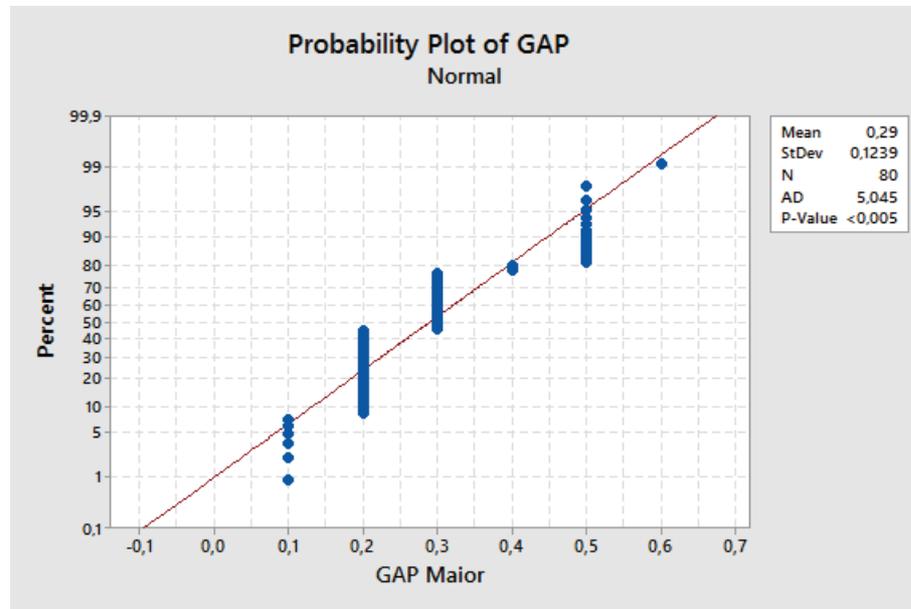


Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

- e) GAP de solda: analisando o resultado do teste é possível verificar que a medição de GAP de solda não possui seus de valores em uma distribuição normal. Neste caso, é bem provável devido ao fato de a resolução ser de

0,1mm, já que esta foi a menor espessura da lamina de calibração utilizada nas medições.

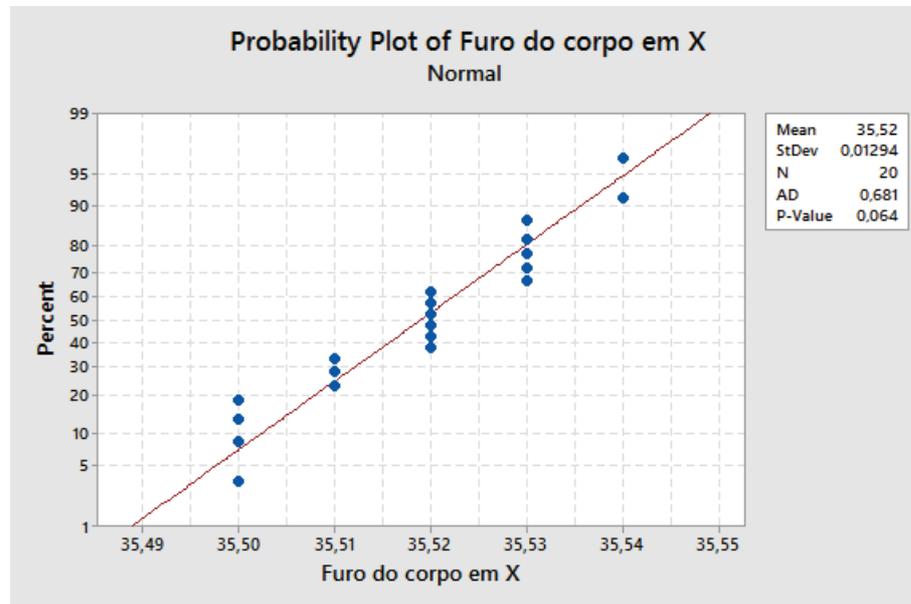
Figura 28 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do GAP de solda.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

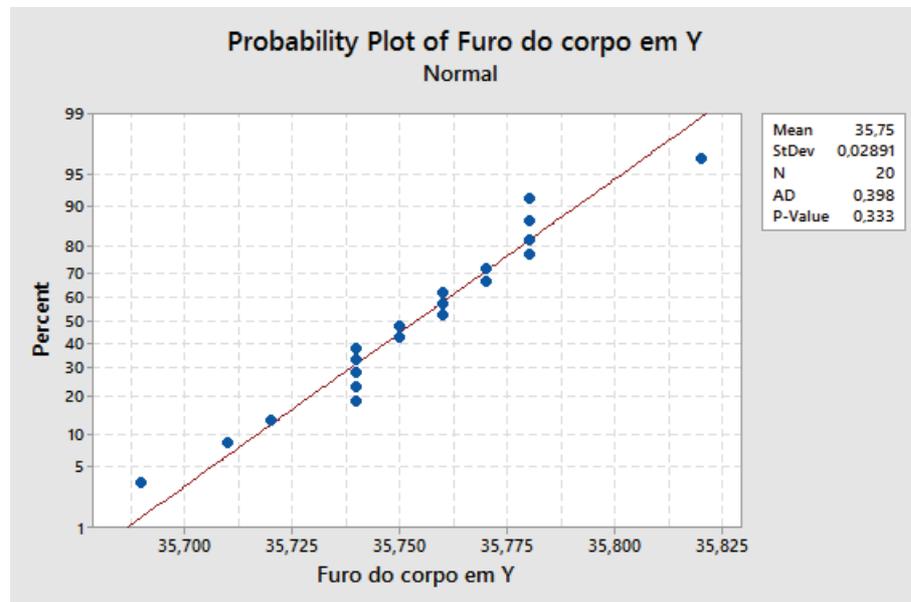
- f) Furo do estampo em dois eixos (após solda longitudinal): as medidas do furo do estampo do corpo do reservatório após os processos de calandra e solda longitudinal estão em uma distribuição normal. Há um certo empilhamento nos valores encontrados, o que também pode ser devido a falta de resolução do instrumento de medição, porém ainda não foi o suficiente para tornar os dados não normais.

Figura 29 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do furo do corpo em x após solda longitudinal.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Figura 30 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do furo do corpo em y após solda longitudinal.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

4.2.7 Capacidade dos processos

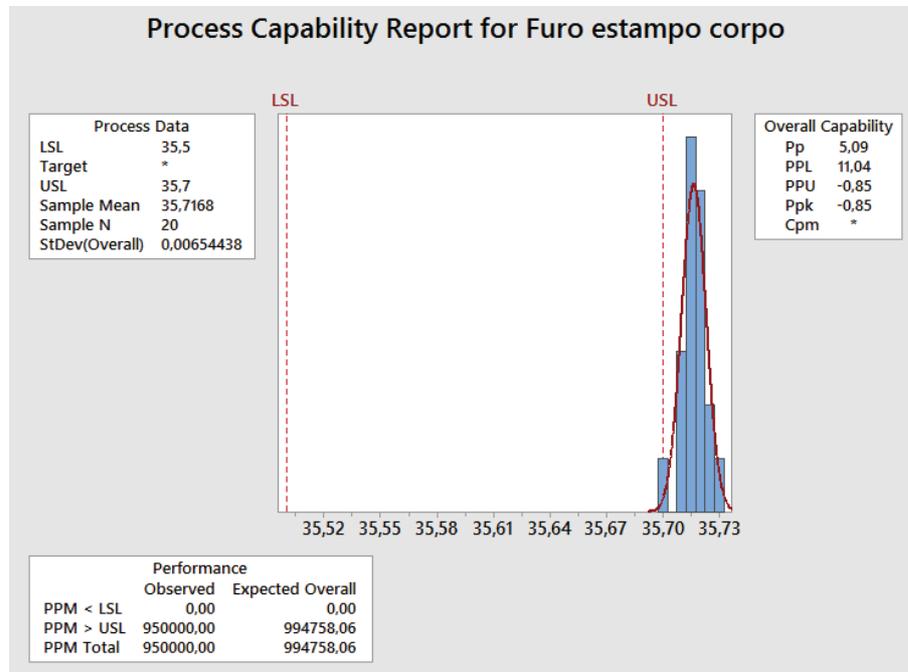
Após a verificação da normalidade dos dados, foi possível realizar o cálculo da capacidade dos processos que possuem especificações de forma direta nos desenhos. Sendo assim, não foram calculadas as capacidades para o furo do estampo do corpo nos dois eixos, este que não possui especificação em desenho, além das medições que não foram consideradas pertencentes à uma distribuição normal.

Desta forma, o cálculo de capacidade foi possível para as seguintes dimensões:

- a) Diâmetro do furo do estampo do corpo: analisando os valores é possível afirmar que o processo é potencialmente capaz, porém está com sua média deslocada.

Diâmetro do furo do estampo – pp = 5,09 ppk = 0,85

Figura 31 – Resultado da análise de capacidade do furo do estampo do corpo.



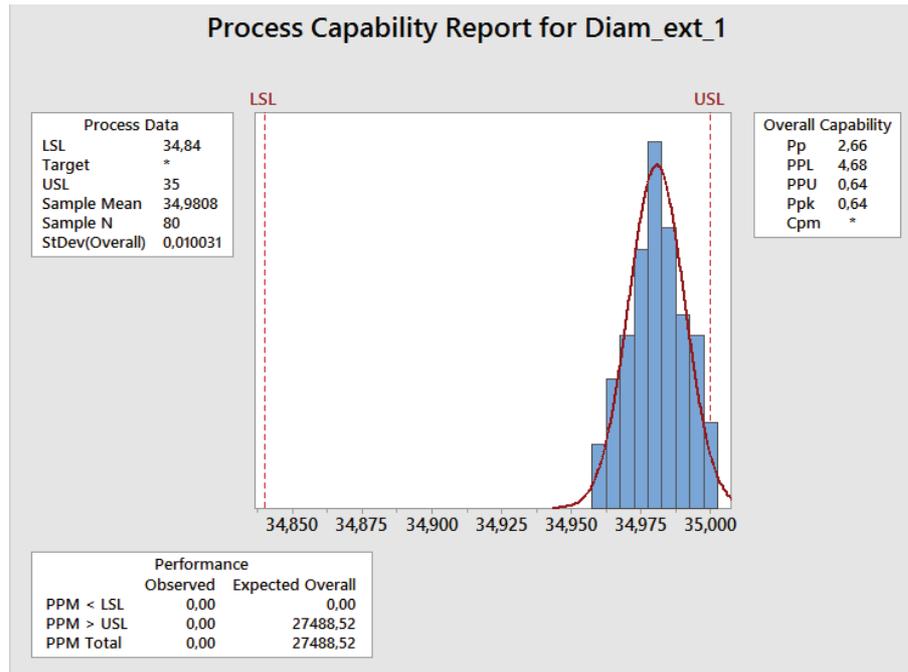
Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

- b) Diâmetro externo da conexão: analisando os resultados obtidos do cálculo de capacidade do processo é possível afirmar que o fornecedor que produz a

barra trefilada possuía um processo potencialmente capaz, como pode ser verificado pelo valor de $pp = 2,66$. Porém, seu processo de fabricação encontra-se com a média deslocada, como pode ser observado pelo valor de $ppk = 0,64$.

Diâmetro externo da conexão – $pp = 2,66$ $ppk = 0,64$

Figura 32 – Resultado da análise de capacidade do diâmetro externo das conexões.

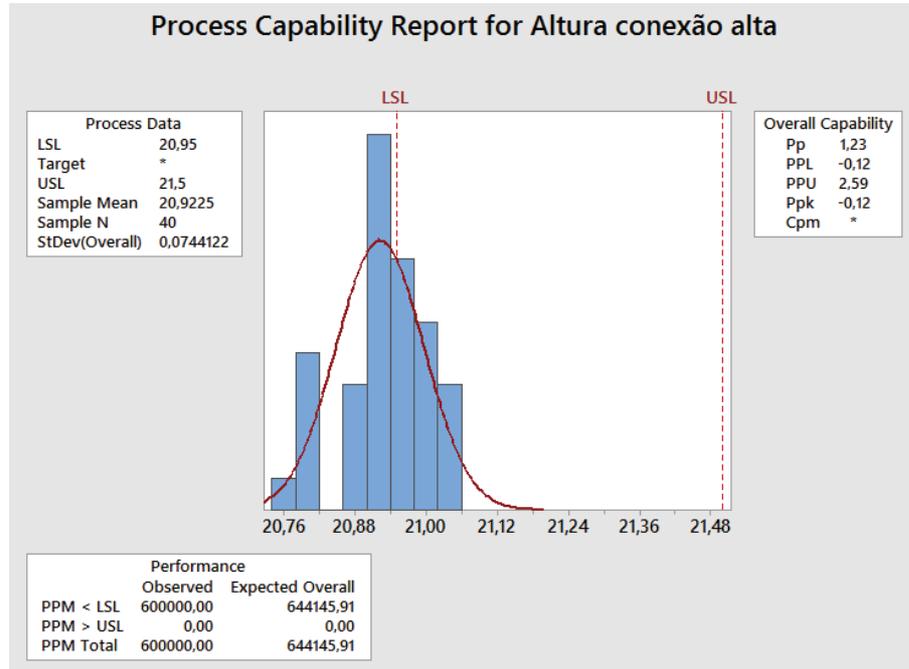


Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

- c) Altura da conexão: analisando os dois resultados é possível afirmar que o processo é potencialmente capaz, porém, em ambos os casos, as médias estão deslocadas.

Conexão alta – $pp = 1,23$ $ppk = 0,12$

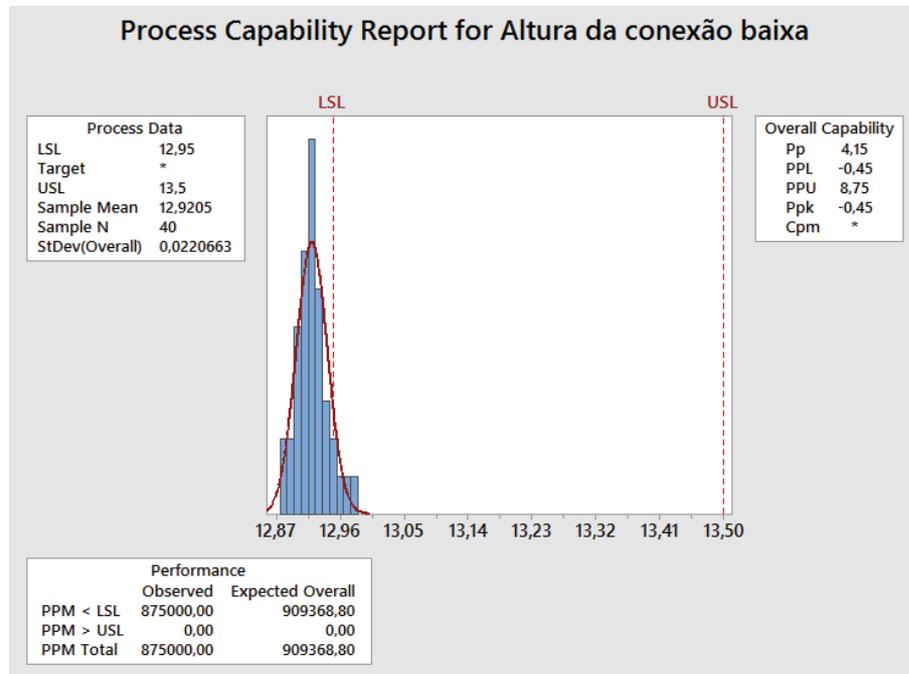
Figura 33 – Resultado da análise de capacidade da altura da conexão alta.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Conexão baixa – pp = 4,15 ppk = 0,45

Figura 34 – Resultado da análise de capacidade da altura da conexão baixa.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

4.3 Fase Análise

Após a obtenção dos dados através das medições feitas no lote 01 de amostra, a fase de análise pode ser desenvolvida. Nesta fase, busca-se principalmente a verificação de quais as variáveis de processos (X's) que possuem maior responsabilidade no problema do alto retrabalho e rejeição da especificação de rosca no final do processo (Y).

Serão analisados, a priori, as 5 possíveis causas que obtiveram maior pontuação na matriz de priorização. Estas prováveis causas serão, em parte, investigadas com ferramentas estatísticas e outras, onde a análise estatística não seja possível, com ferramentas e softwares de engenharia (software CAD).

4.3.1 Conexão reduz diâmetro interno na solda

Devido ao aporte térmico em que a conexão é submetida no processo de soldagem, a mesma pode sofrer alguma deformação. Este aporte térmico, pelo reservatório de ar se tratar de um item de segurança, é estabelecido por norma (ISO 15614-1), esta que visa garantir, além da resistência e perfeita união do conjunto (reservatório + conexão), a estanqueidade do reservatório de ar.

O aporte térmico, na qual a conexão é submetida, é formado por uma grande quantidade de variáveis, dentre elas: corrente (Amperes), Tensão (Volts), vazão de gás (cm^3/min) e características de posicionamento da tocha como, ângulo, *stick-out* (distância, em milímetros, entre o final do bico e a peça). Além disso, uma série de outras variáveis também podem influenciar este aporte térmico, como geometria e espessura do conjunto a ser soldado e GAP de solda, este que é a distância entre as duas peças a serem unidas.

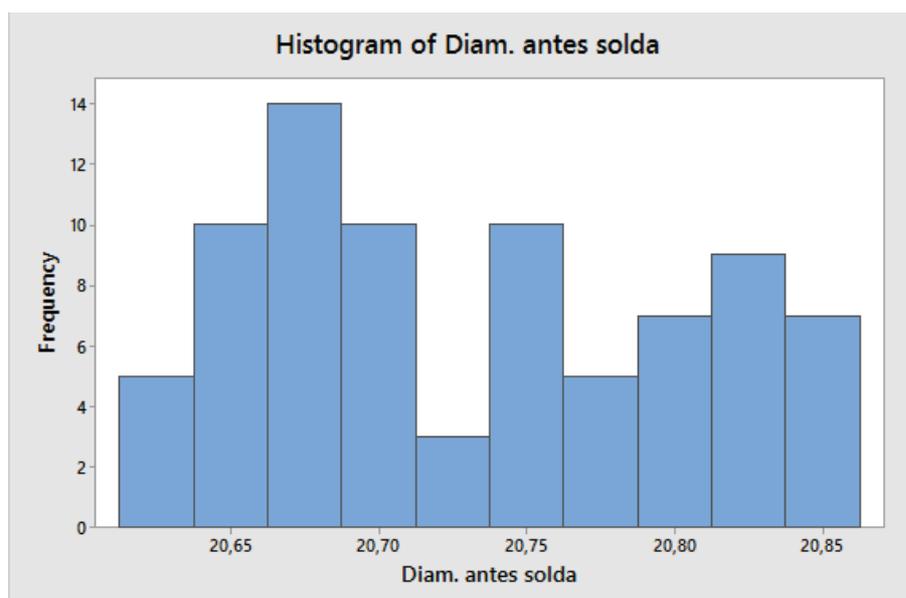
Era de conhecimento da equipe de que as conexões sofrem redução do diâmetro interno após a soldagem, porém nunca havia sido feito estudo algum de

investigação a respeito deste assunto, buscando quantificar a redução e se existia algum padrão deste efeito.

Sendo assim, esta análise foi feita através da comparação das medidas do diâmetro interno das conexões antes e após a sua soldagem. Como também foi previsto no plano de medição, foi quantificado o GAP antes da solda de cada conexão, com o intuito de uma possível relação com o resultado que seria obtido.

Porém, para que se pudesse utilizar testes de hipóteses sem risco de comprometimento do resultado, foi visto que as medidas de diâmetro interno das conexões não estariam em uma distribuição normal. Para se tentar entender a causa deste fato, foi plotado um histograma de forma a verificar a distribuição dos dados.

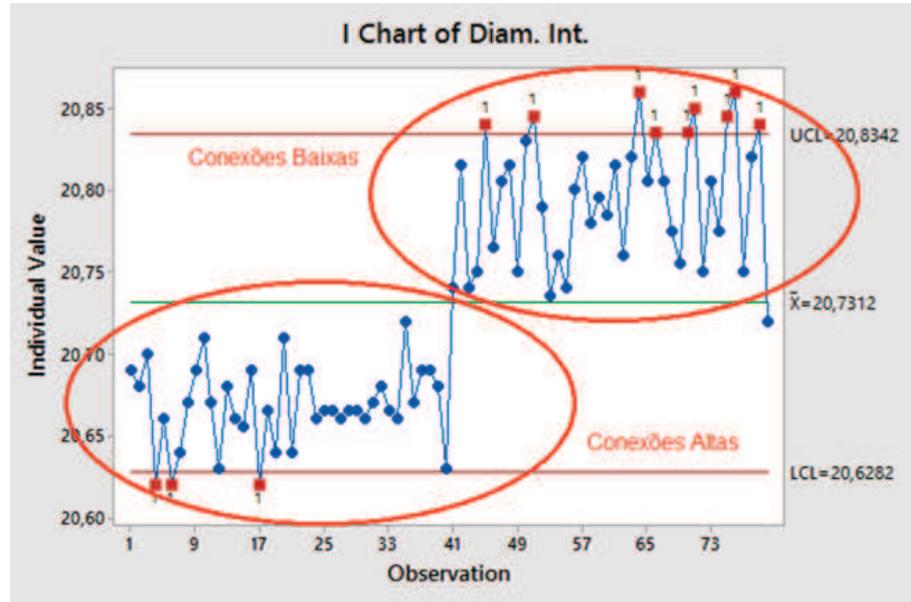
Figura 35 – Histograma do diâmetro interno das conexões antes da solda.



Fonte: Histograma *Minitab*.

Analisando o histograma, é possível perceber que há uma tendência de haverem mais de um valor possui uma frequência de ocorrência semelhante. Assim, buscando informação com os operadores, foi visto que, por algum motivo no passado, houve uma alteração no dimensional das conexões. Esta alteração visou colocar o perfil de rosca das conexões altas e baixas em pontos diferentes dentro da tolerância da especificação. Este fato pode ser facilmente percebido quando os valores foram plotados em uma carta de controle.

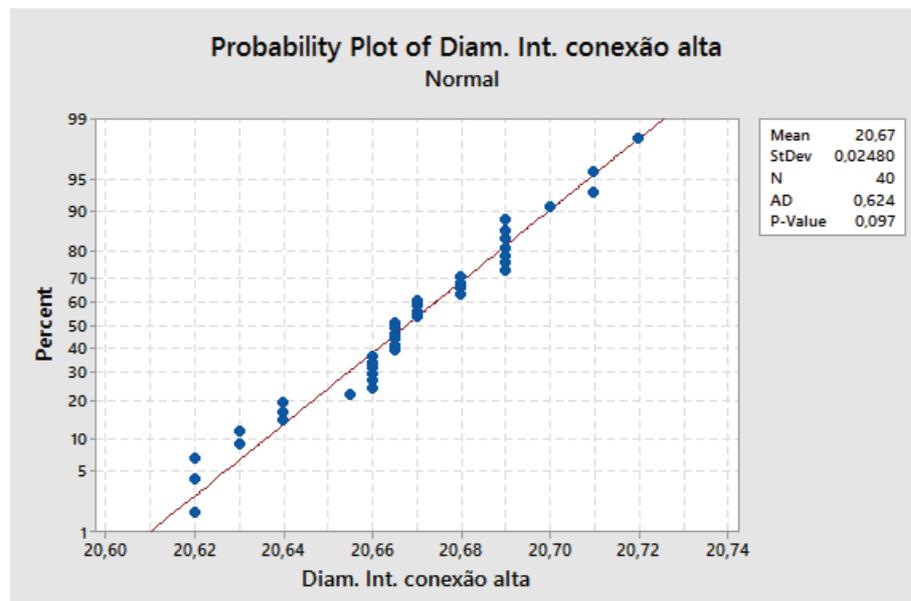
Figura 36 – Carta de controle do diâmetro interno das conexões antes da solda.



Fonte: Resultado carta CEP *Minitab*.

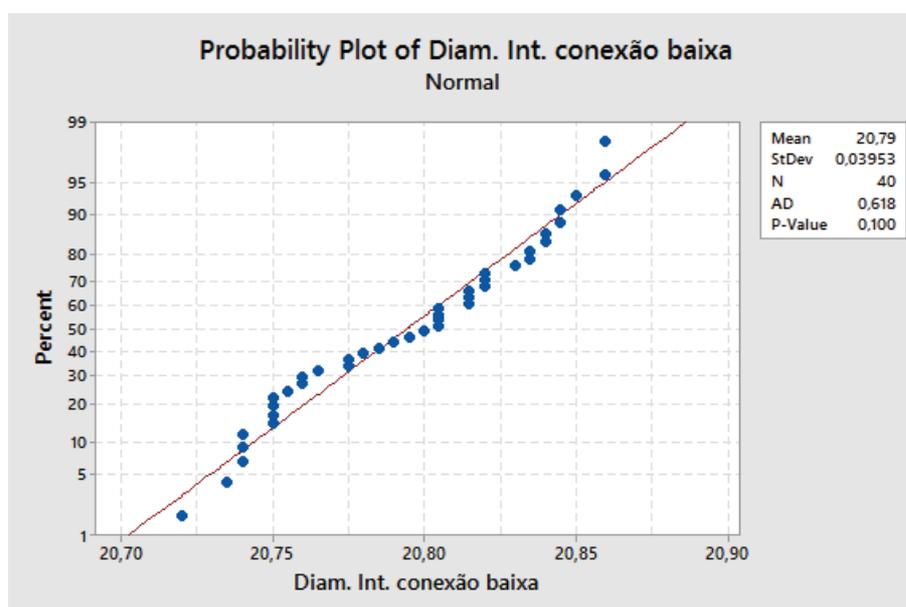
Assim, pelos valores de medição estarem em duas distribuições distintas, é necessário analisá-los separadamente. Para provar esta tese, um outro teste de normalidade foi feito com os resultados das medições internas das conexões altas e baixas separadas.

Figura 37 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do diâmetro interno das conexões altas.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Figura 38 – Gráfico da distribuição da distribuição de frequência das medições do diâmetro interno das conexões baixas.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

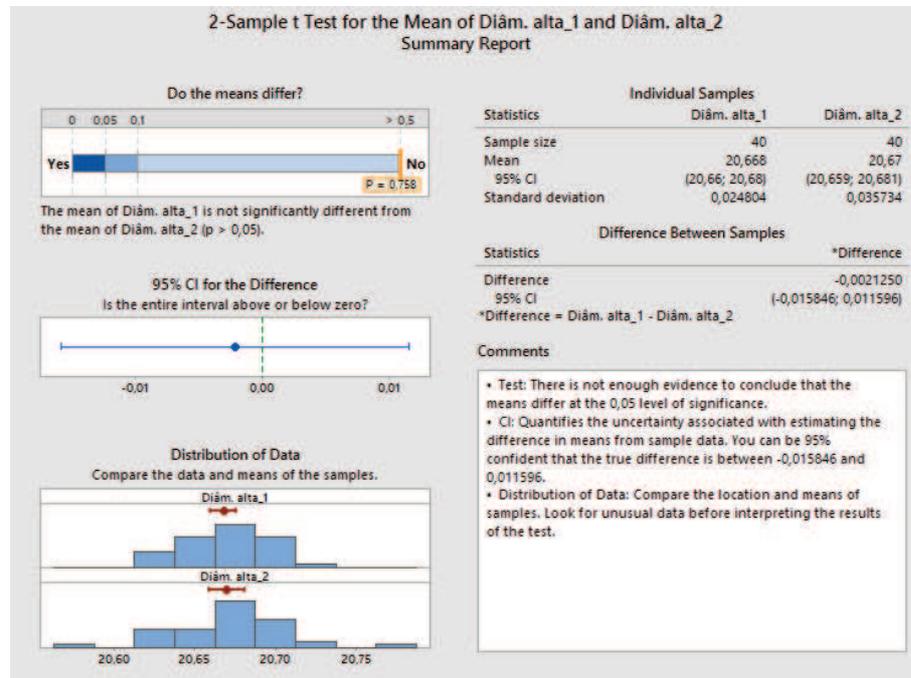
Estando as medições de diâmetro interno das conexões em uma distribuição normal, os testes de hipóteses puderam ser realizados sem riscos de comprometimento dos resultados. Assim, o teste de hipótese realizado foi:

H0 → Diâmetro interno antes solda = Diâmetro interno após a solda

H1 → Diâmetro interno antes solda ≠ Diâmetro interno após a solda

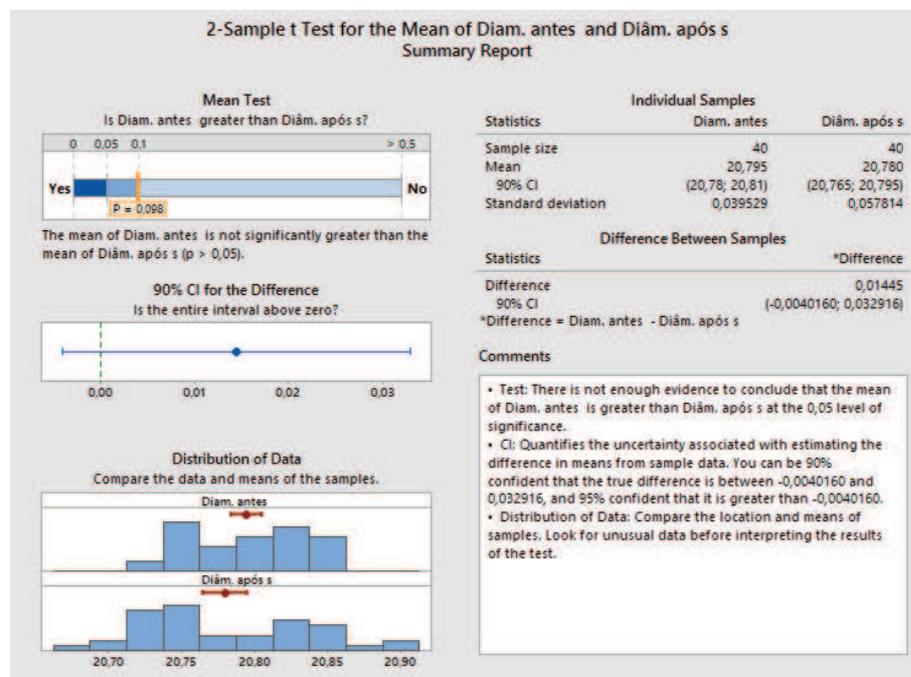
Os resultados podem ser observados nas figuras Figura 39 e Figura 40.

Figura 39 – Resultado do teste de hipótese para o diâmetro interno da conexão alta antes e depois da solda.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

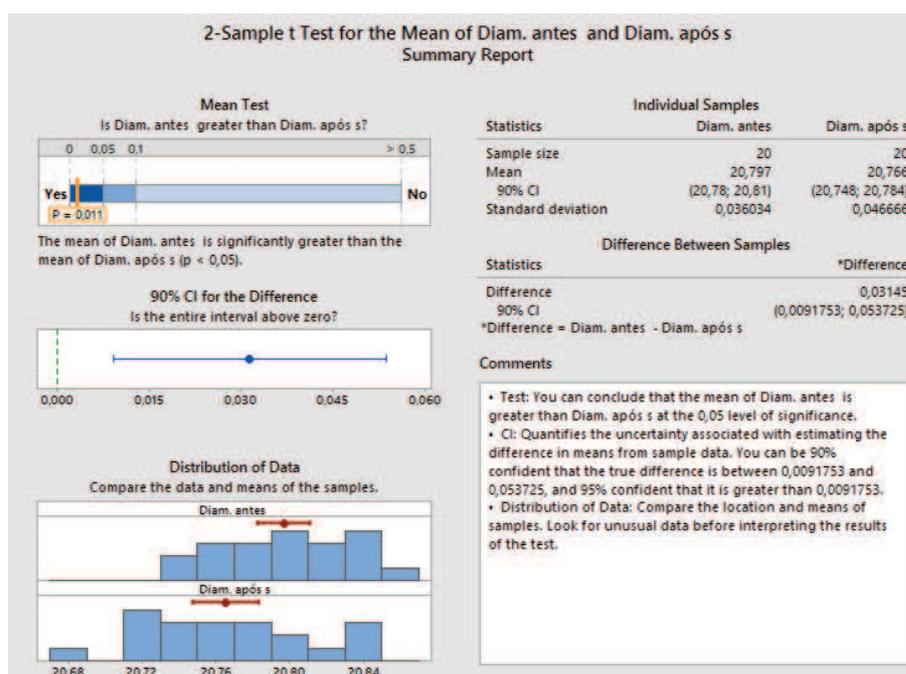
Figura 40 – Resultado do teste de hipótese para o diâmetro interno da conexão baixa antes e depois da solda.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Com base nas duas figuras, é possível afirmar, com 95% de confiança, de que não há diferença significativa do diâmetro interno das conexões antes e após a solda, já que o coeficiente p-value para as conexões altas foi 0,752 e para as conexões baixas foi de 0,098, sendo assim nos dois casos foi maior que 0,05. Isto, de certa forma, contraria a crença que a equipe obtinha. Porém, com base em questionamentos feitos aos operadores que realizam os retrabalhos e inspeções, foi visto que havia uma tendência de maiores problemas nas conexões soldadas no corpo do reservatório, estas que são conexões baixas. Sendo assim, foi repetido novamente o mesmo teste de hipótese feito anteriormente, porém comparando somente as conexões baixas soldadas no corpo dos reservatórios.

Figura 41 – Resultado do teste de hipótese para o diâmetro interno da conexão alta antes e depois da solda.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

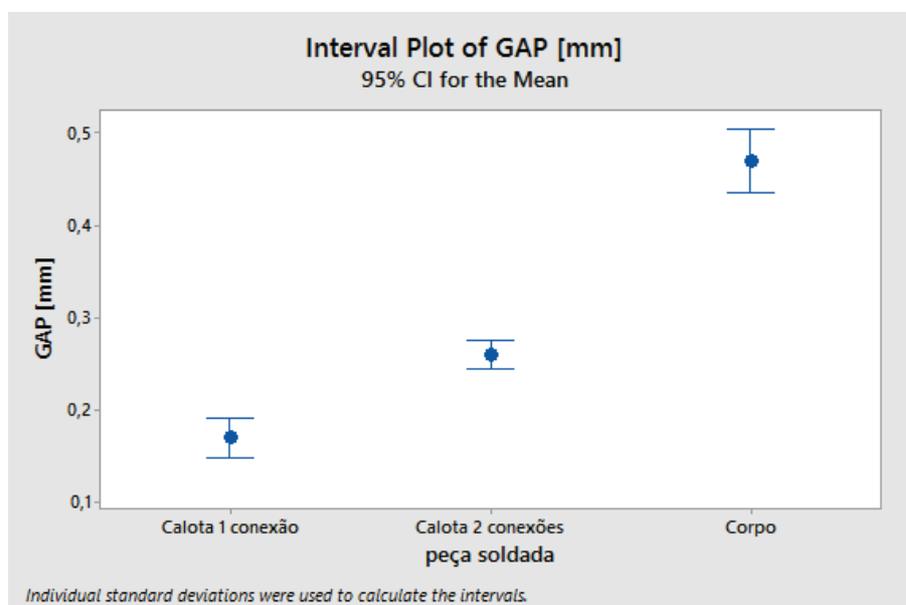
Portanto, como base nas análises realizadas, é possível afirmar, com 95% de confiança, que as conexões que sofrem uma redução significativa no diâmetro interno após a solda são as conexões baixas soldadas no corpo do reservatório, pois o valor do teste de hipótese que comparou as duas distribuições de medidas do diâmetro interno antes e depois da solda foi de 0,011, sendo assim, menor do que 0,05. É

importante destacar que esta análise, a priori, é válida somente para os reservatórios utilizados no lote 01 do plano de acompanhamento do processo produtivo.

Uma das possibilidades levantadas na equipe deste projeto, após a apresentação destas análises, é de que o GAP de solda pode influenciar, de maneira indireta, a redução do diâmetro interno da conexão. Esta afirmação está relacionada ao fato de quanto maior a distância entre os dois corpos, mais o arco elétrico deve ser direcionado para a peça com maior massa, que neste caso é a conexão, para que não haja furos ou extravasamento da solda. Estando o arco elétrico mais direcionado para a conexão, a mesma está sujeita a um aporte térmico maior.

Como o GAP de solda foi medido em todas as conexões, o primeiro questionamento que deve ser respondido é se há um grupo de corpos que possuía um valor de GAP maior do que os outros. Como as medidas de GAP não foram consideradas em uma destruição normal, esta análise foi feita graficamente.

Figura 42 – Distribuição dos valores de GAP para as conexões unidas nas diferentes calotas e corpo do reservatório.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Analisando a Figura 42, é possível perceber que as conexões unidas no corpo do reservatório foram claramente soldadas sob um GAP de solda maior do que os

outros conjuntos. Isso reforça a ideia de que o GAP de solda possa influenciar a redução do diâmetro da conexão.

4.3.1.1 Análise dos defeitos de soldagem

De forma a tornar o estudo ainda mais completo, também foram feitas análises dos defeitos que são gerados na solda das conexões. Os defeitos decorrentes da solda, foram avaliados por pessoal qualificado do laboratório de solda, onde o resultado da análise pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Distribuição dos defeitos de solda encontrados.

Posição solda	Mordedura	Cordão deslocado	Extravasamento	Falta de penetração	Convexidade excessiva	Produtos defeituosos	Proporção de prod. Defeituosos
1	12	0	9	0	0	15	18,75%
2	6	0	15	0	0	18	22,50%
3	3	0	11	0	0	14	17,50%
4	3	1	7	0	0	8	10,00%
Soma	24	1	42	0	0	55	68,75%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os resultados dos produtos defeituosos, ou seja, os defeitos na solda da conexão ao corpo e calotas, foi possível analisar se a proporção de produtos defeituosos está associada a peça em que a conexão é soldada.

Tabela 9 – Proporção de conexões com defeitos de solda em relação a peça em que foi soldada.

Peça soldada	Prod. Defeituosos	Total
Corpo	18	20
Calota 1 conexão	11	20
Calota 2 conexões	22	40

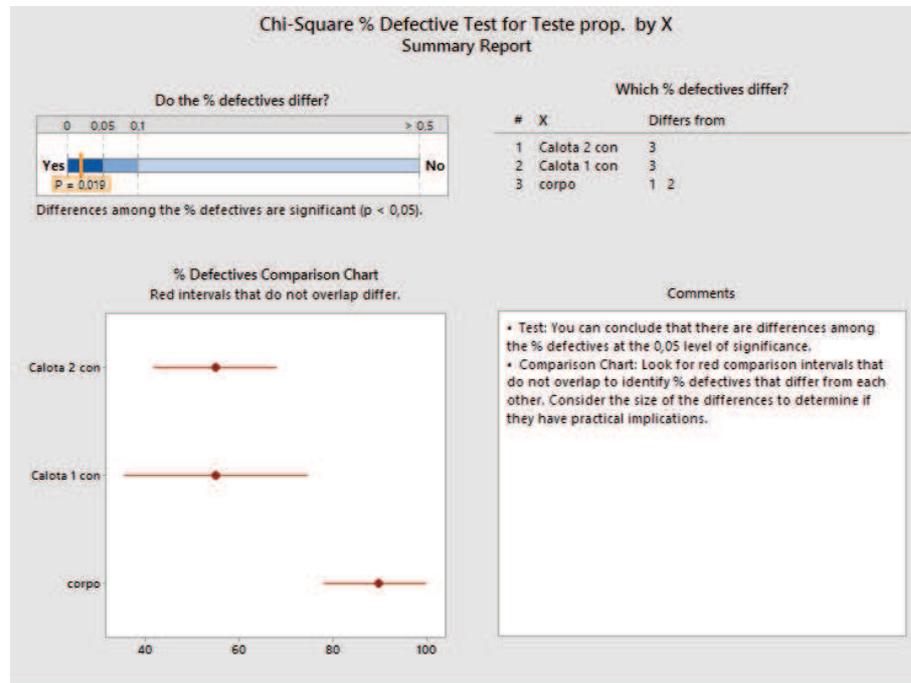
Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando através de um teste de hipótese, onde:

$H_0 \rightarrow$ Proporção de conexão com defeito no corpo = Proporção de conexão com defeito na calota de 1 conexão = Proporção de conexão com defeito na calota de 2 conexões

$H_1 \rightarrow$ Proporção de conexão com defeito de ao menos um conjunto é diferente

Figura 43 – Resultado do teste de hipótese para verificar se há diferença na proporção de conexões defeituosas entre corpo, calota de 1 conexão e calota de 2 conexões.



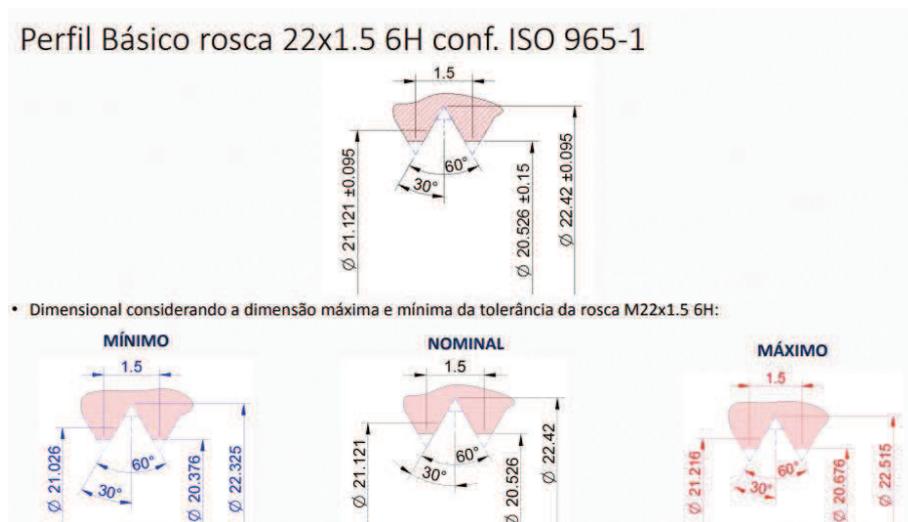
Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Com base no teste de hipótese, pode-se afirmar, com 95% de confiança, de que há diferença significativa na proporção de conexões soldadas com defeito entre calotas e corpo, já que o coeficiente p-value foi de 0,019, ou seja, menor do que 0,05. Além disso, é possível observar que há uma proporção maior de conexões com defeitos de solda quando as conexões são soldadas no corpo. Como já havia sido analisado, o corpo é onde possui os maiores GAP's de solda.

4.3.2 Especificação da rosca na usinagem não está correta

A especificação da rosca em questão possui uma tolerância 6H ($\pm 0,095\text{mm}$), conforme ISO 951-1. O dimensional desta pode ser observado na Figura 44.

Figura 44 – Especificação de rosca M22x1,5 6H (tolerâncias).



Fonte: Desenhos técnicos da engenharia.

Atualmente, a usinagem, afim de atender as variações de processo, estão usinando as roscas com uma tolerância de 8H, ou seja, possui uma tolerância ± 0.0000 .

Analisando o histórico das alterações de projeto, foi verificado que não há nenhum estudo documentando justificando esta alteração da especificação de usinagem de 6H para 8H.

Sendo assim, pode-se concluir que a correta especificação da tolerância de rosca pode não ser a atual, ou seja, a tolerância 8H pode não estar absorvendo as variações dos processos.

4.3.3 Pintura E-coat com alta deposição de tinta

No acompanhamento do lote 01, foi verificado o seguinte histórico dos testes com PNP.

Tabela 10 – Histórico dos resultados dos testes com PNP.

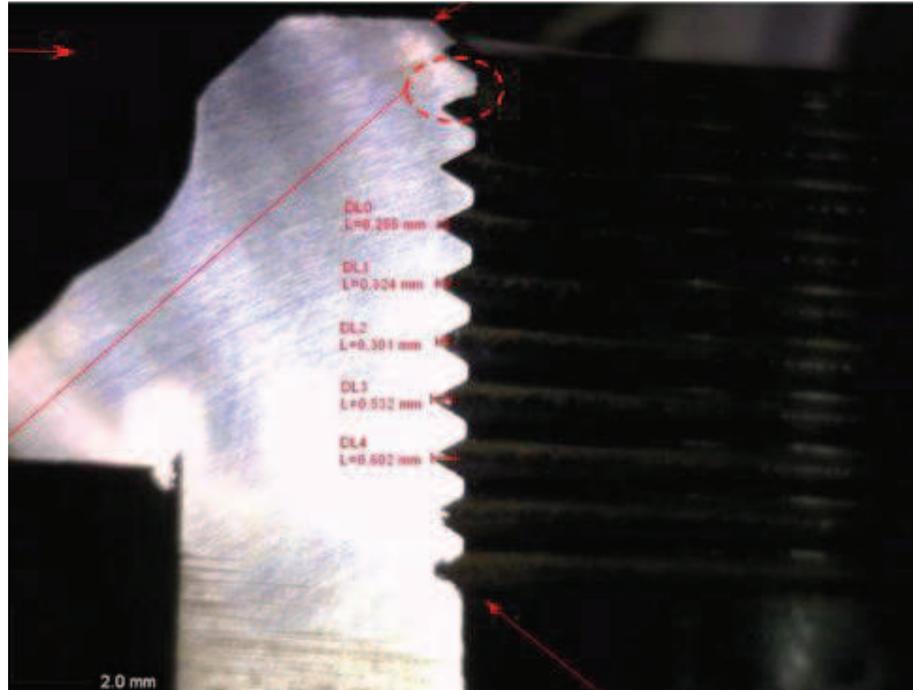
Antes da solda						
Resultado	P6	NP6	P7	NP7	P8	NP8
Aprovou	73	70	72	80	72	80
Reprovou	7	10	8	0	8	0
% Reprovados	8,75%	12,50%	10,00%	0,00%	10,00%	0,00%
Após a solda						
Aprovou	76	78	73	80	76	80
Reprovou	4	2	7	0	4	0
% Reprovados	5,00%	2,50%	8,75%	0,00%	5,00%	0,00%
Após pintura E-coat						
Aprovou	0	0	0	0	0	0
Reprovou	80	80	80	80	80	80
% Reprovados	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando os resultados, fica nítido de que a pintura E-coat gera a reprovação na verificação com PNP's, gerando assim, o não atendimento de especificação de cliente, já que todas as conexões foram reprovadas pela verificação com PNP, dispensando assim qualquer análise estatística.

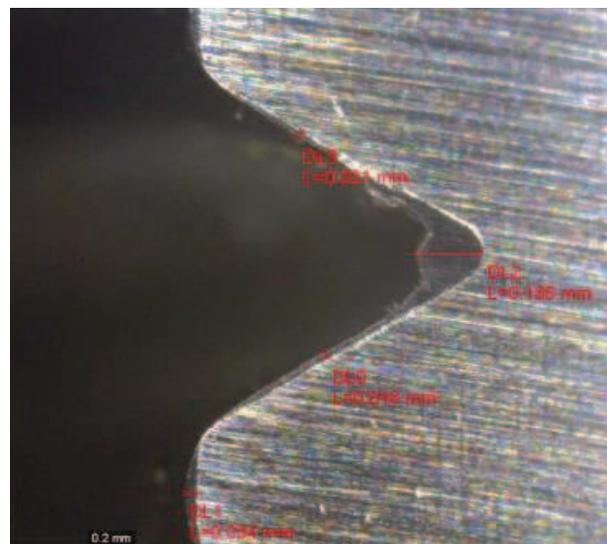
Porém, para ser ter uma noção de qual é o valor da interferência que o processo gera na rosca, um reservatório foi segregado do lote para que a camada de tinta na rosca das conexões pudesse ser medida. Para esta medição, é necessário que as conexões sejam cortadas no meio, possibilitando a medição através de método que utiliza uma câmera de alto zoom e *software* específico. Os resultados podem ser avaliados nas imagens abaixo.

Figura 45 – Medições da espessura de tinta ao longo dos filetes de rosca na conexão alta da calota.



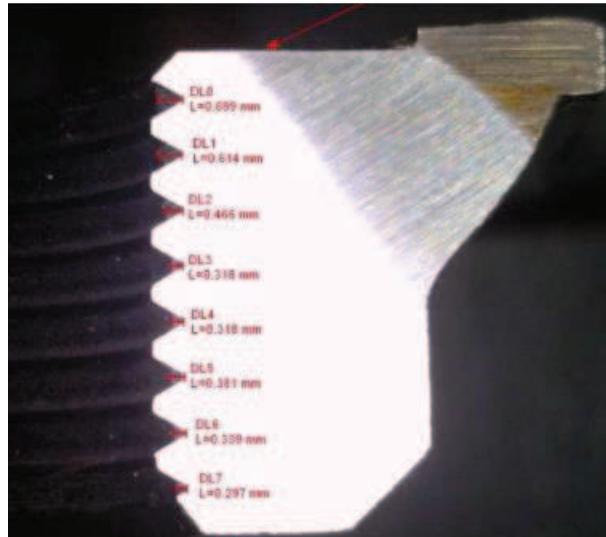
Fonte: Relatório de medição do laboratório de materiais da empresa.

Figura 46 – Detalhe das medições da espessura de tinta ao longo de um filete de rosca da conexão alta da calota.



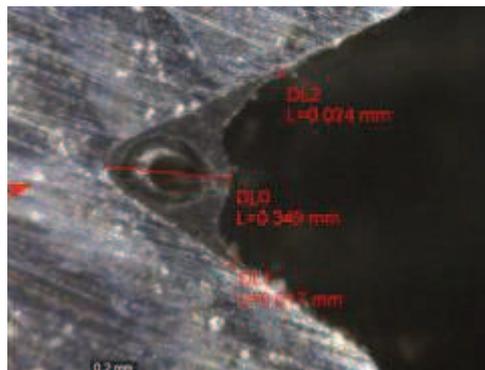
Fonte: Relatório de medição do laboratório de materiais da empresa.

Figura 47 - Medições da espessura de tinta ao longo dos filetes de rosca na conexão baixa do corpo.



Fonte: Relatório de medição do laboratório de materiais da empresa.

Figura 48 – Detalhe das medições da espessura de tinta ao longo de um filete de rosca da conexão baixa do corpo.



Fonte: Relatório de medição do laboratório de materiais da empresa.

Avaliando os resultados das medições da espessura da camada de tinta, é possível afirmar que os valores encontrados variam entre 0,001 mm a 0,602 mm. Esta gama de variação de espessura de tinta ultrapassa em muito os valores da tolerância 6H requisitada, esta que é de uma variação de $\pm 0,095$ mm.

Com base nestes resultados é possível afirmar que, mesmo descartando variação alguma nos processos anteriores, não há maneira de o processo de pintura E-coat garantir a especificação de rosca do cliente, já que sua variação ficou em cerca de $\pm 0,601$ mm em um mesmo reservatório.

4.3.4 Gabaritos de solda geram influencia na solda das conexões

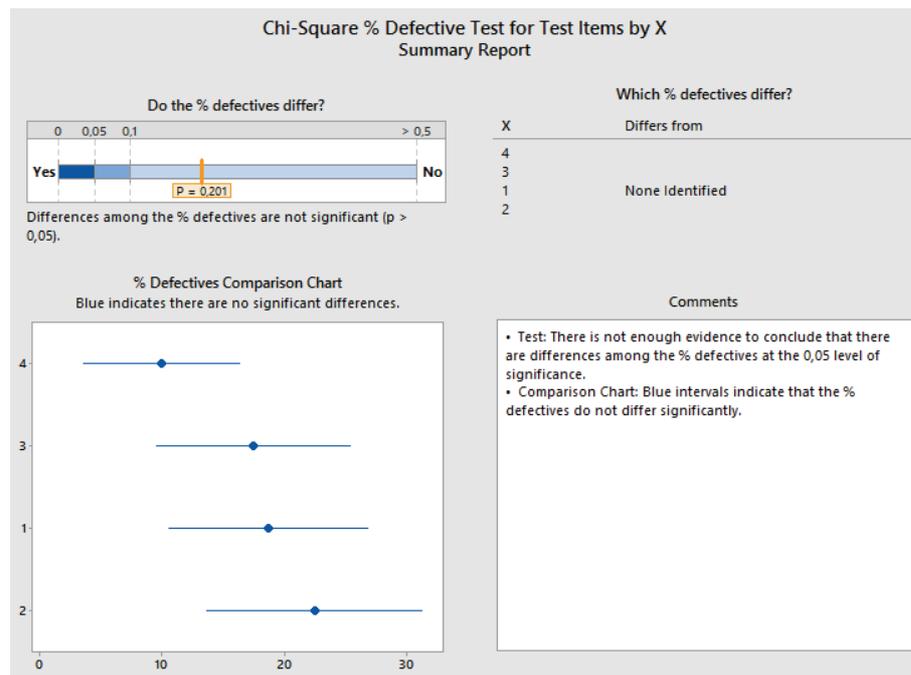
Uma das possíveis causas da alteração da especificação de rosca no processo de soldagem é que as conexões soldadas sofrem influência do gabarito em que são soldadas.

Para isso, como primeira análise, foi verificado se a proporção de produtos defeituosos está relacionada ao gabarito utilizado para sua soldagem. Para isso, foi utilizado um teste de hipótese onde:

$H_0 \rightarrow$ Proporção de conexão com defeito no gab. 1 = Proporção de conexão com defeito no gab. 2 =
Proporção de conexão com defeito no gab. 3 = Proporção de conexão com defeito no gab. 4

$H_1 \rightarrow$ Proporção de conexão com defeito de ao menos um gabarito é diferente.

Figura 49 – Resultado do teste de hipótese para verificar se há diferença na proporção de conexões defeituosas soldadas nos diferentes gabaritos.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

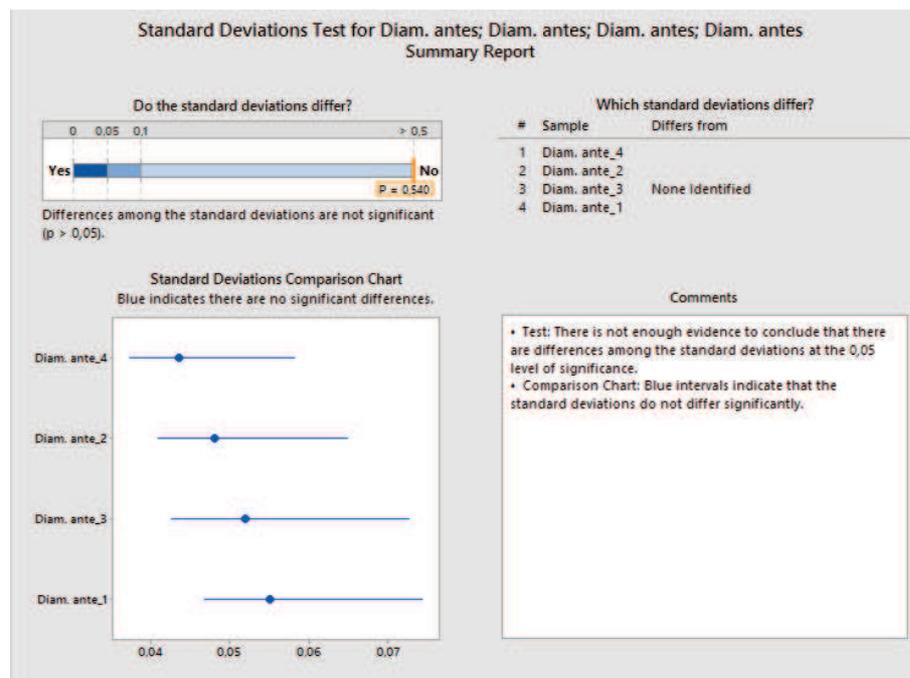
Analisando o resultado do teste de hipótese, é possível afirmar, com 95% de confiança, de que não há diferença nas conexões soldadas com algum defeito entre os diferentes gabaritos, já que o coeficiente p-value foi de 0,201, sendo assim, maior do que 0,05.

Outra hipótese que pode ser analisada é que se o gabarito em que a conexão foi soldada influencia na variação do seu diâmetro interno antes e depois da solda. Como já foi visto antes, as conexões baixas, mesmo que ainda não seja significativa, possuem uma variação maior antes e depois da solda. Sendo assim, estas foram utilizadas para a realização do seguinte teste de hipótese:

H0 → Variância do diam. Interno das conexões soldadas no gab. 1 = Variância do diam. Interno das conexões soldadas no gab. 2 = Variância do diam. Interno das conexões soldadas no gab. 3 = Variância do diam. Interno das conexões soldadas no gab. 4

H1 → Variância do diam. Interno das conexões soldadas de ao menos um gabarito é diferente.

Figura 50 – Resultado do teste de hipótese para verificar se há diferença na variância do diâmetro interno das conexões soldadas nos diferentes gabaritos.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Ao analisar o teste de hipótese afirma-se, com 95% de confiança, de que não há influência do gabarito de solda na variância do diâmetro interno das conexões, pois o coeficiente p-value foi de 0,540, ou seja, maior do que 0,05.

4.3.5 Isolação da conexão na pintura pó não é suficiente

Como todas as conexões foram reprovadas após a pintura E-coat, todas as conexões foram retrabalhas para que o acompanhamento do lote 01 pudesse ser realizado até o final do processo de produção de reservatórios de ar. Para este retrabalho foi utilizado macho laminador, processo este que o presente na empresa. Após este retrabalho, todas as conexões foram verificadas novamente com PNP 6H, estando todas aprovados.

Figura 51 – Foto do processo de retrabalho com macho laminador.



Fonte: Relatório de estudo do setor de P&D.

Atualmente, no processo de pintura a pó existem duas formas de isolação das roscas. A primeira trata-se do uso de um tampão de aço que vai roscado nas conexões e a segunda de um tampão de silicone que é colocado com interferência nas conexões. O uso destes tampões de silicone seria recente e seu uso se justificaria pela não necessidade de limpeza, já que a tinta a pó não adere ao mesmo. Sendo assim, para que se tivesse uma noção da possível influência destes no processo, os dois foram utilizados, onde 10 reservatórios tiveram todas as suas conexões isoladas com tampão de silicone exceto uma, esta que deve ser isolada com tampão de aço para permitir a fixação do mesmo na monovia, e 9 reservatórios com tampão de aço. É importante destacar que o lote não está mais com os 20 reservatórios pois um foi retirado do processo para a medição da camada de tinta E-coat.

Figura 52 – Foto dos reservatórios com suas respectivas isolações.



Fonte: Relatório de estudo do setor de P&D.

Após o processo de pintura a pó, todas as conexões passaram novamente pelo processo de verificação com PNP 6H, onde os seus resultados podem ser visualizados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultado da verificação com PNP 6H após pintura a pó.

Processo de isolação	Nº de conexões	Nº de conexões reprovadas
Tampão Silicone	30	19
Tampão de aço	46	24

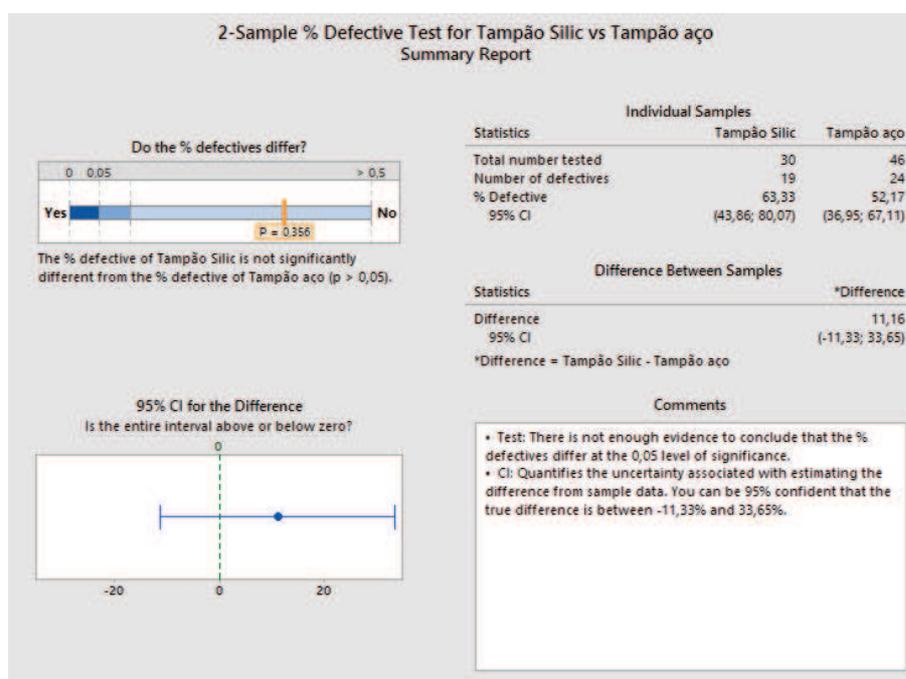
Fonte: Relatório de estudo do setor de P&D.

Avaliando o número de conexões reprovadas na verificação com PNP 6H, é possível afirmar que o processo de pintura a pó gera uma influência nas conexões dos reservatórios de ar, já que todas as conexões foram aprovadas anteriormente. Agora, para avaliar se o uso do tampão de silicone ou aço gera alguma diferença no processo de pintura a pó, foi necessário o uso de teste de hipótese, onde as hipóteses nulas e alternativas foram:

H0 → Proporção de conexões com isolação de silicone reprovadas = Proporção de conexões com isolação de aço reprovadas

H1 → Proporção de conexões com isolação de silicone reprovadas ≠ Proporção de conexões com isolação de aço reprovadas

Figura 53 – Resultado do teste de hipótese para verificar se as duas isolações geram diferença de produtos reprovados.



Fonte: Resultado cálculo *Minitab*.

Analisando o resultado do teste de hipótese, é possível afirmar, com 95% de confiança, de que as diferentes isolações (tampão de aço e silicone) não geram uma proporção de produtos reprovados pelo PNP 6H diferente, já que o coeficiente p-value = 0,356 é maior do que 0,05.

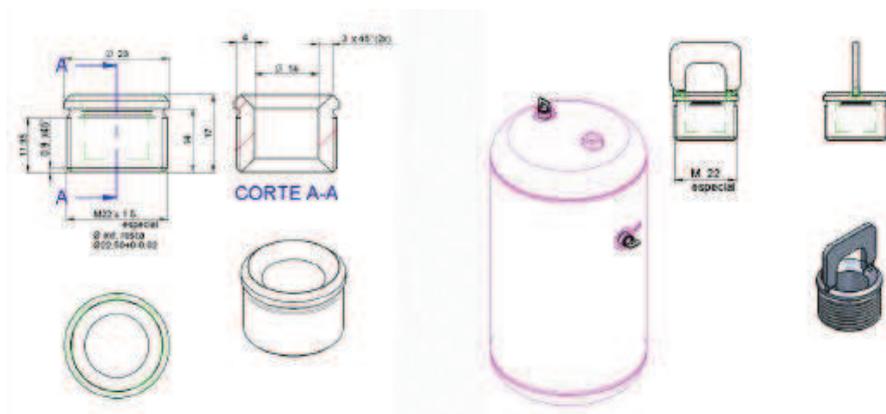
Sendo assim, de modo geral, é possível afirmar que a isolamento da pintura a pó não é efetiva, pois há reprovação de conexões após este processo. Porém, este efeito pode ser gerado por algum tipo de distorção do pouco de tinta E-coat que ainda ficou depositada na conexão devido ao efeito do calor gerado no forno de cura.

4.3.6 Teste com isolamento da pintura E-coat

Como foi verificado no item 4.3.3 que todas as conexões reprovam na especificação de rosca após a pintura E-coat, um novo teste em um lote 02 de acompanhamento foi proposto. Este teste consistia em verificar todas as conexões de novamente 20 reservatórios antes da pintura E-coat e, logo após, isolar as mesmas impedindo que a tinta se depositasse na rosca das conexões.

Para que as conexões fossem isoladas, foram propostos dois tipos de isolações, sendo uma isolação de aço, uma espécie de tampão roscado com um furo central, e a isolação de silicone já utilizada na pintura a pó. É importante destacar que no processo de E-coat, os reservatórios também são pintados internamente. Este fato faz que seja necessário que as isolações sejam vazadas para que os banhos do processo E-coat também possam ter contato com toda a superfície interna dos reservatórios e, logo após termino de cada banho, dar possibilidade do líquido interno escoar.

Figura 54 – Projeto dos tampões vazados de aço para isolação do E-coat.



Fonte: Relatório de estudo do setor de P&D.

Figura 55 – Tampão vazado de silicone.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

Após o teste realizado, foi verificado que os dois tampões possuíram 100% de eficácia em isolar as conexões não deixando que a tinta E-coat se depositasse na rosca das conexões. Este fato foi confirmado através da aferição feitas com PNP 6H após o processo, tendo todas as conexões aprovadas.

Porém, um fator foi nítido ao acompanhar o teste: o processo de pintura E-coat foi feito com o dobro do tempo. Isto é justificado devido a ambos os tampões diminuírem o diâmetro das conexões, diminuindo assim a vazão dos banhos através das conexões.

4.4 Fase Melhoria

Após todas as análises, foi possível fazer uma série de considerações que puderam dar origem as ações de melhorias.

- O processo de solda possui uma redução considerável no diâmetro em apenas as conexões baixas soldadas no corpo, redução esta que provavelmente seja causada pelo excesso de GAP de solda entre as partes;
- A tolerância especificada na usinagem pode não ser a correta, de forma a absorver todas as variações que o processo possui;
- O processo de pintura E-coat gera uma alta deposição de tinta na rosca, sendo ainda, esta deposição com uma alta taxa de variação de uma conexão para outra do mesmo lote;
- Os gabaritos de solda não geram influência alguma tanto para a redução do diâmetro interno das conexões quanto para os defeitos de solda encontrados no processo;
- A isolação do processo de pintura a pó parece não ser suficiente. Porém, o nível de rejeição encontrado pode ter sido gerado por alguma distorção que a pintura E-coat teve devido ao calor do forno de cura;
- O teste de isolação da pintura E-coat se mostrou efetivo, porém esta isolação gerou uma demora considerável nos banhos do processo. Esta demora é muito significativa, pois este trata-se de um processo com um alto custo de funcionamento.

Avaliando, juntamente com o time de projeto, todas as considerações anteriores, foi possível ser tomar algumas decisões e propostas de melhorias. Estas decisões foram tomadas levando em consideração todos os possíveis modos de falha que a equipe possuía.

4.4.1 Redução do GAP de solda nas conexões

Para a redução do GAP de solda na solda das conexões as seguintes ações foram propostas:

Tabela 12 – Plano de ação para redução do GAP de solda.

Ação	Prazo	Responsável
Diminuir furo do punção que faz o estampo no corpo dos reservatórios de uma conexão.	04/setembro	Sup. de Produção - Solda
Realizar medições e verificação via teste de hipótese se a redução do diâmetro do estampo diminuiu a contração do diâmetro interno das conexões.	11/setembro	Sup. de Produção – Estamparia
Diminuir furo do estampo dos reservatórios de mais de uma conexão através da redução dos punções da pulcionadeira.	22/setembro	Engenheiro de Processos
Adequar gabaritos para garantir montagem após a redução dos diâmetros dos estampos.	20/outubro	Técnico de Produção / Projetista Ferramentaria

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Especificação de tolerância de rosca para a usinagem

Como há inúmeras variações no processo, a solução encontrada pelo time de projeto foi em projetar uma nova especificação de rosca que seja capaz de absorver estas alterações que as conexões sofrem. A ideia é que esta especificação na usinagem da rosca seja particular da empresa, ou seja, não siga propriamente a uma norma estabelecida.

Tabela 13 – Plano de ação para produção de conexões na nova especificação de usinagem.

Ação	Prazo	Responsável
Projetar nova especificação de rosca.	04/setembro	Engenheiro de P&D
Requisitar fabricação de PNP para medição da nova condição de rosca na usinagem	30/setembro	Engenheiro de processos / Comprador
Acompanhar fabricação de lote de conexões na nova condição e realizar plano de medições	13/setembro	Engenheiro de Processos

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.3 Proposta de alteração de processo para o cliente

Com base em todas as análises do processo feitas, uma série de possibilidades, visando a solução do problema, foram feitas e discutidas no grupo. A proposta, que talvez seja a mais próxima de solucionar o problema, de não aplicar a pintura E-coat na rosca da conexão é a única maneira de eliminar o retrabalho e garantir a especificação 6H. Entretanto, foi avaliado entre os membros do time que a utilização de tampões geraria outros problemas, como aumento do tempo de processo, já que não se consegue implementar um tampão sem reduzir o diâmetro interno usado para o fluxo dos banhos, além disso, a montagem dos tampões também geraria gargalo e aumento de pessoas ao fluxo de trabalho. Outro problema, seria a limpeza destes tampões, já que precisariam ser limpos a cada ciclo de pintura, o que também geraria a necessidade de aumento de quadro para execução desta etapa.

Outra proposta que também foi avaliada foi a eliminação da pintura E-coat interna do reservatório. Isto permitiria que a rosca não fosse pintada. Após, a parte interna poderia ser pintada com pó e curada em forno. Contudo, esta condição foi descartada pelo simples fato deste processo obter uma série de modos de falhas já conhecidos, pois esta técnica era utilizada anteriormente, sendo o processo de pintura E-coat interna a evolução da pintura a pó interna.

Com base na avaliação destes cenários, o grupo, juntamente com a gerência e direção da empresa, decidiu que a melhor situação seria a realização de uma proposta ao cliente da eliminação da inspeção com passa do PNP 6H no final do processo e

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho tinha como objetivo a redução dos custos de retrabalho e inspeção no processo de fabricação de reservatórios de ar. Tais problemas são gerados principalmente pela dificuldade em garantir a especificação de rosca do cliente, havendo assim a necessidade de inspeção e retrabalho de praticamente 100% dos reservatórios. A dificuldade em questão pode ser justificada devido a tolerância ser relativamente pequena e pela quantidade de processos que este componente sofre ser expressivamente alta.

Também se tinham como objetivos específicos a realização dos mapas de processo, a identificação dos processos que causam maior variabilidade no dimensional das roscas, melhorar a estabilidade do processo de soldagem e proporcionar a empresa, de maneira geral, um conhecimento maior do processo de fabricação de reservatórios.

Após as análises e interpretações dos resultados, foi possível montar um plano de ação para o atingimento das metas deste trabalho. Este plano de ação consiste em uma série de itens, sendo o principal deles a tentativa da empresa alterar, com o cliente, a forma de verificação final do processo, substituindo a verificação de PNP 6H para a verificação com simulador de montagem 6H. Além disso, inclui a necessidade de estipular um nível de sujidade aceitável para que as pequenas partículas de tinta que ficam dentro do reservatório, após o processo de verificação, sejam consideradas como aceitáveis no produto.

Com relação aos objetivos específicos, estes, de forma geral, foram todos atendidos. Os mapas de processo foram feitos e utilizados para a etapa de análise. O processo de pintura E-coat foi identificado como o processo que causa a maior variação na rosca. Também houve, por parte da empresa, um maior conhecimento das variabilidades do processo. Já com relação a estabilidade do processo de soldagem, esta estima-se ser alcançada com a diminuição dos GAP's de soldagem, fator este que, a priori, foi elencado como maior gerador dos problemas de solda, como extravasamento, mordedura e cordão deslocado.

Ao analisar a implementação da metodologia Seis Sigma para a solução de um problema prático, foi possível perceber a sua robustez e capacidade de gerar soluções. O uso das ferramentas de análise estatísticas também foi uma grande contribuição para este trabalho, pois além de gerar resultados confiáveis, também gerou uma ótima visibilidade ao autor deste trabalho, já que este tipo de análise não é comumente utilizado na empresa.

Como o trabalho foi feito em uma empresa de grande porte, que, porém, não possui uma cultura de análise e solução de problemas usando metodologias, houve uma certa dificuldade por parte do autor deste trabalho em fazer com que o time seguisse o método proposto. Esta dificuldade foi encontrada durante todo o desenvolvimento do projeto, agravado pelo fato da necessidade da urgência solução do problema.

Outro fato que é importante destacar é que mesmo a possível solução do problema sendo a requisição de alteração da especificação pelo cliente, o trabalho desenvolvido, com auxílio da metodologia Seis Sigma, que possibilitou a empresa a ter embasamento e confiança em propor tal desfecho ao cliente. Todas as análises, resultados estatísticos e estudos feitos serviram para demonstrar que a melhor solução e a que geraria o menor número de falhas ao produto seria a troca da especificação da rosca, já que esta troca não acarretaria em prejuízo algum na montagem a ser realizada pelo cliente.

Sendo assim, aplicando todas as ações citadas na etapa da metodologia de melhoria, estando o cliente de acordo com a nova proposta, suponha-se que o resultado de reduzir 50% no custo do CNQ seja atingindo, pois projetando o custo do novo processo, mesmo que não eliminando completamente as etapas de inspeção, estima-se que esteja em torno de R\$40.231,28, contrapondo o custo atual de R\$88.302,14 mensais.

REFERÊNCIAS

MAFFEZZOLLI, Eliane C.; BOEHS, Carlos G., *Uma reflexão sobre o estudo de caso como método de pesquisa*, Revista da FAE, Curitiba, v.11, n.1, p.95-110, jan./jun. 2008.

STAKE, R. E. *The art of case study research*. Thousand Oaks, CA.: Sage, 1995

YIN, R. K. *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos*, Porto Alegre: Bookman, 2015.

J.R.C. TRANSPORTANTION, INC Disponível em: <http://www.jrctransportation.net/driver-safety/truck-air-brake-system-part-1/>

KRAJEWSKI, Lee; RITZMAN, Larry; MALHOTRA, Manoj. *Administração de Produção e Operações*. São Paulo: Pearson, 2010.

ARIENTE, Mariana; CASADEI, Marco; GIULIANI, Antônio; SPERS, Eduardo; PIZZIANATTO, Nadia, *Processo de mudança organizacional: estudo de caso do Seis Sigma*. Revista da FAE, Curitiba, v.8, n.1, p.81-92, jan./jun. 2005.

SILVA, Christian, *Gestão Estratégica de Custos: o custo meta na cadeia de valor*, Revista da FAE, Curitiba, v.2, n.2, maio/ago., 1999, p.17-26.

FRANCISCO, Leonardo, *Por que as ferramentas e os métodos de gestão da qualidade são importantes para a empresa*, Disponível em: <http://www.administradores.com.br/artigos/economia-e-financas/por-que-as-ferramentas-e-os-metodos-de-gestao-da-qualidade-sao-importantes-para-a-empresa/59103/>

GRAVES, Allen, *Six Sigma Glossary*, 2013. Disponível em: <http://www.sixsigmadaily.com/business-case/>

MARSHALL, Isnard; ROCHA, Alexandre; MOTA, Edmarson; QUINTELLA, Odair, *Gestão da Qualidade e Processos*, Rio de Janeiro: FGV, 2012.

NEVES, Guilherme, “*Falconi: a meta é tudo!*”, 2011. Disponível em: <https://www.baguete.com.br/noticias/negocios-e-gestao/18/11/2011/falconi-a-meta-e-tudo>

BATIANI, Jeison A., MARTINS, Rosemary, Diagrama Ishikawa, 2012. Disponível em: <http://www.blogdaqualidade.com.br/diagrama-de-ishikawa/>

CORDEIRO, José, *Reflexões sobre a Gestão da Qualidade Total: fim de mais um modismo ou incorporação do conceito por meio de novas ferramentas de gestão?*, Revista da FAE, Curitiba, v.7, n.1, p.19-33, jan./jun. 2004.

MARTINS, Rosemary, Matriz de Prioridade: GUT, 2012. Disponível em: <http://www.blogdaqualidade.com.br/matriz-de-prioridade/>

MARTINS, Rosemary, Histograma, 2012. Disponível em: <http://www.blogdaqualidade.com.br/histograma/>

PANDE, Peter; NEUMAN, Robert; CAVANAGH, Roland, *Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.

CONTI, Fátima, *Teste de Hipótese e Significância*, 2011. Disponível em: <http://www.ufpa.br/dicas/biome/biotestes.htm#topo>

WERKEMA, Cristina, *Criando a Cultura Lean Seis Sigma*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WERKEMA, Cristina, *Ferramentas Estatísticas Básicas do Lean Seis Sigma Integradas ao PDCA e DMAIC*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CALEGARE, Álvaro J. A., *Introdução ao Delineamento de Experimentos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2015.

CHOWDHURY, Subir, *O Poder do Seis Sigma*. Rio de Janeiro: Record, 2002.