



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA NAVAL

BRUNO RAFAEL LIMA FERNANDES

**APLICAÇÃO DE METODOLOGIA SEIS SIGMA COMO
INSTRUMENTO DE DIAGNÓSTICO DE PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO**

**Um estudo de caso na fabricação de perfis estruturais soldados do
tipo “T”**

Recife
2019

BRUNO RAFAEL LIMA FERNANDES

**APLICAÇÃO DE METODOLOGIA SEIS SIGMA COMO
INSTRUMENTO DE DIAGNÓSTICO DE PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO**

**Um estudo de caso na fabricação de perfis estruturais soldados do
tipo “T”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por Bruno Rafael Lima Fernandes como projeto de TCC2 do período acadêmico 2019.1 do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Claudino de Lira Junior

Recife

2019

BRUNO RAFAEL LIMA FERNANDES

**APLICAÇÃO DE METODOLOGIA SEIS SIGMA COMO
INSTRUMENTO DE DIAGNÓSTICO DE PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO**

**Um estudo de caso na fabricação de perfis estruturais soldados do
tipo “T”**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Pereira

Prof. Dra. Paula Suemy Arruda Michima

Prof. Cássia de Oliveira

CONCEITO FINAL: _____

Recife, 19 de julho de 2019

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, aos meus pais e a minha família que sempre acreditaram em mim e foram minha base nos momentos alegres e nos momentos difíceis durante minha formação acadêmica.

Ao orientador, Dr. Marcos Pereira, e coorientador Dr. Claudino de Lira Júnior, agradeço a atenção, paciência e conhecimento compartilhado para me instruir e auxiliar na construção deste trabalho de conclusão de curso, sem vossas ajudas, não seria possível concluir tal trabalho. Gostaria de agradecer também a pessoa que iniciou este trabalho comigo, o professor Marco Petkovic, mesmo não fazendo mais parte atualmente do corpo docente do curso de Engenharia Naval, contribuiu de forma valorosa para este trabalho.

Agradecer aos meus amigos de turma que compartilharam comigo desta jornada em busca dos seus sonhos. Gostaria de agradecer em especial a Alexandre Marques, Renan Hazin e Sergio Sangreman pelo auxílio nesta caminhada estando sempre ao meu lado para me aconselhar.

Por fim agradeço aos meus colegas de curso, ao corpo docente e a coordenação do curso de Engenharia Naval, que somaram um grande valor na minha vida acadêmica e pessoal.

“Educação é uma descoberta progressiva de nossa própria ignorância.”

Voltaire

RESUMO

O comércio internacional apresentou nas últimas décadas um grande crescimento devido à globalização da economia, acarretando um aumento da concorrência entre as empresas e nas exigências dos clientes. Este cenário global de comércio demanda que as empresas apresentem produtos ou serviços de qualidade a um custo cada vez mais reduzido. Não obstante, neste período a indústria naval brasileira entrou em declínio com a crise instaurada oriunda de casos de corrupção política que impactaram todo o país. Como consequência, a Petrobras, o maior cliente nacional, cancelou várias encomendas já contratadas, como também postergou o desenvolvimento de novos projetos, que afetaram dura e diretamente o planejamento financeiro dos estaleiros nacionais. Em face deste novo panorama, os estaleiros nacionais precisaram se reestruturar, trabalhando arduamente, para reduzir os custos de produção e manter a qualidade com foco na geração de condições propícias para competir no mercado internacional. A motivação do trabalho aqui apresentado tem origem em consistentes problemas identificados pela equipe de qualidade do estaleiro durante a fabricação dos perfis soldados em epigrafe, resultando em produtos fora das dimensões especificadas pelo projeto, conseqüentemente gerando uma quantidade significativa de retrabalho e rejeição de produtos, impactando diretamente na produtividade do estaleiro quando faz uso destes perfis na montagem de sub-blocos, blocos e seções dos navios em construção no estaleiro. Este trabalho tem como objetivo principal realizar a aplicação prática de conceitos do Seis Sigma para melhoria e solução do problema de variabilidade de qualidade de fabricação de perfis estruturais soldados do tipo "T" através da metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar). Esta metodologia é empregada na indústria naval, mais especificamente em um estaleiro localizado no estado de Pernambuco, com foco específico no processo de soldagem SAW no setor de longarinas estruturais. O estudo aqui realizado permitiu estabelecer a importância e o impacto que a aplicação dos conceitos do Seis Sigma podem trazer para a empresa.

Palavras-chaves: Controle de Qualidade. Seis Sigma. Soldagem. SAW. Estaleiro

ABSTRACT

The international market in the last decades has shown a great growth due to the globalization, resulting in an increase in competition and the customer demand. This global trading reality requires companies to deliver quality products or services at an ever-lower cost. requiring companies to improve their products or service quality at a reduced cost. However, during this period the Brazilian shipbuilding industry declined with the crisis that arose from cases of political corruption that impacted the entire country. As a result, Petrobras, the largest domestic customer, canceled several orders and contracted, as well as delayed the development of new projects, which affected directly the financial planning of the national shipyards. In view of this new scenario, national shipyards had work towards reducing costs while maintaining quality, in order to generate appropriate conditions to compete in the international market. The motivation of this work has origins on consistent quality problems identified by the shipyard's quality team during the manufacturing of the welded stiffeners, which implies on product out of dimension standards when compared to project specifications, that leded on high rates of repair and rejection of faulty products. This has led to negative impacts on shipyard productivity when using these welded components in sub assembling, assembling of blocks and ship sections construction. The main objective of this work is to apply the practical application of Six Sigma concepts to improve and solve the manufacturing quality variability problem of "T" welded structural stiffeners using the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). This methodology is applied in the naval industry, more specifically in a shipyard located in the state of Pernambuco, with the main focus on the SAW welding process in the structural stiffeners sector. The study conducted here has established the importance and impact that the application of Six Sigma concepts can bring to the company.

Keywords: *Quality Control. Six Sigma. Welding. SAW. Shipbuilding.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Níveis do programa Seis Sigma.....	23
Figura 2 - Esquema do processo de soldagem por Pressão.....	26
Figura 3 - Esquema do processo de soldagem por fusão.	27
Figura 4 - Esquema da distribuição de temperatura em um perfil de soldagem.....	28
Figura 5 - Relação entre a penetração e as variáveis primárias de soldagem (esquemática).....	29
Figura 6 - Representação da seção transversal de cordões de solda depositados por SAW em chapas de aço carbono mostrando a influência da corrente, tensão e velocidade de soldagem no formato do cordão.....	29
Figura 7 - Taxas de deposição comuns de alguns processos de soldagem kg/h.....	30
Figura 8 - Esquema do processo de soldagem arco submerso.	32
Figura 9 - Representação de tipos de chanfros.....	36
Figura 10 - Representação de tipos de chanfros.....	36
Figura 11 e 12 - Variações no <i>stickout</i> e influência na voltagem do processo de soldagem SAW.....	37
Figura 13 e 14 - Variações no <i>stickout</i> e influência na composição do cordão de solda no processo de soldagem SAW.....	37
Figura 15 - Fluxo geral de calor na soldagem por fusão.	38
Figura 16 - Processos de soldagem e sua faixa usual de intensidade da fonte.....	38
Figura 17 - Equipamento necessário para soldagem SAW.....	39
Figura 18 - Esquema de soldagem SAW <i>single wire</i>	41
Figura 19 - Esquema de soldagem SAW <i>Twinwire</i>	41
Figura 20 - Esquema de soldagem SAW <i>tandem wire</i> . 01 – Single + single; 02 – <i>Single twin</i> ; 03 – <i>Twin + twin</i>	41
Figura 21 - Esquema de soldagem SAW por <i>multiwire</i>	42
Figura 22 - Contração transversal.....	46
Figura 23 - Equação de Spraragen-Ettinger.....	47
Figura 24 - Contração longitudinal.	47
Figura 25 - Equação de King.....	48
Figura 26 - Distorção angular.....	48
Figura 27 - Diagrama do PDCA.....	53
Figura 28 - Diagrama do PDCA para o método MASP.	54

Figura 29 - Descritivo do fluxo de informações do MASP.	54
Figura 30 - Comparativo PDCA e DMAIC.	56
Figura 31 - Modelo da ferramenta SIPOC.	59
Figura 32 - Modelo de fluxograma.	61
Figura 33 - Gráfico de controle sobre reclamações ao longo do tempo.	62
Figura 34 - Modelos de Histogramas.	63
Figura 35 - Diagrama de Ishikawa.	63
Figura 36 - Análise de fatores/causas por impacto.	64
Figura 37 - Diagrama de pareto.	65
Figura 38 - Máquina Corimpex.	68
Figura 39 - Sistema JAMO JMMF.	69
Figura 40 - Nomenclatura do conjunto arame-fluxo de acordo com a AWS.	70
Figura 41 - Especificação técnica do Aço AH32.	72
Figura 42 - Gráfico de Pareto referente a indicadores de qualidade dos perfis soldados a partir dos dados disponibilizados pelo cliente	75
Figura 43 - Fluxograma do processo de fabricação de perfis soldados tipo “T” no Estaleiro “PE”	81
Figura 44 - Pátio de chapas.	82
Figura 45 - Área de recebimento de chapas após o tratamento de superfície.	83
Figura 46 - Máquina de Corte.	83
Figura 47 - Buffer intermediário de almas e flanges cortados.	84
Figura 48 - Mesa de preparação de peças para iniciar o processo de montagem de perfis.	84
Figura 49 - Mesa da montadora de perfis.	85
Figura 50 - Máquina Corimpex realizando a soldagem de perfis.	85
Figura 51 - Células de desempenho. Aplicação de linhas de calor para tratar desempenos.	86
Figura 52 - Preparação de Flanges, tratamento de superfície.	86
Figura 53 - Aferição dimensional de perfis.	87
Figura 54 - Área de expedição de perfis.	87
Figura 55 - Armazenamento de produtos acabados.	88
Figura 56 - Layout do processo.	88
Figura 57 - Máquina Corimpex realizando a soldagem de perfis.	89
Figura 58 - Forno industrial JAMO.	90

Figura 59 - Fonte de Energia Lincoln	90
Figura 60 - Arame de adição utilizado no processo.	91
Figura 61 - Fluxo utilizado no processo.....	91
Figura 62 - Aferição dimensional dos flanges e almas antes do processo de soldagem.....	92
Figura 63 - Diagrama de Ishikawa.	99
Figura 64 - Evidência de empenos dos perfis após a soldagem.	105
Figura 65 - Evidência de empenos dos perfis após a soldagem	105
Figura 66 - Aplicação de linhas de calor para conformar os perfis.....	106
Figura 67 - Perfil montado passando pelas placas de indução.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de Arames.....	33
Tabela 2 - Composição química de arames.....	34
Tabela 3 - Método de 5W1H.....	65
Tabela 4 - Definições gerais da máquina de solda Corimpex.....	67
Tabela 5 - Especificação do arame.....	70
Tabela 6 - Composição química do arame de acordo com a AWS.....	71
Tabela - Composição química do fluxo de acordo com a AWS.....	71
Tabela 8 - Esquema SIPOC para o processo de soldagem SAW no estaleiro PE.....	77
Tabela 9 - Esquema VOC e CTQ para o processo de soldagem SAW no estaleiro PE.....	78
Tabela 10 - Cronograma inicial para concluir as etapas do processo DMAIC.....	79
Tabela 11 - Análise de causa raiz pelo método dos 5 porquês.....	111
Tabela 12 - Análise de causa raiz pelo método dos 5 porquês.....	111
Tabela 13 - Plano de ação 5W1H para o processo de soldagem SAW.....	112
Tabela 14 - Cronograma de atividades realizadas pelo estudante.....	115

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Análise dimensional de Almas e Flanges antes da Soldagem.....	93
Gráfico 02 - Contração dos elementos do perfil de acordo com o comprimento da peça	95
Gráfico 03 - Contração dos elementos do perfil de acordo com os parâmetros de soldagem.....	96
Gráfico 04 - Contração da variação de contração da Alma.....	96
Gráfico 05 - Contração da variação de contração do Flange.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	<i>American Bureau of Shipping</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
CEP	Controle Estatístico de Processo
CTQ	<i>Critical to Quality</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>
EPS	Especificação do Processo de Soldagem
HH	Homem x Hora
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
SAW	<i>Submerged Arc Welding</i>
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Output, Client</i>
TPB	Tonelada de Porte Bruto
VOC	<i>Voice Of Customer</i>
ZTA	Zona Termicamente Afetada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	20
3.2	SITUAÇÃO ATUAL DA INDÚSTRIA NAVAL	20
3.3	HISTÓRICO DO SEIS SIGMA.....	21
3.4	DEFINIÇÕES DO SEIS SIGMA	22
3.5	METODOLOGIAS DO SEIS SIGMA.....	24
3.6	BENEFÍCIOS DO SEIS SIGMA	25
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
4.1	DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM	26
4.2	TIPOS DE SOLDAGEM.....	31
4.3	SOLDAGEM ARCO SUBMERSO.....	31
4.3.1	Consumíveis	33
4.3.2	Escória	34
4.3.3	Material Base	35
4.3.4	Poça de fusão	35
4.3.5	Zona termicamente afetada (ZTA)	35
4.3.6	Aporte térmico e deposição de solda para soldagem SAW	35
4.3.7	Tipo de Chanfro	35
4.3.8	Distância do eletrodo com a peça (<i>stickout</i>)	36
4.3.9	Fontes de Energia	37
4.3.10	Maquinário necessário	39
4.3.11	Tipos de processo	40
4.3.12	Vantagens e Desvantagens do processo	42
4.4	QUALIDADE DE SOLDA.....	43
4.4.1	Material de Solda	43
4.4.2	Procedimento de Soldagem	44
4.4.3	Mão de Obra	45
4.5	DISTORÇÃO DE SOLDA	45
4.5.1	Contração transversal	46

4.5.2	Contração longitudinal	47
4.5.3	Distorção angular	48
4.5.4	Como controlar distorções	48
4.6	TRATAMENTO TÉRMICO.....	49
4.6.1	Pré-aquecimento	50
4.7	QUALIDADE, COMPETITIVIDADE E PRODUTIVIDADE.....	51
4.8	CONTROLE DE PROCESSO.....	52
4.9	PDCA.....	53
4.10	CEP	55
4.11	DMAIC	55
4.11.1	Definir	56
4.11.2	Medir	57
4.11.3	Analisar	57
4.11.4	Implementar	58
4.11.5	Controlar	58
4.12	SIPOC.....	59
4.13	VOZ DO CLIENTE (VOC).....	60
4.14	CRITICAL TO QUALITY (CTQ)	60
4.15	FLUXOGRAMA.....	60
4.16	CARTA DE CONTROLE	61
4.17	GRÁFICO DE CONTROLE.....	62
4.18	BRAINSTORM.....	62
4.19	HISTOGRAMA.....	62
4.20	DIAGRAMA DE ISHIKAWA	63
4.21	CINCO PORQUÊS	64
4.22	GRÁFICO DE PARETO.....	64
4.23	5W1H.....	65
4.24	INDICADOR DE DESEMPENHO - KPI	66
5	METODOLOGIA	67
5.1	ESTUDO DE CASO.....	67
5.2	PROCESSO DE SOLDAGEM (ARCO SUBMERSO)	67
5.2.1	Máquina de Solda – Corimpex	67
5.2.2	Pré-Aquecimento	68
5.2.3	Consumíveis	69
5.2.4	Material Base	71

5.3	PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM	73
6	RESULTADOS OBTIDOS.....	74
6.1	DEFINIR	74
6.2	FASE MEDIR.....	80
6.2.1	Coleta de dados dimensionais dos perfis soldados.....	92
6.3	FASE ANALISAR.....	99
6.3.1	Procedimentos e Auditoria de Processo	101
6.3.2	Medição – Metrologia	107
6.3.3	Operadores – Mão de obra.....	107
6.3.4	Análise da máquina	107
6.3.5	Suprimentos.....	110
6.3.6	Plano de Ação – 5W1H	112
6.4	FASE IMPLEMENTAR.....	113
6.5	FASE CONTROLAR	114
7	DISCUSSÃO	115
8	CONCLUSÃO.....	118
9	TRABALHOS FUTUROS	119
	REFERÊNCIAS.....	120
	ANEXOS	122
	ANEXO A – Planilha de coleta de dados (antes e após a soldagem)	122
	ANEXO B – Carta de controle utilizada para coletar informações dimensionais dos perfis	128
	ANEXO C – Análise de paradas e quebras de componentes da máquina de solda	129
	ANEXO D – Variação de dimensional adotada pela ABS.....	133

1 INTRODUÇÃO

A globalização da economia global não é mais um assunto novo, e ela vêm quebrando inúmeras barreiras comerciais internacionais rapidamente, com isso, as oportunidades comerciais e concorrência do mercado crescem no mesmo ritmo. Com este cenário favorável, clientes procuram com mais facilidade produtos ou serviços que atendam suas necessidades ao menor custo. (FALCONI, 2014)

Por outro lado, os fornecedores de produtos e serviços têm que lutar para manter ou melhorar a qualidade de seus produtos enquanto reduzem os custos refletidos para os potenciais clientes. A consequência prática disto é uma constante pressão sobre as empresas para a melhoria da produtividade e aumento da qualidade de seus produtos e serviços, exigindo que busquem constantemente por alternativas técnicas que permitam alcançar suas metas comerciais.

Como reflexo deste cenário globalizado, sistemas, métodos e ferramentas de qualidade começaram a ser utilizadas em organizações pioneiras, como a Motorola, que desenvolveu a metodologia do Seis Sigma na década de 80, que permitiu aumentar a confiabilidade do produto final e a redução de perdas financeiras indesejadas. Com a divulgação dos ganhos obtidos e o recebimento do Prêmio *Malcolm Baldrige* pela Motorola, o Seis Sigma tornou-se popular. Os resultados alcançados pela Motorola levaram a empresas como *General Electric* (GE) e a *International Business Machines Corporation* (IBM) a apostarem nesta nova metodologia de gestão de processos e igualmente apresentarem ganhos expressivos.

A metodologia do Seis Sigma é baseada nos princípios desenvolvidos por autores, hoje consagrados mundialmente, na área de qualidade como Juran, Shewhart, Deming e Ishikawa. Estes autores construíram conceitos e metodologias que hoje são intrínsecos a qualquer organização que preza pela melhoria de processo, aumento da competitividade, satisfação do cliente, além de outros aspectos relevantes para a garantia da competitividade das organizações que fazem uso das mesmas. A diferenciação do Seis Sigma está no fato de que a metodologia trabalha com foco no atendimento das necessidades e características de qualidades críticas demandadas pelo cliente, reduzindo assim a variabilidade do processo à quase zero. (WERKEMA, 2012b).

Para a aplicação do Seis Sigma nas empresas, existem diversas metodologias que devem ser devidamente selecionadas conforme a necessidade e o foco desejado. A metodologia mais comumente aplicada, e em especial a que foi utilizada para realizar esse trabalho é conhecida como DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar).

Neste trabalho, a aplicação da metodologia Seis Sigma foi empregada em um estaleiro, para realizar um diagnóstico da linha de fabricação de perfis soldados tipo “T”, devido às variabilidades dimensionais apresentadas pelos produtos soldados acabados desta linha de fabricação.

Por razões de confidencialidade, refecíamos a empresa como Estaleiro “PE”. O Estaleiro está localizado na região nordeste do Brasil, é um produtor de navios de médio a grande porte, capaz de produzir embarcações do tipo tanque, graneleiros, contêineres, plataformas offshore dentre outros.

Devido às dificuldades econômicas enfrentadas, motivadas pela situação político-econômica brasileira com início no ano de 2014, todo o setor industrial brasileiro entrou em declínio de atividades, e para a indústria de construção naval não foi diferente. Dentre os principais fatores que influenciaram a crise na indústria de construção naval está o episódio do cancelamento de inúmeros contratos, projetos e suspensão de encomendas futuras da Petrobras, o maior cliente dos estaleiros brasileiros.

Para se manter competitivo internacionalmente no mercado de construção naval e offshore a redução de custos de produção se tornou urgente. Para este fim, o estaleiro “PE”, optou pelo uso de ferramentas de qualidade no seu chão de fábrica para alavancar a produtividade e melhorar a qualidade de seus produtos. É importante frisar que, devido ao cenário instável da economia brasileira durante a execução deste trabalho, o Estaleiro “PE” apresentou grandes dificuldades financeiras, impactando diretamente no chão de fábrica, com conseqüente impacto na realização do trabalho aqui proposto. O ambiente de coleta de dados tornou-se de difícil acesso à informação devido à elevada rotatividade dos colaboradores do estaleiro. Devido a estas inesperadas dificuldades o tempo necessário para a realização das etapas de coleta de dados e análise foi consideravelmente expandido, sendo possível apenas realizar a entrega do diagnóstico do processo no entorno do problema estudado, não sendo possível, portanto, acompanhar as fases “Implementar” e “Controlar” para concluir todo o ciclo DMAIC. Esta é a razão que este trabalho está sendo apresentado como

um diagnóstico apenas, apesar de se entender que se as conclusões e recomendações aqui apresentadas forem futuramente implementadas pelo estaleiro, é esperado que o objetivo de melhoria de produtividade e qualidade dos produtos analisados seja atingido com sucesso.

O trabalho aqui apresentado foi dividido conforme a seguinte ordem cronológica:

No capítulo 1, é feita uma introdução ao assunto considerando o contexto onde ele está inserido. No capítulo 2 são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho. No capítulo 3, é apresentada uma revisão bibliográfica, onde são apresentados conceitos, metodologias e opiniões existentes na literatura pública advinda de outros pesquisadores e autores acerca da metodologia Seis Sigma.

No capítulo 4 é apresentada a fundamentação teórica a respeito da metodologia DMAIC, bem como as ferramentas da qualidade que foram utilizadas para fazer a análise da causa raiz do problema e do processo de soldagem utilizado. No capítulo 5 é apresentada a metodologia do trabalho onde é apresentado um delineamento do estudo de caso, que é foco deste trabalho.

No capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos. É detalhado especificações do processo de soldagem (SAW) utilizado na fabricação dos perfis estruturais tipo "T". Também se encontra neste capítulo detalhes de como foi feita a utilização do Seis Sigma para realizar um diagnóstico da análise da causa raiz referente ao problema de variação dimensional da linha de produção avaliada. No capítulo 7 é realizada uma discussão dos resultados obtidos a partir da aplicação prática da metodologia Seis Sigma. No capítulo 8, são apresentadas as conclusões das análises realizadas, onde os objetivos propostos na fase inicial do trabalho são respondidos. No capítulo 9 são apresentadas sugestões de trabalhos futuros que podem corroborar com o objetivo de aumento da qualidade do produto.

Por fim, as referências bibliográficas e anexos, que trazem informações complementares ao estudo de caso, finalizam esta obra.

2 OBJETIVOS

Nesta seção o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho são apresentados a seguir.

2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar conceitos e metodologia do Seis Sigma para realizar um diagnóstico do processo de fabricação de perfis estruturais soldados de aplicação naval que apresentam variabilidade de dimensões axiais no produto acabado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o uso de conceitos do Seis Sigma, a metodologia DMAIC e ferramentas de qualidade associadas, na aplicação ao setor industrial naval;
- Estudar o processo de soldagem por arco submerso e suas aplicações;
- Elaborar uma proposta de melhoria para redução de retrabalho de soldagem;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nas últimas décadas houve um aumento da competitividade entre as empresas para conquistar seu espaço ou se manter no mercado. Isto se deu pela globalização da economia mundial, pois foram reduzidas gradualmente as barreiras e dificuldades para comercialização de produtos e serviços em escala global. Isto resultou no surgimento de um mercado com amplas alternativas de compra ao consumidor, dificultando sua fidelização à uma única empresa. Neste contexto competitivo o sucesso das empresas está vinculado às suas habilidades e flexibilidade em alterar seus processos produtivos, buscando a melhoria contínua de seus processos e/ou serviços, para atender a demanda crescente dos seus clientes com um menor custo e maior qualidade. (AIZED, 2012)

3.2 SITUAÇÃO ATUAL DA INDÚSTRIA NAVAL

A indústria naval mundial não se exclui deste cenário competitivo. Sendo de particular interesse a indústria naval brasileira, que não atingiu na última década patamares de produtividade compatíveis com a concorrência, dificultando ainda mais a sua competitividade no mercado internacional. Moura e Botter (2011) aplicaram uma pesquisa exploratória nos estaleiros nacionais, sendo levantados quais são os pontos necessários para o sucesso de um estaleiro na indústria naval brasileira. As informações foram coletadas de 31 estaleiros nacionais de diferentes especialidades como: construção naval, reparo naval, construção de plataforma de petróleo e construção náutica.

Segundo os autores, os estaleiros que buscaram uma maior competitividade no mercado precisaram fortalecer pontos específicos, que os autores classificaram como fatores críticos e essenciais, para se destacar na indústria naval brasileira, são eles: mão de obra qualificada, gerenciamento e melhoria do sistema de qualidade, participação de fornecedores (comunicação) durante o projeto e integração entre estaleiros e universidades.

Na pesquisa desenvolvida, os autores afirmam que um sistema de qualidade eficaz influencia positivamente a competitividade de um estaleiro. Baseado nisso, pesquisadores e indústrias estudaram diversas ferramentas que se ajustam à sua realidade e que promovem o aumento da qualidade, melhorando assim o desempenho e a lucratividade das empresas (WERKEMA, 2013).

Entre as metodologias para a melhoria do sistema de qualidade, o Seis Sigma está sendo bastante utilizado e tem apresentado resultados positivos às empresas que o adotam como metodologia de análise e execução de melhorias.

No trabalho publicado por Andrietta e Cauchick (2007) se verificou que foi realizado um esforço para entender o perfil, lições aprendidas e melhorias das empresas nacionais que fazem uso do Seis Sigma. A partir dos dados apresentados pelos autores, observa-se que as aplicações da metodologia nas empresas apresentaram cunho estratégico, sendo implantada em quase todas as áreas funcionais das organizações avaliadas, visando obter a redução de desperdícios como principal benefício. A maior parte das empresas que participaram do estudo implementaram o Seis Sigma através da metodologia DMAIC, conduzindo cerca de 5 projetos por ano, resultando em um retorno financeiro médio da ordem de 51 a 100 mil reais.

3.3 HISTÓRICO DO SEIS SIGMA

O Seis Sigma é um conjunto de práticas industriais originalmente desenvolvidas pela Motorola para melhorar sistematicamente os processos ao eliminar defeitos. Um defeito é definido como a não conformidade de um produto ou serviço com suas especificações. Com a divulgação dos ganhos obtidos com o desenvolvimento e implantação do Seis Sigma a Motorola recebeu o Prêmio *Malcolm Baldrige* de Qualidade e o Seis Sigma passou a ser reconhecido como responsável pelo sucesso alcançado (SENAPATI, 2004 apud ANDRIETTA e CAUCHICK, 2007).

Outras empresas também se interessaram pelo Seis Sigma, tais como: Texas Instruments (em 1988), IBM - *International Business Machines Corporation* (em 1990), ABB - *Asea Brown Boveri* (em 1993), *Allied Signal* e *Kodak* (em 1994) e a GE - *General Electric* (em 1996).

Nos primórdios da aplicação do Seis Sigma os maiores ganhos reportados da sua aplicação estão atribuídos à *General Electric*, que após três anos obteve uma economia de mais de US\$ 1,5 bilhões, conquistando a posição de uma das corporações mais bem-sucedidas dos Estados Unidos à época. (ANTONY, BAÑUELAS; 2002).

No Brasil, o Seis Sigma foi introduzido em 1997 pelo Grupo Brasmotor, que alcançou um retorno econômico de R\$ 20 Milhões em 1999. (WERKEMA, 2002, apud, CLETO, 2011, p.211).

Contextualizando para o cenário atual, as organizações que aplicam o Seis Sigma vêm superando a máxima: “Quinze reais de ganho para cada real investido”. Existindo projetos que apresentam ganhos da ordem de milhões de reais ao ano (WERKEMA, 2013).

3.4 DEFINIÇÕES DO SEIS SIGMA

Werkema (2012a), define o Seis Sigma como sendo:

Uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa que tem por objetivo aumentar drasticamente a lucratividade da empresa, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e pelo aumento da satisfação dos clientes e consumidores.

O Seis Sigma trabalha diretamente alinhado com os objetivos estratégicos da empresa e com o atendimento dos requisitos de qualidade do cliente. Para que o projeto obtenha sucesso, é necessária uma compreensão das características críticas da qualidade (CTQ – *Criticals to Quality*). CTQ são características do produto ou processo que são consideradas críticas em relação ao impacto sobre os requisitos do cliente, desempenho, qualidade ou confiabilidade. Assim, pode-se selecionar um projeto que se sustente e traga ganhos reais para a organização (FALCONI, 2014).

O Seis Sigma visa criar uma nova cultura para trazer ganhos à organização pela redução de variabilidades e desperdícios, resultando em ganhos de produção e lucratividade. A aplicação desta mudança de pensamento da organização começa pela modificação das tomadas de decisões. A principal mudança é fazer com que as tomadas de decisões não sejam mais influenciadas pela experiência do colaborador da atividade, e sim por dados estatísticos que podem ser quantificados e qualificados

pelo uso de ferramentas de qualidade, para um melhor entendimento do problema em questão. (WERKEMA, 2012a).

Segundo Figueiredo (2006, p. 12), foi afirmado que pela transformação dos dados da organização em dados estatísticos, e solucionando a problemática matematicamente, obtém-se dados úteis e confiáveis para o seu processo. Desta forma, aplicando a visão estatística ao processo pode-se obter um melhor entendimento e controle da sua variabilidade.

A referência à análise estatística está presente no seu nome e se dá pela letra Sigma do alfabeto grego (σ), que representa matematicamente o desvio padrão em uma distribuição normal de valores. O Seis Sigma busca que a organização tenha o processo ou produto com praticamente zero falhas. Para garantir o nível Seis Sigma, o processo ou produto analisado deve apresentar somente 3,4 peças com falhas a cada milhão de oportunidades, conforme figura 1 abaixo (WERKEMA, 2012a).

Figura 1 - Níveis do programa Seis Sigma.

Nível da qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Custo da não qualidade (percentual do faturamento da empresa)
Dois sigma	308.537	Não se aplica
Três sigma	66.807	25 a 40%
Quatro sigma	6.210	15 a 25%
Cinco sigma	233	5 a 15%
Seis sigma	3,4	< 1%

Fonte: Werkema (2012a)

Segundo Aguiar (2012), as características principais do Seis Sigma são:

- O foco da organização deve ser o atendimento a partir das necessidades do cliente, desenhando seus processos e metas para alcançarem a excelência desejada, garantindo a sobrevivência da empresa;
- Obter *feedbacks* constantes de satisfação do cliente, tendências de mercado e sobre seus concorrentes no mercado;
- Metas e projetos a serem desenvolvidos devem estabelecer um retorno monetário à organização;
- Aperfeiçoamento e capacitação dos profissionais;
- Eliminar atividades que não agregam valor;
- Os problemas da empresa são problemas dos seus empregados. Isto traz a ideia de coletividade e união da organização, visando a sinergia dos vários setores que a compõe;

- Padronização na condução e solução de um problema.

3.5 METODOLOGIAS DO SEIS SIGMA

Segundo Aguiar (2012), o Seis Sigma pode ser estruturado por diversas metodologias para solução de problemas como descrito abaixo:

- M/PCpS: (*machine/process characterization study*), que é um estudo para a caracterização e otimização de processos, visando eliminar a perda de tempo e dinheiro;
- DMAIC: São as iniciais para as etapas: *define* (definir), *measure* (medir), *analyse* (analisar), *improve* (melhorar) e *control* (controlar);
- DFSS: *Design for Six Sigma*;
- DMADV: Contempla as fases: *define* (definir), *measure* (medir), *analyse* (analisar), *design* (projetar) e *verify* (verificar);
- DMEDI: Contempla as etapas: *define* (definir), *measure* (medir), *explore* (explorar), *develop* (desenvolver) e *implement* (implantar).

De todos os métodos de solução de problemas mencionados, o mais utilizado atualmente é o DMAIC, em virtude de contemplar cinco etapas que conseguem na maior parte dos projetos Seis Sigma, estruturar a implantação, desenvolvimento e conclusão dos projetos selecionados (ANTONY; BAÑUELAS, 2002).

A metodologia DMAIC foi utilizada no estudo deste trabalho, devido ao acesso abundante de literatura e também por ser o método utilizado pela empresa onde este projeto foi originalmente concebido e realizado.

Segundo Werkema (2013), a metodologia DMAIC incorpora cinco processos chave, e estes processos podem ser interpretados como descrito abaixo.

- Pré - estudo e Definir (D): Identificação das oportunidades de melhorias e definição do escopo do projeto;
- Medir (M): Determinação do foco do problema;
- Analisar (A): Determinação das causas raízes;
- Implementar (I): Implementação das soluções dos problemas;
- Controlar (C): Garantir que o objetivo alcançado se perpetue.

3.6 BENEFÍCIOS DO SEIS SIGMA

Rotondaro (2002) afirma que os principais benefícios da aplicação do Seis Sigma para as empresas são:

- Maior rapidez e probabilidade de sucesso na implantação das iniciativas de aumento de produtividade;
- Expectativa de mudanças e ganhos substanciais;
- Habilidade para alavancar a quantidade de iniciativas e implantação de ideias;
- Mudanças e otimizações radicais e inovadoras;
- Promover mudança de cultura organizacional;
- Força de trabalho mais motivada e capacitada;
- Mapeamento dos processos e atividades existentes;
- Maior satisfação dos clientes;
- Ganhos expressivos também com fornecedores;
- Menor custo de transações (menor necessidade de conferências e reparos);
- Ganhos financeiros bem determinados.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

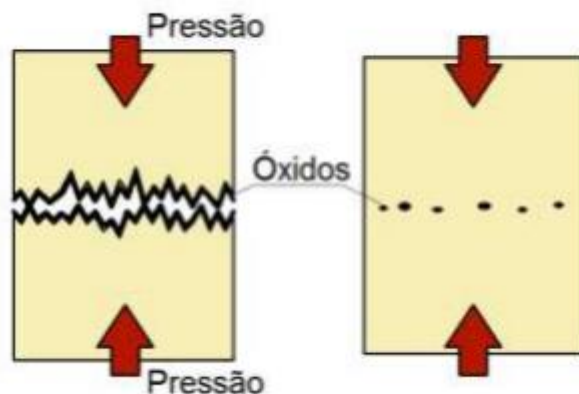
4.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM

Segundo a AWS (2010), a soldagem é definida como “processo que visa a coalescência localizada produzida por uma fonte de calor até uma temperatura adequada com ou sem adição de pressão ou metal de adição.”

Segundo Modenesi (2012), os processos de soldagem são divididos em dois grandes grupos de processos de soldagem:

Processos de soldagem por pressão que consistem na aplicação de pressões elevadas de forma a deformar plasticamente as superfícies metálicas. Em geral, a união é obtida principalmente pela deformação do material nas regiões de contorno da junta. Para isto, em vários desses processos, essa região é aquecida em relação ao restante das peças (figura 2).

Figura 2 - Esquema do processo de soldagem por Pressão.



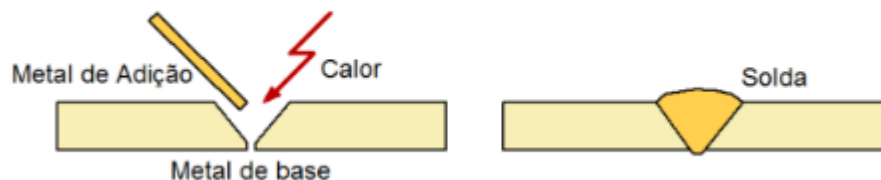
Fonte: Modenesi (2012)

Este processo pode ser estratificado em processo de soldagem com resistência e por fricção, diferenciando-se entre si pelo modo como é realizado o aquecimento das regiões de contorno para soldagem. Nos processos de soldagem por resistência, o aquecimento é realizado pela passagem de uma corrente elétrica elevada em função de uma maior resistência elétrica no contato entre as peças e/ou das conduções de extração de calor na junta. Nos processos de soldagem por fricção, o aquecimento é realizado pelo atrito entre as superfícies das peças colocadas em movimento relativo e a deformação final pela aplicação, imediatamente a interrupção do movimento entre as peças, de uma força de compressão.

Nestes processos descritos, em geral, as temperaturas atingidas pelo material são inferiores àquelas atingidas na soldagem por fusão. Desta forma, as alterações de estrutura metalúrgica e propriedades mais significativas ocorrem na soldagem por fusão. Como estes processos não serão o foco deste trabalho, será melhor detalhado o processo de soldagem por fusão.

Processos de soldagem por fusão consistem na aplicação localizada de calor por um arco elétrico (ou outras fontes de calor compatíveis) na região de união para a fusão do material base e do metal de adição (quando este for utilizado), produzindo a ligação pela solidificação do metal fundido, resultando no cordão de solda (Figura 3).

Figura 3 - Esquema do processo de soldagem por fusão.



Fonte: Modenesi (2012)

A abertura do arco elétrico consiste basicamente em uma descarga elétrica sustentada por um gás ionizado, a altas temperaturas, conhecido como plasma, produzindo energia suficiente para garantir a fusão das peças a serem unidas e/ou do material de adição.

Este processo apresenta uma elevada eficiência na transformação de energia elétrica em energia térmica. O calor gerado (aporte de calor) neste processo é estimado pelos seus parâmetros elétricos, como descritos na equação 1.

$$H = \left(\frac{V * I}{v} \right) \eta$$

Equação 1 - Aporte de calor de soldagem.

Onde:

H: aporte de calor (J/mm);

V: tensão aplicada (V)

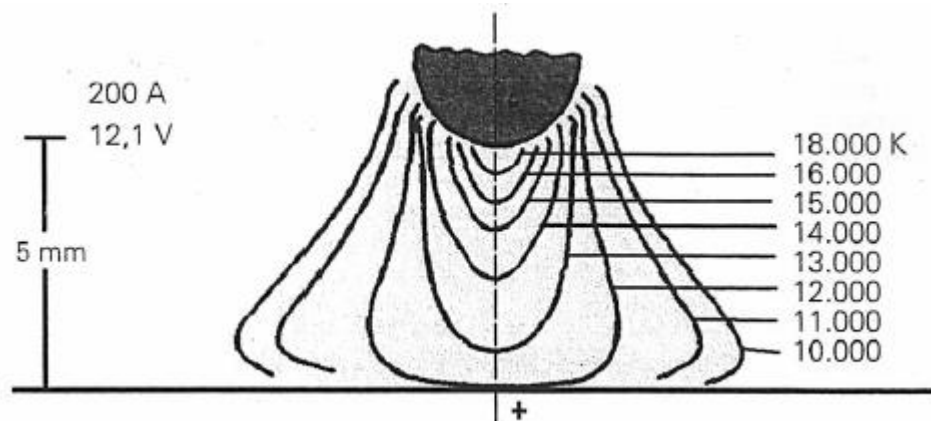
I: corrente elétrica (A)

v: velocidade de soldagem (mm/s)

η : eficiência térmica da soldagem (%)

A figura 4 mostra um exemplo de perfil térmico de um arco elétrico entre um eletrodo de tungstênio e uma peça de cobre refrigerada a água, com um *stickout* (distância eletrodo-peça) de 5mm. Note que a distribuição de temperatura não é uniforme no arco elétrico.

Figura 4 - Esquema da distribuição de temperatura em um perfil de soldagem.



Fonte: Modenesi (2006)

Para garantir uma junta soldada com as propriedades mecânicas desejadas, os parâmetros de soldagem devem ser dimensionados de forma segura e com qualidade.

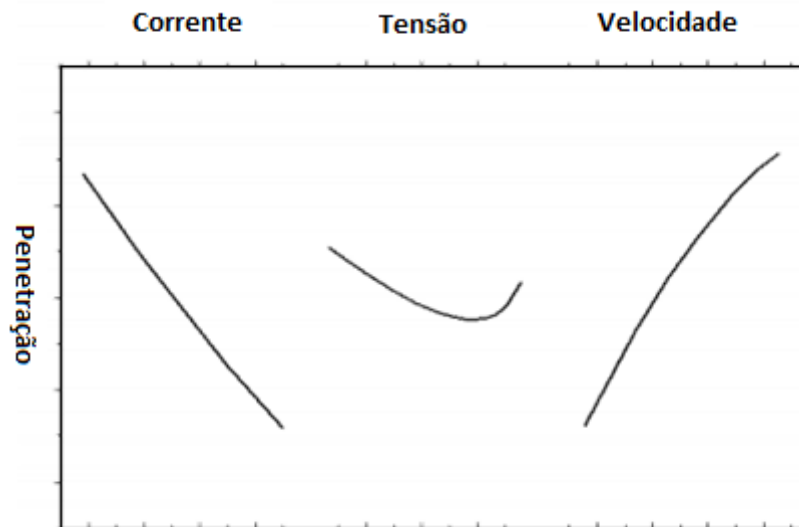
Segundo Modenesi (2012), existem parâmetros críticos de controle que influenciam a qualidade do cordão de solda produzido, portanto estes parâmetros devem ser monitorados durante o processo (figura 5 e 6). Os parâmetros críticos a serem monitorados são:

Corrente Elétrica (Amperagem): Tem uma relação direta com a quantidade de calor transferido para a peça (QC), sendo, portanto, uma variável fundamental para determinar a quantidade (volume) de fusão do metal de base (da peça a se unir) e a penetração (profundidade) da solda;

Tensão (Voltagem): Tem um menor efeito na penetração, pois variações desta causam maiores efeitos na coluna do arco cujo calor gerado é transmitido principalmente na direção radial, influenciando na largura do cordão de solda;

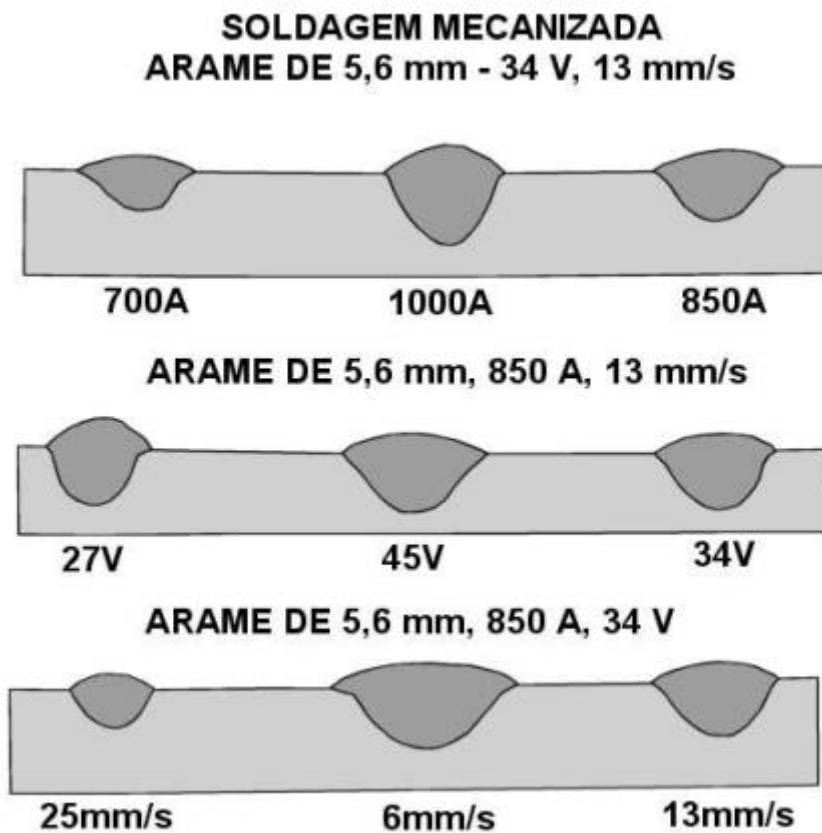
Velocidade de avanço (velocidade de translado do arco): Está associada com a quantidade de energia fornecida por unidade de comprimento da junta. Isto é, uma velocidade de soldagem mais baixa, expõe a peça durante um tempo maior ao fluxo de calor do arco elétrico, conseqüentemente promove uma maior penetração da solda. No caso de uma velocidade maior, tem-se uma menor penetração.

Figura 5 - Relação entre a penetração e as variáveis primárias de soldagem (esquemática).



Fonte: Adaptado de Modenesi (2012)

Figura 6 - Representação da seção transversal de cordões de solda depositados por SAW em chapas de aço carbono mostrando a influência da corrente, tensão e velocidade de soldagem no formato do cordão.

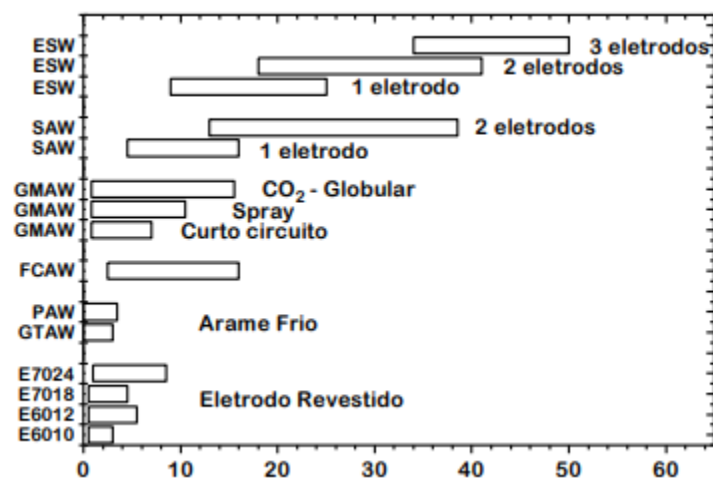


Fonte: Adaptado de AWS D1.1

Velocidade do arame (Velocidade de alimentação do arame): Este parâmetro junto com a corrente e tensão escolhida para o cordão de solda deve ser bem

controlada para obter uma taxa de deposição (volume depositado) ótima. Fixando os parâmetros de corrente e tensão, temos dois cenários não adequados caso a velocidade de alimentação do arame não esteja adequada. No primeiro cenário, caso a velocidade esteja acima do desejado, haverá uma deposição maior que o necessário, causando irregularidades, descontinuidades de solda e/ou influenciando na abertura do arco durante o processo. No segundo cenário, caso a velocidade esteja abaixo do desejado, pode haver falta de penetração e/ou interrupção na abertura do arco elétrico.

Figura 7 - Taxas de deposição comuns de alguns processos de soldagem kg/h.



Fonte: Modenesi (2012)

Contudo, outros fatores devem ser levados em consideração na escolha do processo de soldagem a serem utilizados, como restrições ou necessidades especiais do processo, como posição de soldagem, ambiente a ser soldado, nível de acabamento, necessidade de alta velocidade de soldagem para atendimento a manufatura de fábricas e outros. Para isto, normas de associações (exemplo: AWS – *American Welding Society*) e sociedade classificadoras (exemplo: ABS – *American Bureau of Shipping*) dispõem de tabelas auxiliares para o dimensionamento das juntas soldadas. (MACHADO, 2007)

Devido à grande gama de variações de utilização do arco elétrico como fonte de calor, este processo de soldagem é mais comumente utilizado quando comparado ao processo de soldagem por pressão. Além disso, a soldagem a arco elétrico proporciona ótimas características, como: facilidade de controle, baixo custo relativo do equipamento, concentração do calor produzido necessário para a fusão do material base dentre outras. Por estas razões o arco elétrico é utilizado nos mais diversos

setores industriais, como fabricação e recuperação de componentes metálicos. (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2006)

4.2 TIPOS DE SOLDAGEM

A fim de identificar e analisar riscos e oportunidades no processo de soldagem deve-se conhecer os seus princípios básicos, como os maquinários envolvidos, parâmetros e limitações do processo. Segundo Marques (1991), os processos de soldagem comumente utilizados são:

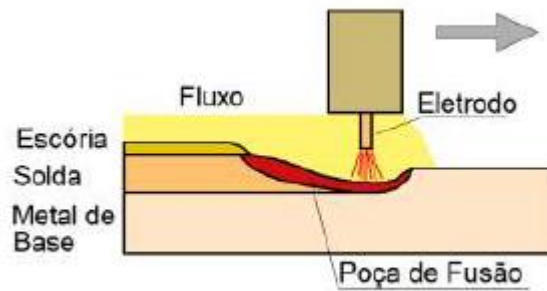
- Soldagem a arco Gás-Metal – GMAW;
- Soldagem a arco Gás-Tungstênio – GTAW;
- Soldagem por arco submerso – SAW;
- Soldagem com eletrodo revestido – SMAW;
- Soldagem a plasma – PAW;
- Soldagem Oxi-Gás – OFW;
- Soldagem a Laser – LBW;
- Soldagem com Arame tubular – FCAW.

Por tratar-se neste estudo diretamente com o processo de soldagem por arco submerso, esse será mais bem detalhado.

4.3 SOLDAGEM ARCO SUBMERSO

A soldagem por arco de submerso (SAW) consiste na coalescência de dois materiais, por um arco elétrico desenvolvido entre o arame de soldagem e o material de base. Como o próprio nome do processo sugere o arco elétrico fica submerso e protegido por uma camada de fluxo granular que é inserido automaticamente à frente da tocha de soldagem, assim o metal fundido e a poça de fusão ficam protegidos da contaminação atmosférica (figura 8). Deste modo, a solda se desenvolve sem faíscas, luminosidades ou respingos visíveis ao operador da máquina de solda, resultando em um cordão de solda com acabamento uniforme. (MODENESI, 2012)

Figura 8 - Esquema do processo de soldagem arco submerso.



Fonte: Modenesi (2012)

A partir da formação do arco elétrico, o eletrodo e o fluxo são alimentados continuamente no processo com a movimentação da tocha sobre a peça a ser soldada. Este processo de adição de metal consiste na alimentação do eletrodo por um sistema mecanizado.

O início da soldagem se dá pelo calor gerado pelo arco elétrico, que funde o eletrodo (arame), o metal de base e parte do fluxo de proteção, formando assim a poça de fusão. Com o distanciamento da tocha da poça de fusão são gerados 4 produtos durante a solidificação do metal fundido sendo formados: o cordão de solda, a escória (parte fundida do fluxo de proteção resultando em uma camada protetora), a parte não fundida do fluxo (podendo ser reutilizada desde que não seja contaminada e seja tratada devidamente de acordo com sua natureza) e fumos de soldagem.

A soldagem SAW tem como principal fator de limitação a posição de soldagem. Devido à necessidade da presença do fluxo granular o processo fica limitado às posições de soldagem plana e horizontal.

O processo de soldagem SAW pode ser utilizado para juntas de topo, filete e sobrepostas. Com a devida seleção do material de adição e dos parâmetros de soldagem, a soldagem por SAW pode ser utilizada para união de peças, enchimento de juntas ou revestimento de peças.

O processo de soldagem por arco submerso apresenta ótimas características, uma delas está atrelada ao seu alto rendimento, pois quase não apresenta perdas de material por projeções (respingos). Além disso, uma das suas principais características é a sua elevada taxa de deposição, uma vez que é possível aplicar elevadas correntes de soldagem (até 4000 A) e altas densidades de corrente (60 a 100 A/mm²), acarretando uma alta taxa de deposição, e resultando em uma alta produtividade. Estas características tornam o processo de soldagem por arco

submerso um processo econômico e rápido, sendo um grande atrativo para atividades de manufatura de alta demanda, como no segmento industrial naval.

4.3.1 Consumíveis

Durante o processo de soldagem por arco submerso, alguns consumíveis são necessários para realizar a união das peças (eletrodos e fluxos), e a seleção destes materiais são realizadas na indústria naval de acordo com normas de classificadoras ou normas internacionais.

4.3.1.1 Eletrodos / Arame de adição

Metais de adição utilizados no processo de soldagem SAW. Estes podem ser classificados em arames sólidos, tubulares ou fitas. Para o processo de soldagem SAW a classificação dos arames é realizada de acordo com a tabela 01:

Tabela 01 - Classificação de Arames.

Especificação	Tipo de metal de adição
AWS A 5.9	Arames e varetas para solda de aço inoxidável
AWS A 5.14	Arames e varetas para solda de níquel e suas ligas
AWS A 5.17	Arames e fluxos para soldagem SAW de aço carbono
AWS A 5.21	Arames e varetas para revestimento
AWS A 5.23	Arames e fluxos para soldagem SAW de aço baixa liga

Fonte: AWS D1.1

Os eletrodos são especificados com base em sua composição química, sendo divididos em três tipos: baixo, médio e alto teor de Manganês. Dentro de cada grupo, os arames podem ter diferentes teores de Carbono, além de teor de Silício baixo ou alto.

Arames com maiores teores de Carbono, Manganês e Silício favorecem a deposição de cordões com maior resistência e dureza; o Silício aumenta a fluidez da poça de fusão, melhorando o formato de cordões depositados com elevadas velocidades de soldagem.

As bitolas (diâmetro) de arames mais utilizados situam-se na faixa entre 1,6 e 6,4 mm; podemos também trabalhar com fitas contínuas no lugar do arame,

principalmente para deposições superficiais. Para aumentar a velocidade de soldagem e a deposição do metal, pode-se usar dois ou mais arames; eles podem situar-se em paralelo ou em linha em relação à junta e alimentados por uma ou mais fontes de energia. A tabela 02 mostra os requisitos de composição de aço carbono, conforme AWS A 5.17-80.

Tabela 02 - Composição química de arames.

Classe	Composição Química (% Peso)					
	Carbono	Manganês	Silício	Enxofre	Fósforo	Cobre
EL8	0,10	0,25-0,60	0,07	0,035	0,035	0,035
EL8K	0,10	0,25-0,60	0,10-0,25			
EL12	0,05-0,15	0,25-0,60	0,07			
EM12	0,06-0,15	0,80-1,25	0,10			
EM12K	0,05-0,15	0,80-1,25	0,10-0,35	0,035	0,035	0,035
EM13K	0,07-0,19	0,90-1,40	0,35-0,75			
EM15K	0,10-0,20	0,80-1,25	0,10-0,35			
EH14	0,10-0,20	1,70-2,20	0,10			

Fonte: AWS D1.1.

4.3.1.2 Fluxo

Os fluxos são compostos por uma mistura de minerais, óxidos e ferro-ligas, apresenta funções no processo de soldagem, como estabilizar o arco, fornecer elementos de liga para constituição da junta soldada, proteger o arco e solda da contaminação da atmosfera, minimizar as impurezas na junta soldada, destacabilidade, ocorrência de mordeduras e outros.

O fluxo, segundo Modenesi (2012), pode ser classificado em dois grupos:

- O fluxo granular apresenta funções de proteção e limpeza do arco e metal depositado e funciona como isolante térmico, assim consegue fornecer uma excelente concentração de calor que auxiliar na alta penetração do processo.
- O fluxo fundido apresenta propriedades condutivas e sua função protetora durante cobertura do cordão de solda pode fornecer elementos desoxidantes, e em solda de aços-liga, pode conter elementos de adição que modificariam a composição química do metal depositado.

4.3.2 Escória

Capa protetora formada sobre o cordão de solda pela solidificação do fluxo granuloso de proteção devido ao processo de soldagem.

4.3.3 Material Base

Peça ou elemento a ser soldado.

4.3.4 Poça de fusão

Fluído composto da liquefação do material base, metal de adição e fluxo.

4.3.5 Zona termicamente afetada (ZTA)

Áreas próximas a porção da peça solidificada para compor o cordão de solda. Essas áreas devem ser consideradas na parte de projeto da solda, pois submeter essas áreas a elevadas temperaturas ou durante um elevado tempo (velocidade de soldagem) pode fragilizar a peça e levá-las a falha.

4.3.6 Aporte térmico e deposição de solda para soldagem SAW

Para atingir as propriedades necessárias para realizar um tipo de soldagem em um conjunto de material base, arame de adição e fluxo definidos é necessário estabelecer os parâmetros de soldagem para garantir o aporte térmico suficiente para garantir uma taxa de deposição de solda com qualidade.

Variáveis como corrente, tensão, velocidade de arame e velocidade de soldagem já foram descritos previamente. Para a soldagem SAW outros parâmetros devem ser levados em consideração para realizar uma solda adequada.

4.3.7 Tipo de Chanfro

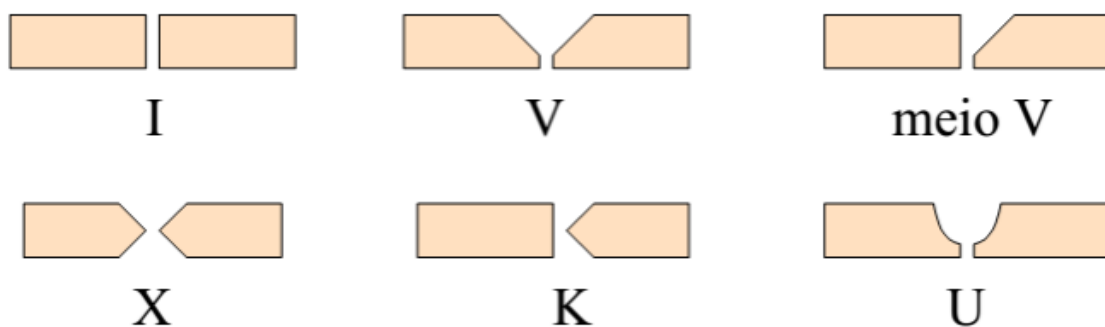
Formato geométrico da secção das peças a serem unidas, figuras 9 e 10, influência na magnitude do aporte térmico aplicado a peça para realizar a soldagem dos componentes.

Figura 9 - Representação de tipos de chanfros.

Tipo de solda			Símbolo	
A arco elétrico ou a gás	Em juntas de topo	Sem chanfro	Tipo I	
		Com chanfro	Tipo V	∇
			Tipo U	∩
			Tipo Bisel	∇
			Tipo J	∩
			Tipo V curvo	∩
			Tipo bisel curvo	∩
	Bujão e ranhura			∩
	Cordão	recobrimento	∩	
		filete	∩	
Revestimento ou enchimento			∩	
Flange	Alinhado	∩		
	De canto	∩		

Fonte: ABNT NBR 7165

Figura 10 - Representação de tipos de chanfros.



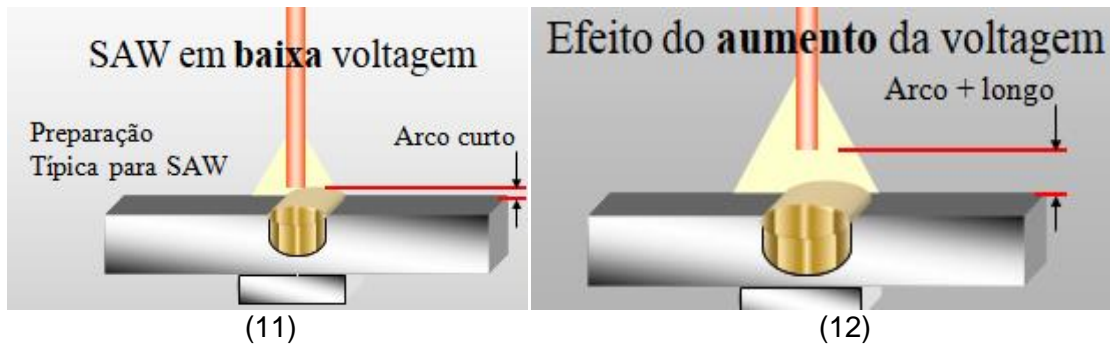
Fonte: Modenesi (2012)

4.3.8 Distância do eletrodo com a peça (*stickout*)

A distância entre a peça e o eletrodo determinará o comprimento do arco elétrico, com isto, influenciará diretamente na tensão (voltagem) do processo. Logo, com o aumento do comprimento do arco, teremos uma maior tensão e um cordão de

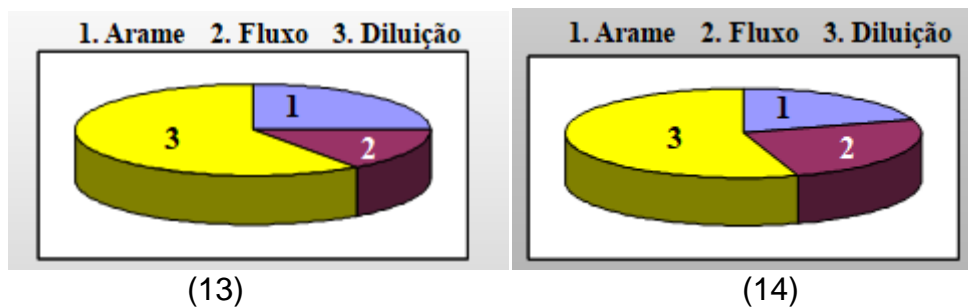
solda mais largo. Além disso, impactará na composição do cordão de solda, configurando em novas propriedades mecânicas da solda, conforme ilustrado nas figuras 11, 12, 13 e 14. (PEREIRA, 2013)

Figura 11 e 12 - Variações no *stickout* e influência na voltagem do processo de soldagem SAW.



Fonte: Pereira (2013)

Figura 13 e 14 - Variações no *stickout* e influência na composição do cordão de solda no processo de soldagem SAW.



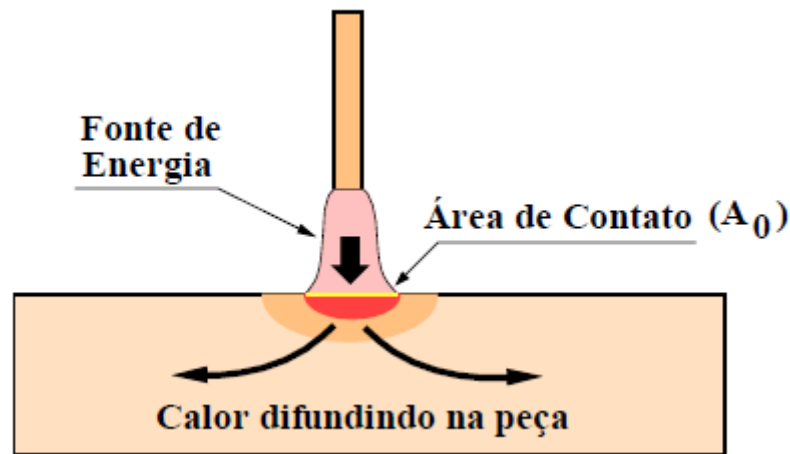
Fonte: Pereira (2013)

4.3.9 Fontes de Energia

A soldagem por fusão é realizada pela aplicação localizada de energia em uma parte da junta de forma a conseguir a sua fusão localizada, de preferência afetando termicamente ao mínimo o restante da peça. A fonte transfere energia à junta através de uma área de contato de forma a aquecer o material adjacente até a sua fusão.

A fonte deve fornecer energia a uma taxa elevada e em uma área pequena para garantir a fusão localizada do metal base na região adjacente à área de contato antes que o calor se difunda para o restante da peça, conforme ilustrado na figura 15. (MODENESI, 2012)

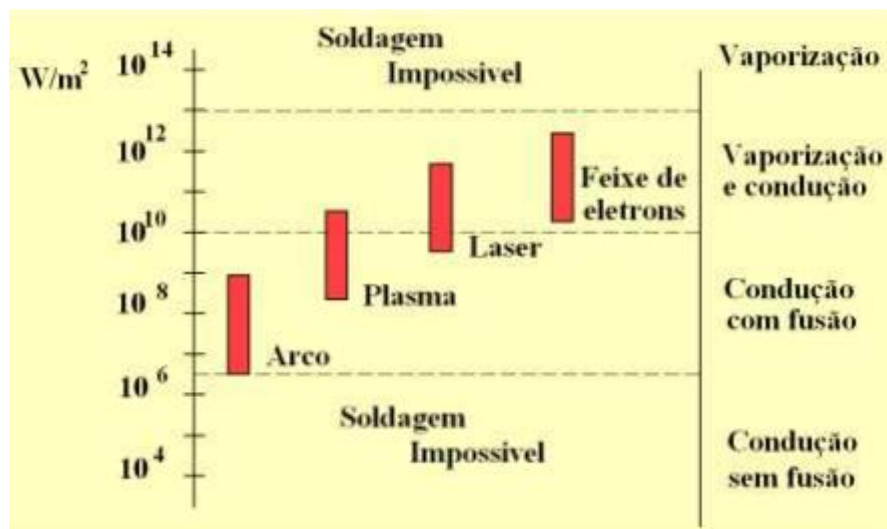
Figura 15 - Fluxo geral de calor na soldagem por fusão.



Fonte: Modenesi (2012)

Para ser usada na soldagem por fusão, uma fonte deve ter uma potência específica entre cerca de 10^6 a 10^{13} W/m² (figura 16). Assim, densidade abaixo deste limite é insuficiente para fundir a região próxima da área de contato antes que o calor se difunda para o restante da peça, apenas realizando um aquecimento da peça. Por outro lado, densidades acima deste limite, o calor é capaz de vaporizar a região de contato antes da fusão ou aquecimento necessário de outras partes da peça. (MODENESI, 2006)

Figura 16 - Processos de soldagem e sua faixa usual de intensidade da fonte.



Fonte: Modenesi (2006)

Tipos de fonte (Ramalho e Gimenes, 2002):

Corrente Alternada: Permite melhor controle do cordão, penetração, velocidade de solda e facilidade na abertura do arco.

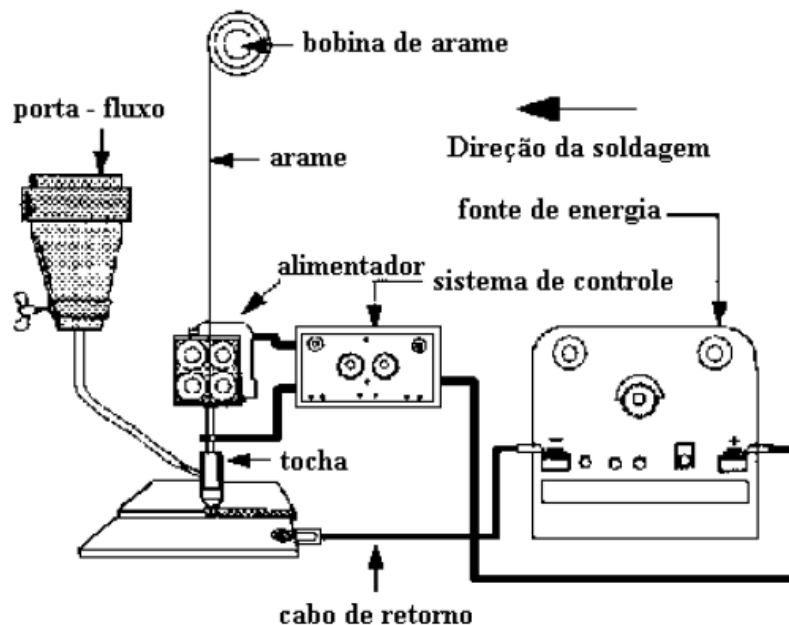
Corrente Contínua Eletrodo Positivo: Permite melhor penetração e controle do cordão.

Corrente Contínua Eletrodo Negativo: Apresentação maior taxa de deposição e menor penetração em relação aos dois sistemas descritos acima, apresenta melhores condições para soldas de revestimento e soldagem de chapas finas.

4.3.10 Maquinário necessário

No processo de soldagem SAW, na sua grande maioria a soldagem é realizada de forma automática, mas também pode ser realizado de forma semiautomática. Para isto, são necessários os equipamentos ilustrados na figura 17:

Figura 17 - Equipamento necessário para soldagem SAW



Fonte: Ramalho e Gimenes (2002)

- Tocha de soldagem: Consistem no bico de contato, sistema de suporte de cabos elétricos e um suporte isolante. Responsável pela abertura do arco e fusão do arame.
- Cabos elétricos: Transportam corrente elétrica da fonte de energia ao porta-eletrodo (Cabo de soldagem) e do material base para a fonte de energia (Cabo de retorno) possibilitando a soldagem.
- Fonte de energia: Fornece corrente elétrica para a realização da soldagem (Componente detalhado em tópicos anteriores)
- Bobina/Carretel de arame: Fornece arame para o processo de soldagem.

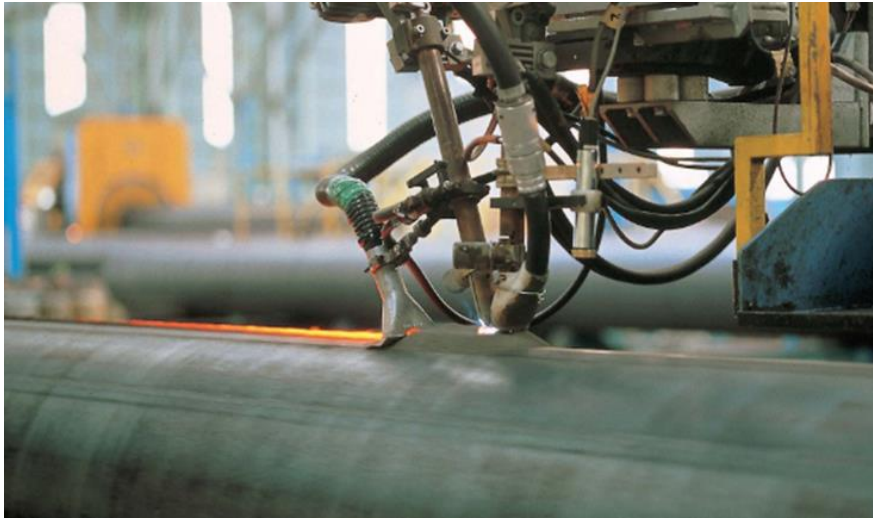
- Dispositivo de alimentação de arame (Processo automatizado): Consiste em um motor com um controlador de velocidade e um conjunto de engrenagens para garantir a velocidade de alimentação de arame de acordo com as especificações de soldagem.
- Dispositivo de movimentação (unidade de controle de avanço): Equipamento estático ou dinâmico responsável por controlar a velocidade de soldagem ao longo do cordão de solda.
- Sistema de controle: Realiza o setup dos parâmetros de soldagem, como velocidade de avanço da solda, corrente, tensão e etc. Este equipamento deve ser monitorado, calibrado e operado com atenção devido a realizar o controle macro do sistema de soldagem.
- Alimentador e recuperador de fluxo: Como o próprio nome sugere, o dispositivo alimenta o fluxo na vazão ideal para cobrir o arco durante a coalescência dos materiais base e do arame de solda e recupera o fluxo restante (aspira) logo após a solda ser realizada para reaproveitamento do material.
- Container de fluxo: Estoque intermediário que mantém a fluxo em condições ideais e não perca suas propriedades antes do processo de soldagem.
- Cabeçote de soldagem / máquina automatizada: Consiste no dispositivo responsável por realizar a movimentação do carro sobre a peça ou da peça sobre a máquina que estão instalados os dispositivos de alimentação de arame, alimentador de fluxo e tocha de soldagem.

4.3.11 Tipos de processo

De acordo com a necessidade de soldagem da peça, processo de soldagem pode ser realizado com um, dois ou mais eletrodos.

Single Wire – Um eletrodo: Método de soldagem SAW mais utilizado. Consiste na utilização de um único eletrodo (um arame) para a realização do processo de soldagem (figura 18).

Figura 18 - Esquema de soldagem SAW *single wire*.



Fonte: Fortes (2004)

Twinwire – Dois eletrodos: Consiste na soldagem utilizando dois arames conectados à mesma fonte de energia. Uma fonte SAW padrão é equipada com rolos de acionamento duplo e pontas de contato adequadas para alimentar dois arames simultaneamente. Produz taxas de deposição consideravelmente mais altas do que o processo convencional de arame único usando arames de grande diâmetro (figura 19).

Figura 19 - Esquema de soldagem SAW *Twinwire*.



Fonte: Fortes (2004)

Tandem wire: Neste processo cada um dos dois fios é conectado à sua própria fonte de energia e alimentado simultaneamente por sua própria unidade de alimentação (figura 20).

Figura 20 - Esquema de soldagem SAW *tandem wire*. 01 – Single + single; 02 – *Single twin*; 03 – *Twin + twin*.



Fonte: Fortes, 2004

Multiplewire: Três ou mais eletrodos: Esse processo permite até seis arames podem ser usados juntos, cada um com sua própria fonte de energia. Apresentando uma taxa de deposição ainda maior em relação aos dois processos citados acima (figura 21).

Figura 21 - Esquema de soldagem SAW por *multiwire*.



Fonte: Pereira (2013)

4.3.12 Vantagens e Desvantagens do processo

As vantagens relacionadas ao uso do processo de soldagem SAW são:

- Baixo custo do metal de solda;
- Fácil automatização;
- Baixa produção de ozônio residual;
- Alta produtividade;
- Altas taxas de deposição;
- Boa integridade do metal de solda;
- Melhor ambiente de trabalho e maior segurança para o operador uma vez que o arco está protegido pelo fluxo.

As desvantagens relacionadas ao uso do processo de soldagem SAW são:

- Posições restritas (Planas e horizontais);
- Limitação a juntas em linha;
- Sopro magnético em corrente contínua;
- Dificuldades no controle de penetração;

- Poucas variações químicas dos eletrodos.

4.4 QUALIDADE DE SOLDA

O dimensionamento de uma solda de qualidade está atrelado a uma solda que a peça apresente propriedades mecânicas necessárias no projeto, ausência de descontinuidades e composição química adequada. Assim, assegura que a peça final suportará as forças que estarão submetidas e apresente o mínimo de reação e deterioração com o ambiente que estará exposto.

Para garantir uma solda de qualidade é exigido que haja um processo de qualificação em três áreas: material de solda, mão-de-obra e procedimento de soldagem. A qualificação dos materiais é executada por norma técnica nacional ou internacional ou por sociedade classificadora, no caso da indústria naval. Somente materiais qualificados podem ser utilizados na realização das soldas. A qualificação da mão de obra também é executada segundo normas técnicas ou pelas classificadoras. Finalmente, é exigido que para cada solda a ser realizada um procedimento de soldagem seja elaborado, seguindo uma norma de referência (ex. AWS D1.1) e que seja executado um teste de qualificação segundo esta norma. Somente procedimentos qualificados podem ser utilizados na soldagem de peças em geral.

Uma vez que se obtenham materiais, pessoas e procedimentos qualificados o processo apresentará maior garantia de que as soldas produzidas serão de boa qualidade.

4.4.1 Material de Solda

Os fabricantes dos materiais de solda, como eletrodos, arames de solda, etc., fazem ensaios regularmente nos seus materiais, usualmente acompanhados por inspetores de Sociedades Classificadoras, e certificam que um determinado material atende à norma ABNT, ou AWS, e que este material está qualificado.

4.4.2 Procedimento de Soldagem

Apesar de a empresa obter materiais homologados por classificadoras ou normas internacionais, não há garantia que a solda será executada de forma correta, pois diversas variáveis influenciam no produto final. Assim a validação da especificação do procedimento de soldagem (EPS) se torna algo de suma importância para garantir a validação deste processo. Esta validação é realizada de acordo com normas de classificadoras e/ou normas internacionais e avaliam as seguintes variáveis:

- Metal de base: material, espessura, chapa, tubo, etc.
- Material a ser depositado (composição química, eletrodo, arame, etc.)
- Gás de proteção
- Chanfro de solda
- Posição de soldagem
- Temperatura de pré-aquecimento
- Temperatura interpasses
- Velocidade de soldagem
- Sequência de soldagem e método de conduzir o eletrodo
- Método de limpeza interpasses
- Método de limpeza e inspeção da raiz da solda
- Etc.

Deste modo, prepara-se um corpo de prova na presença de um inspetor de solda, onde será realizado um relatório que irá medir as variáveis de solda e os resultados do processo de soldagem. O corpo de prova soldado será submetido a ensaios (destrutivos e não destrutivos) para certificar a ausência de defeitos e características mecânicas compatíveis com a aplicação desejada.

Caso os resultados do processo e do corpo de prova atendam aos requisitos mínimos da norma o procedimento de soldagem está qualificado para aquele material, e para aquelas condições de soldagem aplicadas. O soldador / operador que efetuou a soldagem na qualificação do procedimento está também qualificado.

4.4.3 Mão de Obra

De posse do EPS e materiais qualificados para soldagem aprovados, os operadores envolvidos no processo devem passar por treinamento específico. Os soldadores devem preparar corpos de prova que provem sua capacidade e atendam os procedimentos de qualidade para gerar uma solda sem defeitos e com bom acabamento.

Os corpos de prova podem ser submetidos a ensaios de acordo com a norma adotada e preferência da indústria. Após a aprovação dos soldadores, e tendo o material e procedimento aprovado, se dá ao início da soldagem da estrutura propriamente dita.

4.5 DISTORÇÃO DE SOLDA

Segundo Fortes (2004), distorções de soldas são geradas durante a operação de soldagem, tensões residuais surgem na peça soldada devido ao fenômeno da dilatação térmica, causada pelo calor gerado durante o processo. A dilatação térmica é diretamente proporcional à variação de temperatura.

Portanto, numa junta soldada, a região mais próxima ao arco elétrico é fundida e, na medida em que a distância aumenta, ou seja, que o ponto está mais afastado da zona fundida, a temperatura máxima, também chamada de temperatura de pico, diminui. Essa variação de temperatura provoca um aquecimento heterogêneo, causando tensões de contração e expansão na peça, visto que o metal, a uma alta temperatura, tende a expandir, e suas adjacências resistem a essa expansão. Da mesma forma, quando a poça de fusão começa a resfriar, o metal que estava aquecido se contrai, gerando o aparecimento de tensões de tração nestas mesmas regiões. Como resultados dessas tensões podem ser gerados distorções e falhas prematuras na peça.

Para Marques e Modenesi (2014), as distorções são causadas devido ao ciclo térmico de soldagem, são geradas tensões residuais que causam expansão e contração térmicas que se desenvolvem no cordão de solda e nas áreas próximas do material de base. A partir desse movimento localizado, as tensões superam o limite de escoamento nas regiões aquecidas e provocam deformações permanentes

localizadas no material que podem levar a variações dimensionais e de forma da estrutura, isto é, causam distorção.

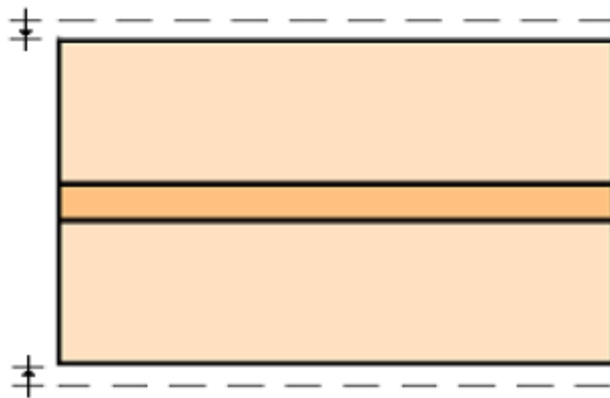
Existem três tipos básicos de distorção que podem ocorrer em uma junta simples: contração transversal (perpendicular à linha da solda), contração longitudinal (paralela à linha da solda) e distorção angular (rotação em torno da linha da solda).

4.5.1 Contração transversal

Distorção associadas à redução dimensional perpendicular a direção de soldagem. Esta contração é influenciada pelos seguintes fatores (figura 22):

- A contração transversal aumenta com a redução do diâmetro do eletrodo,
- A sequência de soldagem do centro para as extremidades reduz este tipo de contração,
- Menores aberturas das juntas reduzem as distorções transversais.

Figura 22 - Contração transversal.



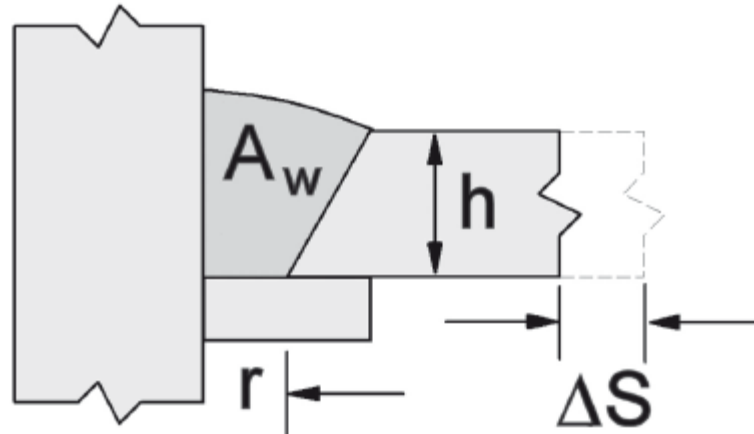
Fonte: Adaptado de Marques e Modenesi (2014)

Contração transversal pode ser estimada pelos parâmetros e equação de Spraragen-Ettinger conforme a figura 23:

Figura 23 - Equação de Spraragen-Ettinger.

$$\Delta S = 0,8 (A_w/h) + 0,05r \quad (38)$$

onde ΔS é a contração (mm), A_w é a área da seção transversal da solda (mm²), h é a espessura das chapas (mm) e r é a abertura da raiz do chanfro (mm), válida para juntas de topo e ângulo.

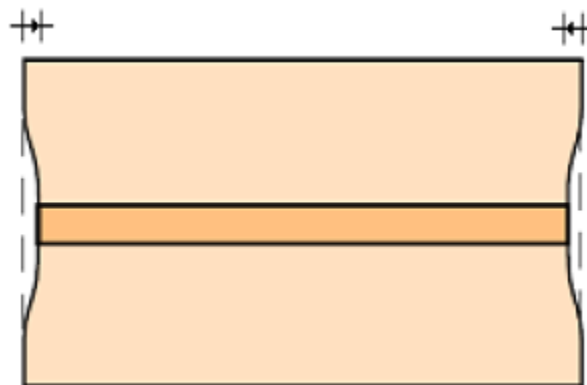


Fonte: Marques e Modenesi (2014)

4.5.2 Contração longitudinal

Está relacionado a contração paralela ao cordão de solda. Esta contração depende da relação entre a seção transversal e o restante da peça. Além disso, esta contração pode causar efeitos secundários como empenos e flambagem da peça, ilustrado na figura 24.

Figura 24 - Contração longitudinal.



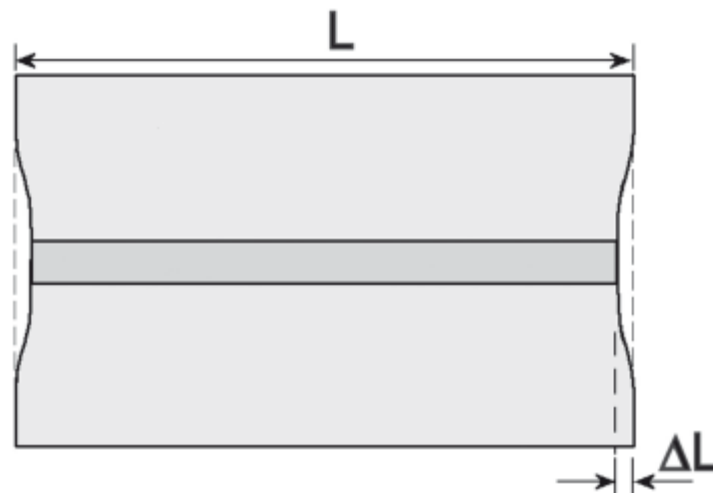
Fonte: Adaptado de Marques e Modenesi (2014)

Contração longitudinal pode ser estimada pelos parâmetros e equação de equação de King, como ilustrado na figura 25:

Figura 25 - Equação de King.

$$\Delta L = \frac{3,05 I L}{h} 10^{-5}$$

onde ΔL é a contração longitudinal (mm), L é o comprimento da solda (m), I (A) é a corrente de soldagem e h (mm) é a espessura das chapas.

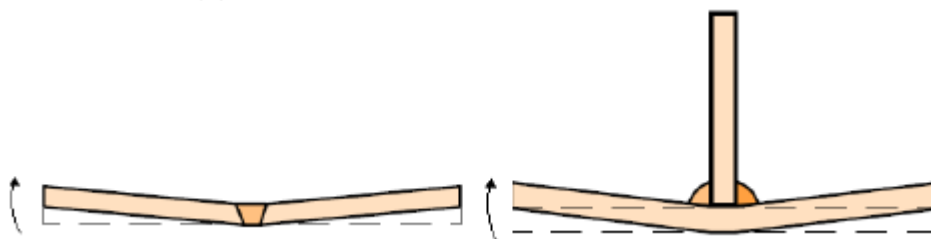


Fonte: Marques e Modenesi (2014)

4.5.3 Distorção angular

A distorção angular ocorre na face perpendicular (secção transversal) ao cordão de solda. Esta distorção ocorre devido à contração transversal não ser uniforme ao longo da espessura da junta (figura 26).

Figura 26 - Distorção angular.



Fonte: Adaptado de Marques e Modenesi (2014)

4.5.4 Como controlar distorções

De modo a evitar ou reduzir distorções de soldas, deve-se diminuir os níveis de tensão na junta soldada. Segundo Modenesi (2012), diversas medidas podem ser usadas para reduzir a distorção em soldagem.

Fase de projeto das estruturas:

- Projetar estruturas com a menor quantidade possível de soldas.
- Usar chanfros que necessitem a deposição de menos metal de adição.
- Usar chanfros simétricos (X, K, duplo U, etc.).
- Posicionar soldas junto da linha neutra da peça ou em posições simétricas em relação à linha neutra.

Fase de fabricação:

- Estimar a distorção que ocorrerá na estrutura e posicionar as peças de forma a compensar esta distorção.
- Colocar peças na sua posição correta e utilizar dispositivos de fixação ou outras técnicas para aumento da restrição das peças ao movimento (ponteamento antes da soldagem, gabaritos, etc.).
- Usar sequência de soldagem e de montagem que minimizem a distorção.
- Tratamento térmico pré-soldagem: Como o uso de fontes adicionais de aquecimento de forma a gerar tensões térmicas adicionais capazes de contrabalancear as tensões geradas pela soldagem e, desta forma, reduzir a distorção.

Fase após a soldagem (correção da distorção):

- Tratamento térmico pós-soldagem: Aquecimento localizado (forma similar de contrabalancear tensão residual que gerou a distorção).
- Conformação a frio: Calandragem, prensagem, martelamento, etc.

Para esse estudo irá se aprofundar um pouco mais no processo de tratamento térmico pré-soldagem. Pois este foi o objeto de estudo do projeto.

4.6 TRATAMENTO TÉRMICO

De modo a minimizar tensões provocadas pelo processo de soldagem, a utilização do tratamento térmico de alívio de tensões consiste na operação de aquecimento da peça de trabalho após a operação de soldagem.

A peça soldada deve ser aquecida a uma temperatura inferior à temperatura crítica de transformação do material, garantindo que não ocorra alguma mudança de fase e não fragilize a peça.

Em alguns casos o tratamento térmico é obrigatório, sobretudo para aços de baixa liga de elevada espessura, a sua aplicação é inerente à precaução contra a possível ocorrência de falhas em serviço. Assim detalharemos sobre o processo de pré-aquecimento, pois esse foi objeto de estudo do processo.

4.6.1 Pré-aquecimento

O pré-aquecimento traduz-se numa elevação da temperatura acima do ambiente das juntas a unir, sendo definido, pela AWS, como “o calor aplicado ao metal base para atingir ou manter a temperatura de pré-aquecimento”.

A temperatura de pré-aquecimento é definida, pelo mesmo documento, como “a temperatura do metal base, em volume, nas zonas vizinhas à soldagem e imediatamente antes de se iniciar a soldagem”. Na soldagem com passes múltiplos, é a “temperatura imediatamente antes do início do segundo e passes subsequentes” (temperatura interpasse).

O pré-aquecimento pode ser realizado com tochas, resistências elétricas, fornos e outros, podendo ser total ou localizado.

Para obtenção de bons resultados, é essencial que o aquecimento seja uniforme na zona de solda. Pois um aquecimento heterogêneo pode propiciar à ocorrência de altas tensões residuais ou variações metalúrgicas indesejáveis no material de base.

Além de estabelecer a temperatura de pré-aquecimento, a limitação da temperatura de interpasse deverá ser considerada em algumas aplicações. Esta informação deve ser descrita na especificação do procedimento de solda (EPS), sendo que após definida deve haver uma confirmação da temperatura antes da deposição do próximo passe. Caso se verifique que a temperatura de interpasse excede a especificada, a solda deve ser interrompida até que se verifique o arrefecimento dentro do limite superior definido, de forma a ser assegurada as propriedades mecânicas dos aços.

4.7 QUALIDADE, COMPETITIVIDADE E PRODUTIVIDADE

O conceito de qualidade é definido por Falconi (2014), como sendo: “um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo, as necessidades do cliente.” Para obter tais características em um produto, pode-se dizer que o produto deve obter um projeto perfeito, livre de riscos, com baixo custo, seguro e entregue ao cliente no prazo e local de acordo com a necessidade do cliente.

Este conceito está bastante presente no cenário mundial, devido à fase de grandes inovações de tecnologias e aumento de competitividade, trazendo ao mercado atual ameaças a sobrevivência de muitas empresas. Assim, surge a necessidade de que empresas procurem opções e caminhos para reduzir custos, aumentar a qualidade e/ou valor agregado aos seus produtos ou serviços.

Uma empresa para se manter competitiva deve apresentar uma maior produtividade em relação aos seus concorrentes. Deste modo, a empresa deve produzir mais e/ou melhor, com menos (custos, recursos e outros). Segundo Falconi (2014) a produtividade de uma organização é aumentada com a melhoria da qualidade.

O autor ainda segrega a organização/empresa em três segmentos: Equipamentos e materiais (*Hardware*), Procedimentos e métodos (*Software*) e ser humano (*Humanware*). Em ambos os segmentos, existe a necessidade de aporte de capital, mas os últimos dois itens exigem a necessidade de aporte de conhecimento. O autor explica que o fator humano apresenta uma grande influência, pois apesar de aquisição de equipamentos e softwares mais sofisticados, existe a necessidade de capacitação dos colaboradores para aprenderem os métodos e ferramentas para desempenharem de forma desejada. Ainda sobre o tema, o autor reporta ganhos instáveis e inseguros, na média de 10% a 20% relacionados ao aporte de capital quando investidos em hardware e software e ganhos superiores a 100% a aporte de conhecimento.

Assim, torna-se cada vez mais evidente que o componente “Conhecimento” é cada vez mais importante para a sobrevivência das empresas. Tornando a organização e seus funcionários com maior conhecimento para:

- Entender as necessidades dos clientes;

- Saber pesquisar e desenvolver novos produtos quando necessário;
- Poder alterar e desenvolver novos processos para gerar mais qualidade e menor custo;
- Gerenciar sistemas;
- Saber comercializar e dar assistência técnica aos clientes.

4.8 CONTROLE DE PROCESSO

Para que a uma organização possa obter o controle da qualidade de seus produtos a empresa deve obter conhecimento sobre os seus processos. Para isso, Falconi (2014) explica que o gerenciamento dos processos está atrelado ao entendimento de causa e efeito. Segundo o autor, um processo é um conjunto de causas que provoca um ou mais efeitos. A empresa é considerada como um grande processo e subdividido em processos menores que, se devidamente planejados, executados e controlados, garantem qualidade do produto ou serviço final.

O planejamento e definição das diretrizes de controle estão atrelados a uma meta (nível de controle) e um método que descreve o procedimento necessário para atingi-la. Já a execução do processo está atrelada à realização da atividade propriamente dita. Por fim, no controle do processo são estabelecidos pontos de controle e verificação

Os pontos de controle mapeiam e geram índices numéricos sobre o (s) efeito(s) de cada processo para medir a sua qualidade. Podendo ser chamado de itens de controle de resultados, esses pontos devem ser algo que possa ser medido e exercido controle.

Já os pontos de verificação mapeiam e geram índices numéricos sobre os efeitos de cada causa que afetam o determinado item de controle. Os resultados dos itens de controle são garantidos pelo acompanhamento dos itens de verificação.

Existem outras definições para o que se considera um controle de processo, para esta sistemática descrita, metodologias como o PDCA e o DMAIC (utilizada no Seis Sigma) que incorporam tais fatores e serão descritas nos tópicos 4.9 e 4.11.

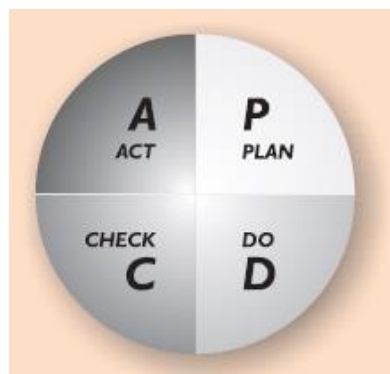
4.9 PDCA

O ciclo PDCA, também chama de ciclo de Shewhart ou ciclo de Deming, foi introduzido no Japão após a guerra, idealizado por Shewhart, em 1930, com os conceitos Planejar, Executar e Verificar, mas somente em 1950 quando divulgado por Deming, quem efetivamente o aplicou e se tornou popular na gestão da qualidade, quando dividindo em quatro principais passos.

A metodologia de gestão PDCA fornece um roteiro a ser seguido para que as metas estabelecidas possam ser atingidas. Na utilização do método, poderá ser preciso empregar várias ferramentas de qualidade para a coleta e análise das informações necessárias à condução das etapas do PDCA, ilustrado na figura 27. (WERKEMA, 2012b)

- *PLAN* (Planejar): Definições das metas a serem alcançadas juntamente aos métodos para garantir que as metas sejam atingidas;
- *DO* (Realizar): São executadas as atividades exatamente como foi previsto na fase anterior. Realiza-se a coleta de dados deste processo e treinamento dos participantes da atividade;
- *CHECK* (Checar): A partir da coleta de dados, é realizada uma comparação entre os resultados obtidos e a meta planejada;
- *ACT* (Agir): Por fim, é feita a análise dos resultados obtidos com a meta estabelecida na primeira etapa. Logo, em caso de atingir a meta, o processo é validado e integrado na empresa, caso negativo, verificam-se os desvios e traçam-se novos planos de ação, como atitude corretiva para corrigir as falhas e um novo giro é realizado no ciclo PDCA. Como pode se observar no diagrama na figura 27.

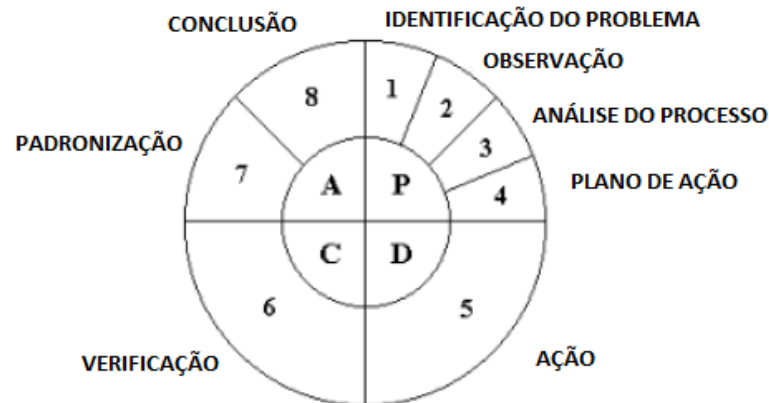
Figura 27 - Diagrama do PDCA.



Fonte: Werkema (2012b)

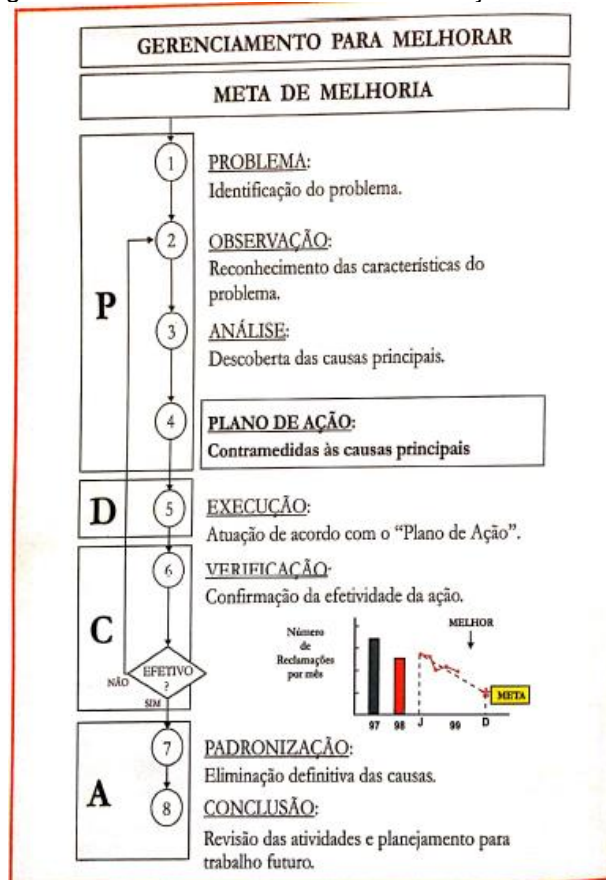
A metodologia pode ser aplicada no controle do processo de forma gerencial para manutenção ou melhoria do mesmo. Com o intuito de solução de problemas, e foco deste trabalho, que é a aplicação para a melhoria de processos o PDCA é também conhecido como Método de Solução de Problemas (MASP), constituída pelas seguintes etapas descritas na figura 28 e 29:

Figura 28 - Diagrama do PDCA para o método MASP.



Fonte: Adaptado de Campos (1992)

Figura 29 - Descritivo do fluxo de informações do MASP.



Fonte: Aguiar (2012)

4.10 CEP

Como citado em Vieira (1999), o controle estatístico de processo (CEP) é uma técnica que permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade, contribuindo para a melhoria da qualidade, produtividade, confiabilidade e dos custos de produção ou fornecimento de serviço pelo uso de ferramentas estatísticas.

O CEP realiza um diagnóstico do sistema por amostragem ao longo do processo, permite identificar a presença de causas especiais e possibilita a atuação sobre ela através do controle de sua variabilidade e análise das possíveis causas que esteja tornando o sistema instável. Dessa forma, as ferramentas que compõe o CEP são as seguintes:

1. Diagrama de Pareto;
2. Diagrama de Causa e Efeito;
3. Fluxograma;
4. Folha de Verificação;
5. Histograma;
6. Diagrama de Dispersão;
7. Gráficos de Controle.

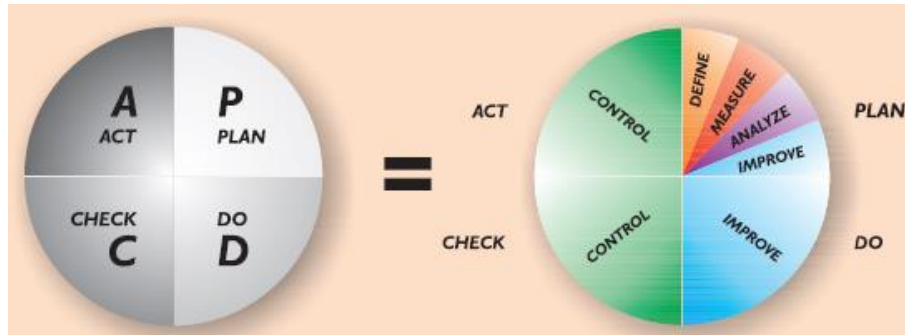
4.11 DMAIC

Segundo Silva (2017), na década de 80, momento em que o mercado norte-americano sofria com variações de consumo devido à concorrência externa, os especialistas observaram que a qualidade total de Deming e Juran já não era mais suficiente para se atingir outros patamares de qualidade. As filiais japonesas lideradas pela Toyota e Honda começaram a ganhar fatias relevantes do mercado norte-americano com seu sistema de produção enxuta. Assim, o método proposto pela equipe norte-americana gerou a metodologia lógica para soluções de problemas mais disseminada atualmente: o DMAIC.

A metodologia DMAIC segue um modelo cronológico para o gerenciamento de projetos (figura 30). Esta metodologia é dividida em cinco etapas que tem o objetivo de coordenar as atividades realizadas em um projeto Seis Sigma. Elas são:

Define (Definir), *Measure* (Medir), *Analyse* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar). (AGUIAR, 2012)

Figura 30 - Comparativo PDCA e DMAIC.



Fonte: Werkema (2013)

A metodologia DMAIC apresenta um roteiro mais detalhado, um maior número de ferramentas analíticas (além das ferramentas do CEP utilizadas no PDCA) e um maior detalhamento das atividades relacionadas ao planejamento. Concentrar os esforços nesta etapa leva a escolhas de projetos mais eficazes, de maior impacto e menor esforço, conforme pode ser visto na figura 30. Dessa maneira o DMAIC acrescenta a metodologia PDCA à medida que se evoluem o sistema de gestão e o nível de capacitação dos colaboradores na empresa (WERKEMA, 2013).

4.11.1 Definir

Esta fase tem como foco estabelecer o problema que afeta diretamente à meta (diretriz de controle), reconhecer a importância deste problema e a conveniência da sua solução (Aguiar, 2012). Ainda nesta fase, será definido o escopo do projeto para dar objetividade ao estudo realizado, evitando que o projeto tenha um foco muito amplo e não apresente os resultados desejados, ou não atinja o prazo estabelecido (COMÊXITO CONSULTORIA, 2002). Deve-se estruturar as ideias no entorno do projeto e nortear a equipe durante o processo. Para isso algumas informações são necessárias e precisam ser levantadas, como: o histórico do problema, impacto no atendimento do requisito de qualidade do cliente, custo atrelado a não qualidade, meta do projeto dentre outras informações relevantes. Essas informações podem ser levantadas a partir de ferramentas da qualidade como voz do cliente, cartas de controle, gráficos sequenciais, folha de verificação e outros métodos aceitáveis (WERKEMA, 2012a).

Também é elaborado o cronograma de atividades de cada etapa do projeto, definição da equipe, delegando as atividades e metas individuais dos membros. Por fim, criar um registro do cenário antes da implantação do projeto para compará-lo com o cenário após a conclusão do projeto.

4.11.2 Medir

Esta fase tem como finalidade obter mais informações para a solução do problema definido na fase anterior, a coleta de informações sobre o fenômeno e processo analisado tem o objetivo de facilitar a descoberta de suas causas para futuras análises (Aguiar, 2012). Esta etapa é crucial para se obter uma análise mais completa, confiável e realista do cenário em questão. Quanto mais tempo for dedicado a esta etapa, mais fácil e rápido as demais etapas serão realizadas (COMÊXITO CONSULTORIA, 2002).

Para analisar o processo e o fenômeno, é realizado o mapeamento do processo desde a entrada (*inputs*) até a saída do produto final (*outputs*) a fim de identificar possíveis causas (máquina, atividade, material e outros) que interferem no padrão de qualidade exigido pelo cliente. Com base nestas informações é realizado o plano de coleta de dados para identificar as variações do processo e dar embasamento aos cálculos de desempenho e os parâmetros de qualidade da linha de produção (WERKEMA, 2012a). Porém deve ser feita a verificação de que as medições são seguras e confiáveis, com equipamentos calibrados, colaboradores capacitados e procedimentos adequados à atividade (COMÊXITO CONSULTORIA, 2002).

4.11.3 Analisar

De posse dos dados de medição, é possível realizar a análise do cenário e identificar a causa raiz do problema, utilizando ferramentas como diagrama de Ishikawa, histogramas, 5 porquês, entrevistas (WERKEMA, 2012a). É importante reforçar a importância da etapa Medir, que deve ser realizada de forma cuidadosa, uma vez que apresentará dados mais próximos à realidade do problema, permitindo que o plano de ação apresente resultados associados ao estabelecido no início do projeto (COMÊXITO CONSULTORIA, 2002).

4.11.4 Implementar

Esta etapa consiste na implantação do plano de ação traçado na etapa anterior, e os dados devem ser coletados para serem avaliados na fase de controle (AGUIAR, 2012). Para que o plano tenha um bom desempenho é necessária a aplicação de ferramentas para gerenciamento e capacitação dos envolvidos, como:

- Reuniões periódicas com os envolvidos para atualização das ações e seus respectivos prazos, e acompanhamento das ações para identificar se estão apresentando os resultados esperados. Se houver necessidade, realizar os ajustes no plano de ação;
- Promover treinamento e divulgação sobre as ações a serem realizadas envolvendo os responsáveis pelas atividades e as partes interessadas, respectivamente;
- Instruir os colaboradores e acompanhar na execução das novas atividades dos mesmos.

4.11.5 Controlar

Por fim, após as ações serem aplicadas, os resultados obtidos na fase anterior devem ser monitorados para a validação da melhoria de forma permanente. Esta etapa deve garantir que o processo manterá seu desempenho a um nível satisfatório. Para isso, deve ser elaborado um plano de monitoramento e controle do processo para que os ganhos obtidos pelas melhorias sejam mantidos, resultando em processos consistentes e previsíveis (WERKEMA, 2012a).

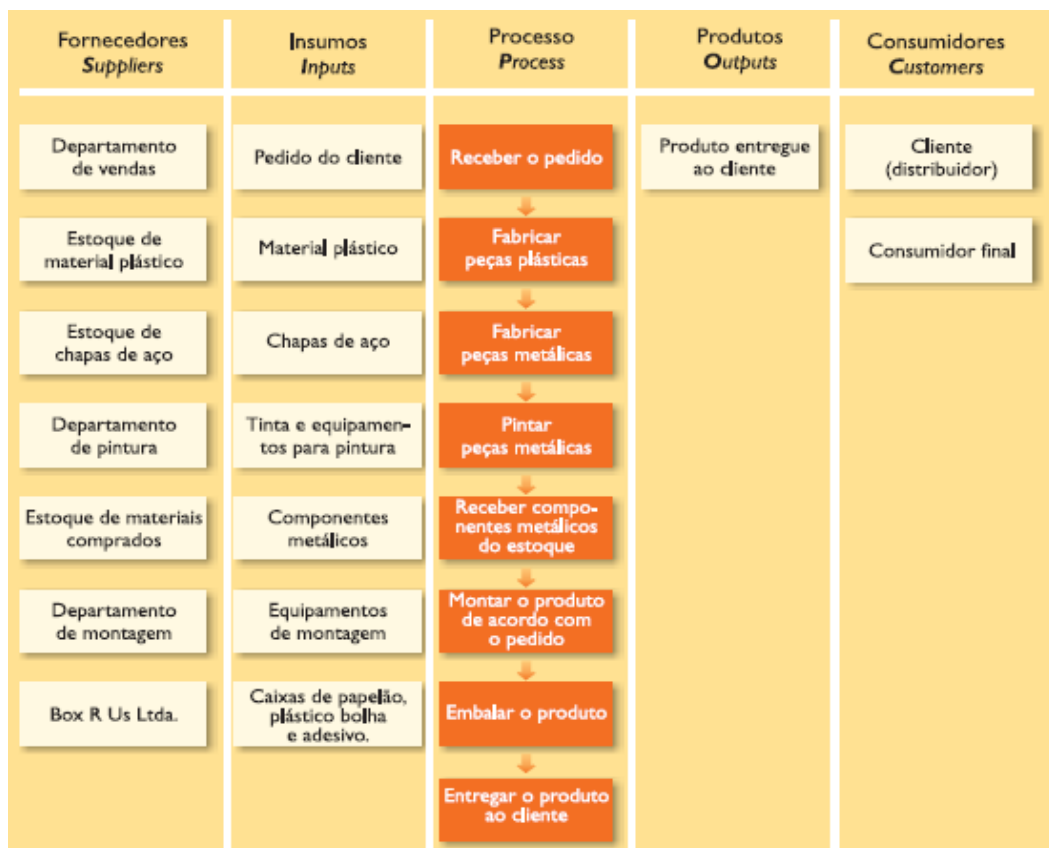
Assim, os procedimentos elaborados na fase de implantação estão automaticamente validados, caso os resultados sejam alcançados, devendo ser divulgados e entrar no plano de conhecimento organizacional para a atividade (ISO 9001:2015). Caso os resultados sejam insatisfatórios, os dados coletados e o motivo para o não atendimento da meta deve ser registrados e um novo projeto pode ser realizado sobre o processo.

4.12 SIPOC

Segundo Taghizadegan (2006), a ferramenta SIPOC (do inglês, *suppliers, inputs, process, outputs, customers*) é uma técnica útil para a definição de um projeto de melhoria de um processo. Refere-se a um diagrama capaz de mapear de forma macro o processo em questão, estipulando as suas fronteiras e interações (valor recebido do fornecedor e valor agregado ao cliente). Assim pode se discriminar todos os elementos relevantes de um processo, mesmo antes de ser alvo de ações de melhoria.

Detalhes do processo não devem ser apresentados no SIPOC, já que o detalhamento deverá ser feito por meio do uso das ferramentas como Mapa de Processo ou Fluxograma, conforme a figura 31.

Figura 31 - Modelo da ferramenta SIPOC.



Fonte: Werkema (2012a)

4.13 VOZ DO CLIENTE (VOC)

O conjunto de dados que representam as necessidades e expectativas dos clientes/consumidores e suas percepções quanto aos produtos da empresa é denominado Voz do Cliente (*Voice of the Customer* ou VOC). Esses dados, podem ser provenientes de reclamações, comentários, resultados de grupos focais ou respostas a pesquisas de opinião. (WERKEMA, 2012a)

4.14 CRITICAL TO QUALITY (CTQ)

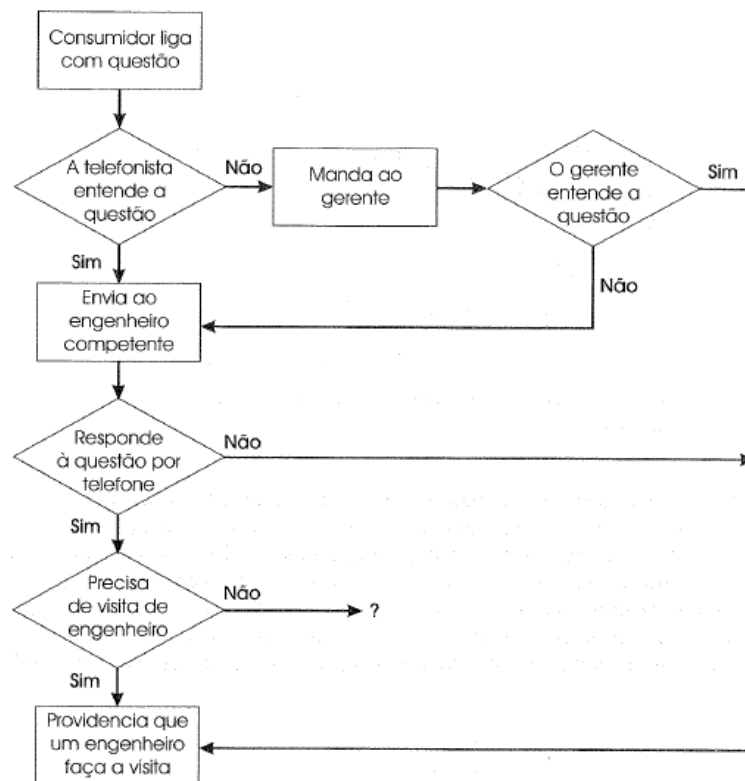
A determinação na fase inicial de qualquer projeto (Seis Sigma, desenvolvimento de produto ou outro), está na análise exata do que o cliente necessita. Para isto, determinam-se os parâmetros que possam constituir os itens de controle dos processos. Segundo Carvalho e Paladini (2005), a ferramenta CTQ (*Critical To Quality*) proporciona transformar as necessidades do cliente, identificadas na ferramenta VOC, em métricas que representam impactos relevantes sobre os pedidos do cliente, o desempenho e a qualidade. Estas métricas, chamadas características da qualidade, serão fundamentais para o desenvolvimento do projeto, uma vez que direcionam corretamente onde as ações de melhoria devem atuar.

4.15 FLUXOGRAMA

A correta identificação de um processo é realizada por meio de ferramentas como o fluxograma, que permite a compreensão do fluxo do processo, identificando atividades, fluxo de informações, setores envolvidos, produtos intermediários, trabalhadores ou consumidores (SLACK, 2009). Através dessa ferramenta busca-se identificar oportunidades de melhoria de eficiência dos processos.

Os fluxogramas representam o fluxo de processo por meio de símbolos gráficos, a sequência dos passos de um trabalho, para facilitar sua análise, como ilustrado na figura 32:

Figura 32 - Modelo de fluxograma.



Fonte: Slack (2009)

O exemplo que Slack (2009), utiliza para exemplificar um simples fluxo de atividades para solucionar uma dúvida do cliente apresenta dois marcadores: Uma ação (Retângulo) e uma questão (Losango). Em casos mais complexos outros marcadores podem ser utilizados para simbolizar o processo de forma mais detalhada.

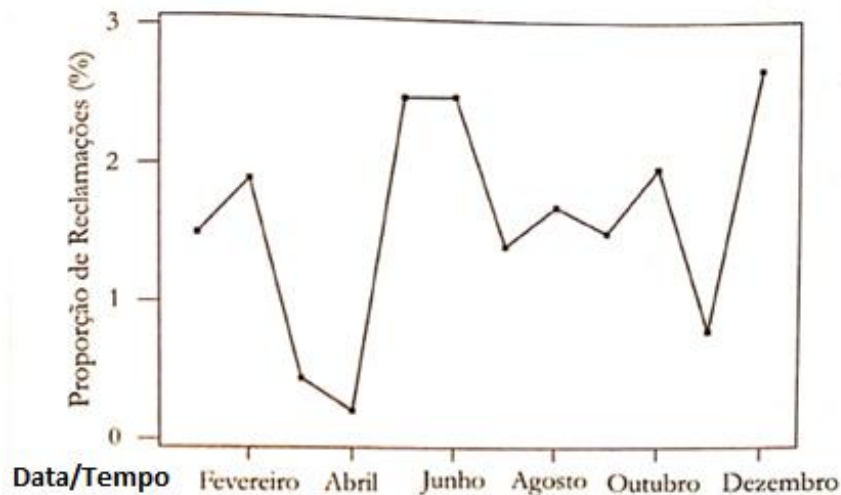
4.16 CARTA DE CONTROLE

A Carta Controle é elaborada com o objetivo de identificar, quantificar ou qualificar algum tipo de variação existente no processo. Este documento fica disponível ao operador, colaborador ou responsável pelo preenchimento dos dados, e assim que preenchido, os dados são alimentados em um sistema de banco de dados para dar embasamento a futuras análises do processo.

4.17 GRÁFICO DE CONTROLE

Ferramenta que tem como objetivo dispor as informações coletadas em uma forma gráfica (veja figura 33), onde possam ser aferidas leituras sobre o estudo como: padrões, eventos extraordinários, aumentos de produção e outros parâmetros de cunho estatístico.

Figura 33 - Gráfico de controle sobre reclamações ao longo do tempo.



Fonte: Adaptado de Aguiar (2012)

4.18 BRAINSTORM

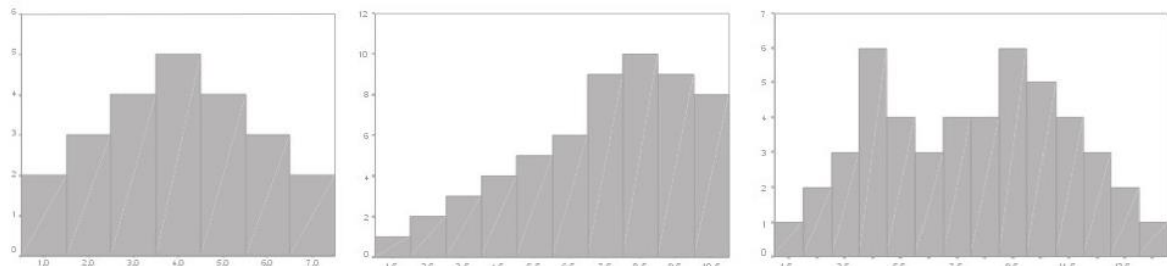
Partindo da tradução literal, *Brainstorm* significa tempestade de ideias. Segundo Menino (2015) a técnica propõe que um grupo de pessoas expresse seus pensamentos e ideias sem discriminação acerca de um tema, testando e explorando a capacidade criativa individual e coletiva para agregar valor sobre um estudo de análise de problemas, podendo levantar pontos que passaram despercebidos, chegar a um denominador em comum, dentre outros objetivos que fazem parte da ação.

4.19 HISTOGRAMA

O histograma apresenta uma distribuição de dados em forma de gráfico de barras. O objetivo da ferramenta é tentar perceber algo pelo formato da distribuição da população de dados da qual a amostra foi coletada. Segundo Aguiar (2012), a

análise de um histograma consiste em identificar e classificar os padrões de variação mostrados pelo gráfico (figura 34), assim como seu formato, a localização do seu centro e a distribuição dos dados, e poder inferir a partir desta análise como está a qualidade de produção de um processo.

Figura 34 - Modelos de Histogramas.



Fonte: Voitto (2019a)

4.20 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O diagrama de Ishikawa é conhecido por ser efetivo na pesquisa e análise de processos para achar a causa raiz do problema. Também conhecido como “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa, refere-se a uma ferramenta esquemática que permite obter uma visão sobre as possíveis causas de um determinado efeito. O Diagrama de Ishikawa é estruturado em 3 categorias: causas principais (espinhas), sub-causas (ramificações das espinhas) e o efeito. (SLACK, 2009)

O diagrama é estruturado em seis causas gerais que levam à geração do efeito, também conhecida como 6M: material, método, medida, meio ambiente, mão de obra e máquina, conforme a figura 35.

Figura 35 - Diagrama de Ishikawa.



Fonte: COMÊXITO CONSULTORIA (2012)

4.21 CINCO PORQUÊS

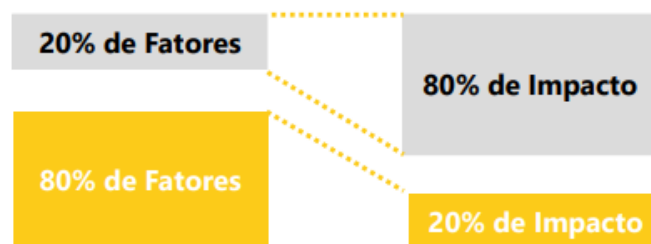
Os Cinco Porquês é uma técnica de análise para identificar a causa raiz de um problema, que parte da premissa que após perguntar 5 vezes o porquê um problema está acontecendo, sempre se referindo a resposta anterior, será determinada a causa raiz do problema. Geralmente após a aplicação da quinta pergunta temos a raiz do problema, mas pode ser possível encontrar antes da quinta pergunta. Caso ainda não se tenha chegado à raiz do problema até a quinta pergunta, pode-se repetir a pergunta até encontrá-la.

4.22 GRÁFICO DE PARETO

O gráfico de Pareto é um gráfico de barras, tem como objetivo priorizar problemas ou causas relativas a um determinado assunto a partir de um processo de coleta de dados (AGUIAR, 2012).

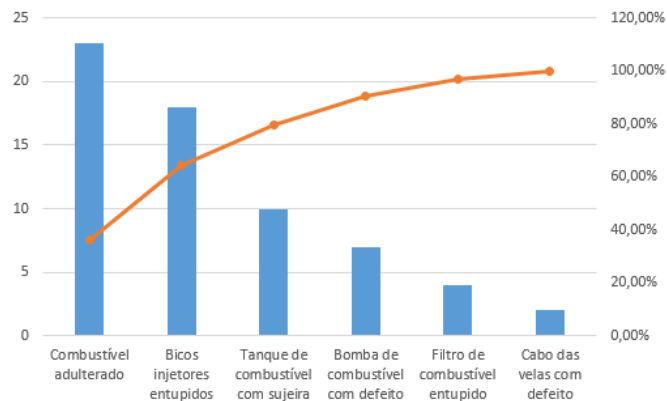
De acordo com o autor, essa teoria mostra um índice de 80/20, o que significa que 80% dos problemas estão em 20% das causas. Ou seja, um problema na prática se deve a um pequeno número de causas. O diagrama de Pareto permite identificar quais são as causas que representam os 20% portanto, é utilizado para fazer uma priorização das causas de um problema (figuras 36 e 37).

Figura 36 - Análise de fatores/causas por impacto.



Fonte: Voitto (2019b)

Figura 37 - Diagrama de Pareto.



Fonte: Voitto (2019b)

4.23 5W1H

De posse das causas raízes do problema analisado, é possível passar para próxima etapa: A ação e eliminação das mesmas. Para isso, é necessário um plano de ação, onde a ferramenta 5W1H auxilia na organização de ideias, esta ferramenta consiste em dispor em uma tabela a resposta às perguntas básicas para implantação de melhorias. Essa tabela (como pode ser visto na tabela 03) é composta de perguntas como: *What* (o quê), onde se faz uma descrição do que está sendo implementado; *Why* (por quê), onde se faz a justificativa para a implantação da ação; *Where* (Onde), onde é descrito o lugar em que a ação será implantada; *Who* (Quem), onde se especificam os responsáveis pela implantação da ação; *When* (Quando), onde se definem as datas de início e fim da ação; *How* (como), onde se descreve como a ação será implantada.

Tabela 03 - Método de 5W1H.

Causa	What? (O quê)	Why? (Por quê)	Where? (Onde)	Who? (Quem)	When? (Quando)	How? (Como)
N° 1						
N° 2						
N° 3						

Fonte: Autor

Outro plano de ação é o 5W2H, que inclui todos os itens descritos, adicionando o item *How much* (quanto custa), onde se indica os valores envolvidos para implantação da ação (AGUIAR, 2012).

4.24 INDICADOR DE DESEMPENHO - KPI

Indicadores de desempenho ou KPI (*Key Performance Indicator*) retratam o desempenho de uma atividade, área ou setor que impactam desempenho de uma organização. De maneira geral, o KPI deve monitorar atividades diárias, semanais e/ou mensais, de modo a controlar as metas e identificar possíveis falhas e problemas no processo (SLACK, 2009)

5 METODOLOGIA

5.1 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi desenvolvido em um estaleiro que tem a capacidade de produzir todos os tipos de navios cargueiros, de até 500 mil toneladas de porte bruto (TPB), além de plataformas offshore dos tipos semissubmersível. A aplicação da metodologia Seis Sigma teve como foco o processo de fabricação de perfis estruturais tipo “T” por soldagem a arco submerso (SAW).

5.2 PROCESSO DE SOLDAGEM (ARCO SUBMERSO)

A linha de produção onde foi realizado o estudo utiliza um processo de soldagem por arco submerso automatizado para soldar elementos de chapas navais para confecção de perfis estruturais em formato “T”. Os componentes utilizados como maquinário, matéria-prima e consumíveis de solda serão descritos abaixo.

5.2.1 Máquina de Solda – Corimpex

A máquina de solda é composta por duas tochas *twin wire* atuando em lados opostos da peça para realizar uma solda de penetração total (figura 38), onde suas características, de acordo com o manual técnico, estão descritas na tabela abaixo (tabela 04).

Tabela 04 - Características gerais da máquina de solda Corimpex.

Processo	Arco submerso de duas tochas / <i>Twin Wire</i>
Velocidade de soldagem	0,2 até 2,3 m / minutos
Pressão de trabalho do pistão	4 Toneladas ajustáveis.
Fonte de alimentação	2 x 440V AC
Temperatura ambiente	5 ° - 40 °C máx. / 85% de umidade relativa

Altura total da máquina:	4.200 mm
Max. Comprimento do perfil:	16.000 mm
Max. Altura do Perfil	800 mm
Alma	Altura 200 - 800 mm
	Espessura 10 - 30 mm
Flange	Largura 120 - 350 mm
	Espessura 10 - 30 mm

Fonte: Manual técnico Corimpex
Figura 38 - Máquina Corimpex.



Fonte: Autor

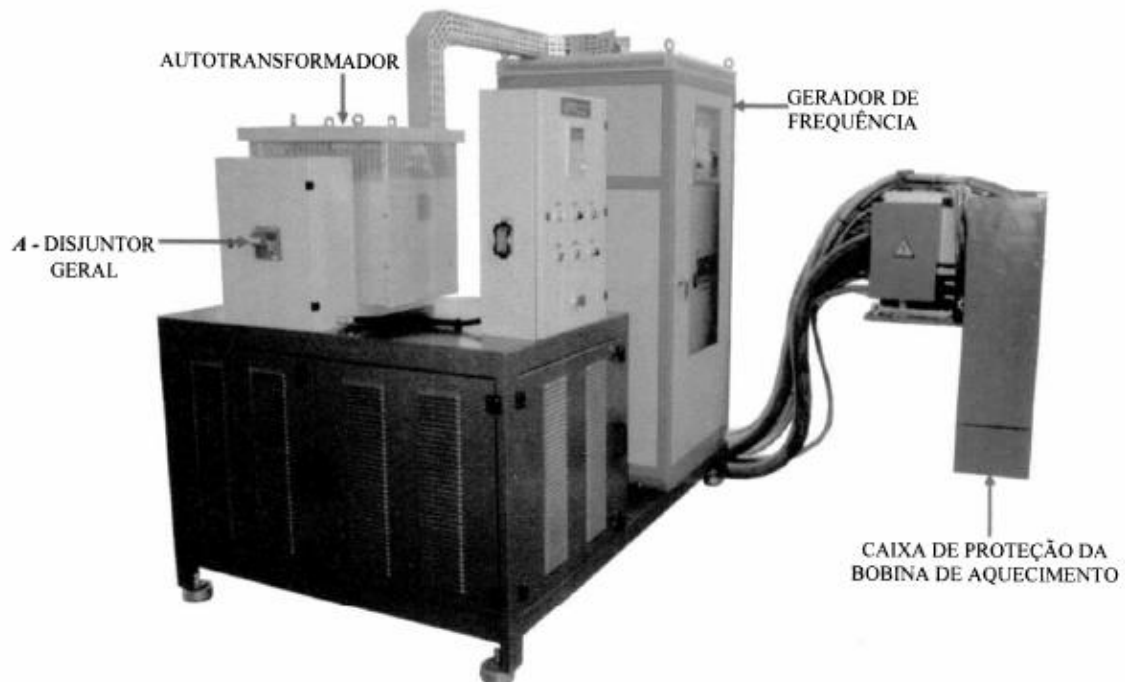
5.2.2 Pré-Aquecimento

A máquina de soldagem da Corimpex possui um sistema industrial de aquecimento por indução tipo aquecedor indutivo “Jamo”; Modelo: JMMF (figura 39). As características do sistema são as seguintes:

- Rede trifásica de 440V/60Hz;
- Potência do Equipamento 300kW;
- Frequência 60Hz;

- Temperatura máxima fornecida 1250°C.

Figura 39 - Sistema JAMO JMMF.



Fonte: Manual técnico JAMO

5.2.3 Consumíveis

O processo de soldagem utilizou no seu projeto a especificação: F7A2-EM12K. A escolha do arame e fluxo, junto com suas especificações serão descritas abaixo:

5.2.3.1 Arame Consumível

O modelo do arame utilizado no processo é Lincoln Premierweld EM12K, e suas principais características são (ver tabelas 5 e 6 e figura 40):

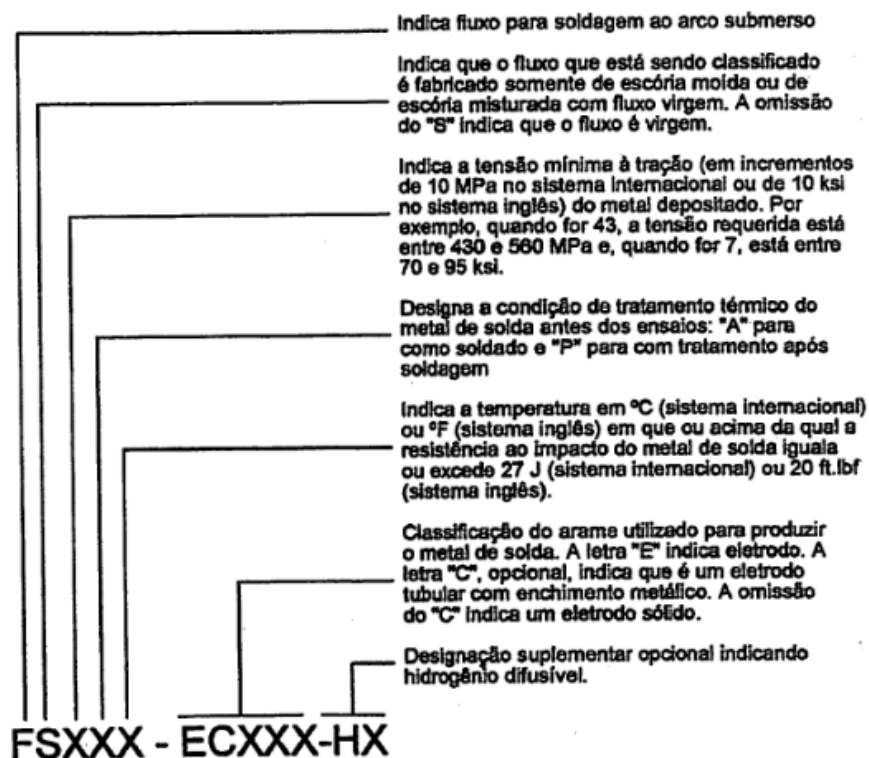
- Média concentração de Manganês e baixa concentração Carbono e Silício na sua composição química;
- Ampla faixa de utilização, tanto para passes simples como múltiplos passes. A classificação do arame utilizado de acordo com a AWS D1 é: A5.17

Tabela 5 - Especificação do arame de acordo com a AWS.

Especificação	Tipo de metal de adição
AWS A 5.9	Arames e varetas para solda de aço inoxidável
AWS A 5.14	Arames e varetas para solda de níquel e suas ligas
AWS A 5.17	Arames e fluxos para soldagem SAW de aço carbono
AWS A 5.21	Arames e varetas para revestimento
AWS A 5.23	Arames e fluxos para soldagem SAW de aço baixa liga

Fonte: Modenesi, 2012

Figura 40 - Nomenclatura do conjunto arame-fluxo de acordo com a AWS.



Fonte: Modenesi, 2012

Tabela 06 - Composição química do arame de acordo com a AWS.

Classe AWS	Composição química (% peso)						
	Carbono	Manganês	Silício	Enxofre	Fósforo	Cobre	Titânio
Eletrodos com baixo manganês							
EL 8	0,10	0,25 – 0,60	0,07	0,030	0,030	0,35	
EL 8K	0,10	0,25 – 0,60	0,10 – 0,25	0,030	0,030	0,35	
EL 12	0,04 – 0,14	0,25 – 0,60	0,07	0,030	0,030	0,35	
Eletrodos com médio manganês							
EM 11K	0,07 – 0,15	1,00 – 1,50	0,65 – 0,85	0,030	0,025	0,35	0,03 – 0,17
EM 11	0,06 – 0,15	0,80 – 1,25	0,10	0,030	0,030	0,35	
EM 12K	0,05 – 0,15	0,80 – 1,25	0,10 – 0,35	0,030	0,030	0,35	
EM 13K	0,06 – 0,16	0,90 – 1,40	0,35 – 0,75	0,030	0,030	0,35	
EM 14K	0,06 – 0,19	0,90 – 1,40	0,35 – 0,75	0,030	0,025	0,35	
EM 15K	0,10 – 0,20	0,80 – 1,25	0,10 – 0,35	0,030	0,030	0,35	
Eletrodos com alto manganês							
EH 10K	0,07 – 0,15	1,30 – 1,70	0,05 – 0,25	0,025	0,025	0,35	
EH 11K	0,07 – 0,15	0,40 – 1,85	0,80 – 1,15	0,030	0,030	0,35	
EH 12K	0,06 – 0,15	1,50 – 2,00	0,25 – 0,65	0,025	0,025	0,35	
EH 14	0,10 – 0,20	1,70 – 2,20	0,10	0,030	0,030	0,35	

Fonte: Modenesi, 2012

5.2.3.2 Fluxo

O fluxo usado no processo é o modelo LW780 (Fluxo ativo), e tem como principais características (ver tabela 07):

- Ótimo desempenho na soldagem em altas velocidades;
- Soldagem até 25 mm de espessura;

Tabela 07 - Composição química do fluxo de acordo com a AWS.

Ingredientes:	Nº CAS	Peso (%)	TLV mg/m ³	PEL mg/m ³
Óxidos de alumínio ou Bauxita *****	1344-28-1	45	10	10
Manganês / Ligas ou compostos de Manganês (Mn) *****	7439-96-5	10	0,2	1,0(c)
Silicatos ou outro aglutinante	1344-09-8	5	10*	10*
Fluoreto (como F)	7789-75-5	5	2,5	2,5
Dióxido de Titânio (como Ti)*****	13463-67-7	<5	10	15
Silício / Ligas ou compostos de Silício (como Si)	7440-21-3	<5	10*	10*
Ferro	7439-89-6	<5	10*	10*
Magnesita	1309-48-4	<5	10	15
Silicatos minerais	1332-58-7	<5	5**	5**
Cobre	7440-50-8	< 5	0,2	-

Fonte: Modenesi, 2012

5.2.4 Material Base

Material base utilizado no processo para a fabricação dos perfis foi a chapa de aço de classificação AH32. Seguem as propriedades do material de acordo com o catálogo da Usiminas na figura 41:

Figura 41 - Especificação técnica do Aço AH32.

Grau	Folha de espessura (mm)	Composição química (% em massa)							Propriedades mecânicas					Charpy		
		C	Si	Mn	P	S	Outros	Ceq (%)	LE (Mpa) Y _P	LR (Mpa) J ₅	Essa	Alongamento	T (°C)	Energia mínima (J)		
				Min							Essa (mm)	BM (mm)	%			
A		0,50 máx.		2,5 x C mín.											-	
B		0,21 máx.		0,60 mín.	0,035 máx.	0,035 máx.				0,40 máx.	235 mín.	400 - 520	200	16	0	
D		0,35 máx.		0,60 mín.											-20	27
E				0,70 mín.											-40	
AH-32				0,70 - 1,60											0	
DH-32	6,00 ≤ E ≤ 80,00			0,70 - 1,60	0,035 máx.	0,035 máx.	(2)			0,36 máx.	315 mín.	440 - 585	200	16	-20	31
EH-32		0,18 máx.		0,90 - 1,60											-40	
AH-36				0,70 - 1,60											0	
DH-36				0,70 - 1,60	0,035 máx.	0,035 máx.				0,38 máx.	355 mín.	490 - 620	200	15	-20	34
EH-36				0,90 - 1,60											-40	

Fonte: Catálogo Usiminas

5.3 PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

As propriedades mecânicas do cordão de solda obtido a partir da soldagem a arco elétrico, como é o caso da soldagem SAW utilizada neste trabalho, dependem do material de base utilizado, da escolha dos consumíveis de soldagem (combinação arame e fluxo), e dos parâmetros de soldagem utilizados durante a soldagem. Os parâmetros de soldagem são devidamente estabelecidos a partir de um procedimento de soldagem, que deve ser devidamente qualificado e utilizado na operação da máquina de soldagem.

O processo de fabricação avaliado possui um procedimento de soldagem qualificado segundo a norma *AWS D1.1 – 2010* e o *ABS Rule for Materials and Welding-part2-2007*. O mesmo foi devidamente aprovado pela classificadora ABS. Porém, por se tratar de um documento confidencial da empresa, o mesmo não pode ser anexado neste trabalho.

6 RESULTADOS OBTIDOS

Como discutido anteriormente, a metodologia de análise e melhoria de processo utilizada para realizar este trabalho foi o DMAIC. As seções seguintes descrevem os resultados obtidos segundo a metodologia adotada, seguindo o roteiro estabelecido pela mesma.

6.1 DEFINIR

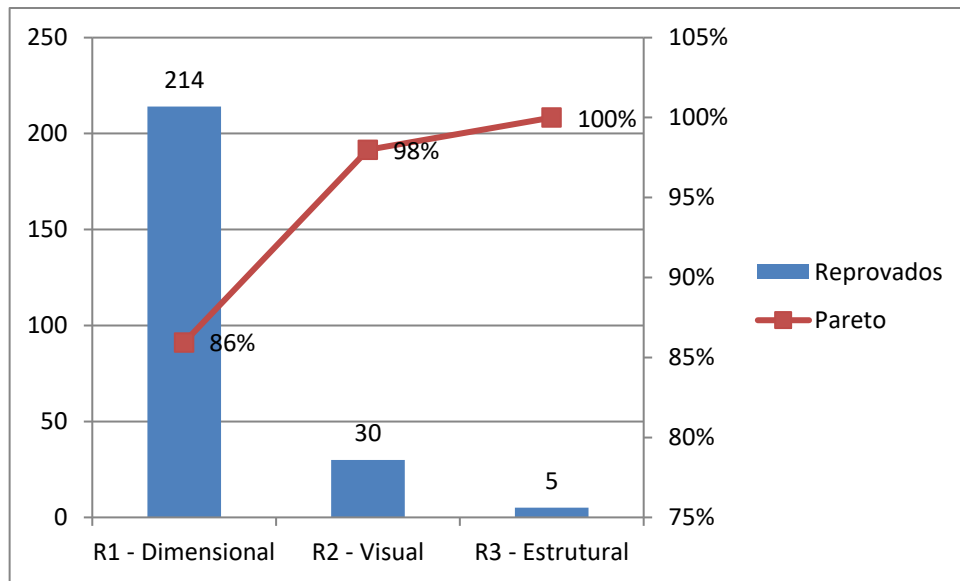
Ao iniciar o projeto Seis Sigma os objetivos e escopo do projeto foi definido de modo que o escopo do trabalho não ficasse muito amplo, fazendo com que os resultados não fossem passíveis de serem atingidos completamente, ou um escopo muito estreito, apresentando resultados não representativos do problema em estudo.

Apesar da definição do projeto ter sido sugerida inicialmente pelo engenheiro de soldagem e a equipe de engenharia de detalhamento de projetos do estaleiro, devido à falta de confiabilidade dos dados de produtividade relacionados ao processo de soldagem, foram também considerados neste trabalho as necessidades do cliente (a equipe de montagem de painéis planos) na identificação das características de qualidade necessárias dos perfis soldados. Ou seja, quais as características de qualidade aceitáveis são críticas para o uso dos perfis em suas atividades de fabricação. O processo de fabricação dos perfis soldados tem um impacto significativo na produção de blocos do navio que serviu de base para o estudo realizado. O navio possui 264 blocos, dos quais os perfis soldados são utilizados em 163 blocos (61,73% do total). Devido à influência destes perfis soldados, e conseqüentemente o processo de fabricação dos mesmos no produto final (o casco do navio), ficou evidente que um projeto de melhoria de qualidade desenvolvido para a fabricação destes perfis resultaria em um impacto positivo na qualidade do no produto final.

Para entender melhor os requisitos de qualidade exigidos pelo cliente e a extensão dos possíveis problemas de qualidade apresentados na fabricação dos perfis soldados, foi realizado uma avaliação de uma planilha de banco de dados do setor de montagem de painéis planos, contendo uma amostra de 631 perfis avaliados pelo cliente durante o período de um mês. Desta amostra, sendo devidamente aprovados 382 perfis (60,54%) e reprovados 249 perfis (39,46%). Os perfis foram

avaliados por três critérios de aceite, sendo R1 atribuído a inspeção dimensional, R2 inspeção visual de solda e R3 inspeção estrutural. De forma a melhor avaliar os motivos de reprovação mensurados, e avaliar quais indicadores de qualidade seriam foco deste trabalho, um gráfico de Pareto foi desenvolvido a partir dos dados disponibilizados que apresentou os seguintes índices, conforme na figura 42:

Figura 42 - Gráfico de Pareto referente a indicadores de qualidade dos perfis soldados a partir dos dados disponibilizados pelo cliente



Fonte: Autor

A partir da análise do gráfico é possível verificar que o índice de reprovação devido a erros dimensionais (R1) representa a grande maioria do espaço amostral (86%). Estes dados confirmam que há falta de confiabilidade na inspeção de qualidade executada do setor de fabricação dos perfis soldados, com conseqüente envio, para o cliente, de produtos defeituosos que não foram devidamente detectados pela equipe de fabricação destes perfis.

É importante frisar que, o cliente faz a inspeção de qualidade dos perfis soldados como uma inspeção de recebimento. O cliente separa os perfis considerados não conformes com as especificações do projeto dos painéis e blocos do navio, e ao invés de retornar estes perfis para o fabricante, retrabalham os perfis inicialmente rejeitados e realizam novas inspeções com aprovação ou rejeição final dos perfis. Desta situação encontrada fica evidente que:

- O cliente direciona recursos de produção para retrabalhar perfis defeituosos, isto representa perdas de produtividade devido à necessidade de corrigir produtos defeituosos e impactando o ritmo de produção de painéis;

- Os produtos retrabalhados e que não passam pela subsequente inspeção de qualidade são rejeitados definitivamente. Isto implica em perdas de produto, impactando ainda mais no ritmo de produção de painéis por falta do produto;
- O cliente não está satisfeito com o fornecedor de perfis soldados.

Como a produção de painéis não é foco deste trabalho se desconhece qual o nível de impacto que estas ações têm na produtividade da equipe, bem como é desconhecido o nível de perfis rejeitados definitivamente pelo cliente.






Retornando agora ao foco deste trabalho, avaliando o processo de fabricação, percebe-se que existem variações dimensionais desta linha de produção devido a distorções de soldagem na direção longitudinal (contração) dos perfis. Isto demonstra que é necessário realizar um estudo sobre o processo de soldagem, aferir se este está devidamente controlado e/ou se será necessário a adoção de melhorias de processo para controlar as distorções de soldagem a patamares aceitáveis para este produto.

A partir da análise do problema e das evidências apresentadas acima foi possível estabelecer os objetivos da análise a ser realizada através do Seis Sigma, sendo definidos:

- **Objetivo Primário:** Realizar diagnóstico do processo de fabricação de perfis para identificar as causas que estão impactando na qualidade dimensional do produto final. Da análise de qualidade ao processo de soldagem, observa-se que engloba 5 dos 6 itens levantados, pela ferramenta voz do cliente (VOC), como necessários para o cliente.
- **Objetivos Específicos:** Realizar através da implementação de ferramentas do Seis Sigma um estudo global dos atributos relacionados ao processo de fabricação de perfis "T" soldados por SAW, visando a elevação do nível de qualidade dos produtos e melhoria de produtividade da fabricação dos produtos acabados.

De modo a entender melhor o processo de fabricação dos perfis soldados e dar início ao entendimento do mesmo, utilizou-se a ferramenta SIPOC. Na tabela 8 abaixo está representado o SIPOC desenvolvido:

Tabela 08 - Esquema SIPOC para o processo de soldagem SAW no estaleiro PE

Suppliers / Fornecedores	Inputs / Entradas	Process / Processo	Outputs / Saídas	Clients / Clientes
Engenharia	Desenhos Técnicos	Tratamento de superfície	Peça Soldada	Painelização
PCP	Programação de produção			
Processamento	Tratamento devido das chapas de aço	Posicionamento e Montagem dos componentes		
Suprimento	Fornecimento de consumíveis			
Corte de Chapas	Fornecimento de elementos para serem soldados	Setup de máquina		
Logística	Movimentação de chapas			
		Soldagem		
				
		Inspeção de solda		
				
		Aferição dimensional		

Fonte: Autor

A partir do entendimento dos macro parâmetros do processo, uma análise foi realizada sobre as qualidades necessárias para entregar um produto ideal, em concordância com as necessidades e expectativas do cliente interno. Para isso, foram observados atributos de acordo com a percepção do cliente através de normas de soldagem, procedimentos padrão e entrevistas com os envolvidos.

Assim, as diretrizes e focos identificados de acordo com a voz do cliente (VOC) são traduzidos requisitos críticos para a qualidade (CTQ) que servirão como base para estabelecer itens a serem controlados ou auditados para atingir as metas do projeto (tabela 9).

Tabela 9 - Esquema VOC e CTQ para o processo de soldagem SAW no estaleiro PE

VOC	CTQ	Objetivo
Cumprimento de prazos	Indicador de desempenho	Aumento de produtividade
Entrega de produtos qualificados	Inspeção de qualidade	Produto de qualidade conforme especificação de projeto
Soldador Qualificado	Certificado de qualificação do colaborador	Colaboradores qualificados
Qualificação do processo de solda	Emissão de EPS aprovada pela classificadora e inspetor qualificado	Garantir soldagem de qualidade
Consumível homologado	Certificados de qualificação dos consumíveis pela classificadora; inspeção de recebimento do material	Garantir soldagem de qualidade
Soldagem de acordo com o procedimento	Acompanhamento do processo de soldagem	Redução de retrabalho; Garantir soldagem de qualidade

Fonte: Autor

Os problemas evidenciados pelo cliente estavam relacionados a desvios de qualidade e baixa produtividade. Tais fatores podem levar a diversos ônus ao setor, como atraso de produção, elevados índices de retrabalhos, aumento de recursos alocados ao setor dentre outras consequências que oneram a produção.

Para avaliar o desempenho do processo de fabricação de perfis soldados diversos tipos de indicadores podem ser utilizados como Homem x Hora; Metro de solda x Tempo; Tempo de arco aberto, peças produzidas por dia, etc. O estaleiro optou por utilizar o indicador de produção diária de perfis, onde contabilizava quantas peças foram produzidas durante os três turnos de produção para atender o setor de painéis planos.

Em adição ao parâmetro de desempenho estabelecido pelo estaleiro, foi também avaliado neste trabalho o indicador de Homem x Hora por peça (HH), de forma experimental, para observar os tempos de retrabalhos ligados ao processo. Em relação aos critérios de qualidade, os perfis estruturais são avaliados em três instâncias:

- Estrutural: A peça tem que apresentar chanfros e cortes conforme o desenho de projeto;
- Visual: A solda deve estar livre de respingos, mordeduras e bolhas;
- Dimensional: A peça deve apresentar a dimensão descrita no desenho de projeto, ou apresentar uma variação de no máximo +/- 3 mm no comprimento axial da peça (Estabelecido pela ABS – veja Anexo D), sendo o perfil em ambos os casos considerado como aprovado (conforme com as especificações de projeto).

O início do projeto se deu com a formação da equipe, onde foram escolhidos colaboradores de diferentes setores da empresa, envolvidos direta ou indiretamente no processo em análise, de forma a contribuírem com as avaliações e agregarem valor ao projeto. O grupo selecionado consiste das seguintes funções:

- Um engenheiro de solda – Líder do projeto;
- Um analista do projeto (o autor: Bruno Fernandes);
- Um colaborador do setor de Engenharia de Qualidade (metrologia);
- Dois colaboradores do setor de manufatura;
- Um inspetor de qualidade.

Após as definições do foco do trabalho e determinação da equipe, foi elaborado um cronograma de atividades, conforme a tabela 10, para conclusão das etapas do ciclo DMAIC:

Tabela 10 - Cronograma inicial para concluir as etapas do processo DMAIC.

Cronograma de Atividades						
	Mês					
Atividades	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Definir						
Medir						
Analisar						
Implementar						
Controlar						

Fonte: Autor

Este cronograma não pode ser seguido plenamente pela equipe, devido aos ajustes do quadro de colabores na empresa, conforme apresentado anteriormente. Contudo, a cronologia de desenvolvimento do projeto foi seguida pelo autor deste trabalho, porém houve um aumento do tempo necessário para a coleta das informações necessárias à execução do projeto conforme será descrito a seguir.

Algumas dificuldades foram encontradas ao desenvolver o projeto, já que não foi possível seguir o cronograma inicialmente estabelecido, e a realização das etapas

Implementar e Controlar ficou inviável. As razões que levaram a esta situação inesperada foram as seguintes:

- Indisponibilidade da equipe para evolução do projeto;
- Elevada rotatividade de profissionais do estaleiro;
- Indisponibilidade de algumas informações relevantes à execução do projeto;
- Pouco envolvimento e participação da alta direção.

A título de informação complementar o indicador Homem / Hora para análise de custo utilizado pelo Estaleiro “PE” é de R\$ 39,00 reais.

6.2 FASE MEDIR

A segunda fase do projeto, após a definição do problema, consistiu em aferir o comportamento do problema levantado pelo cliente. Esta etapa consumiu mais tempo do prazo inicialmente programado no cronograma do projeto, devido à indisponibilidade (nos momentos críticos) dos demais membros do projeto.

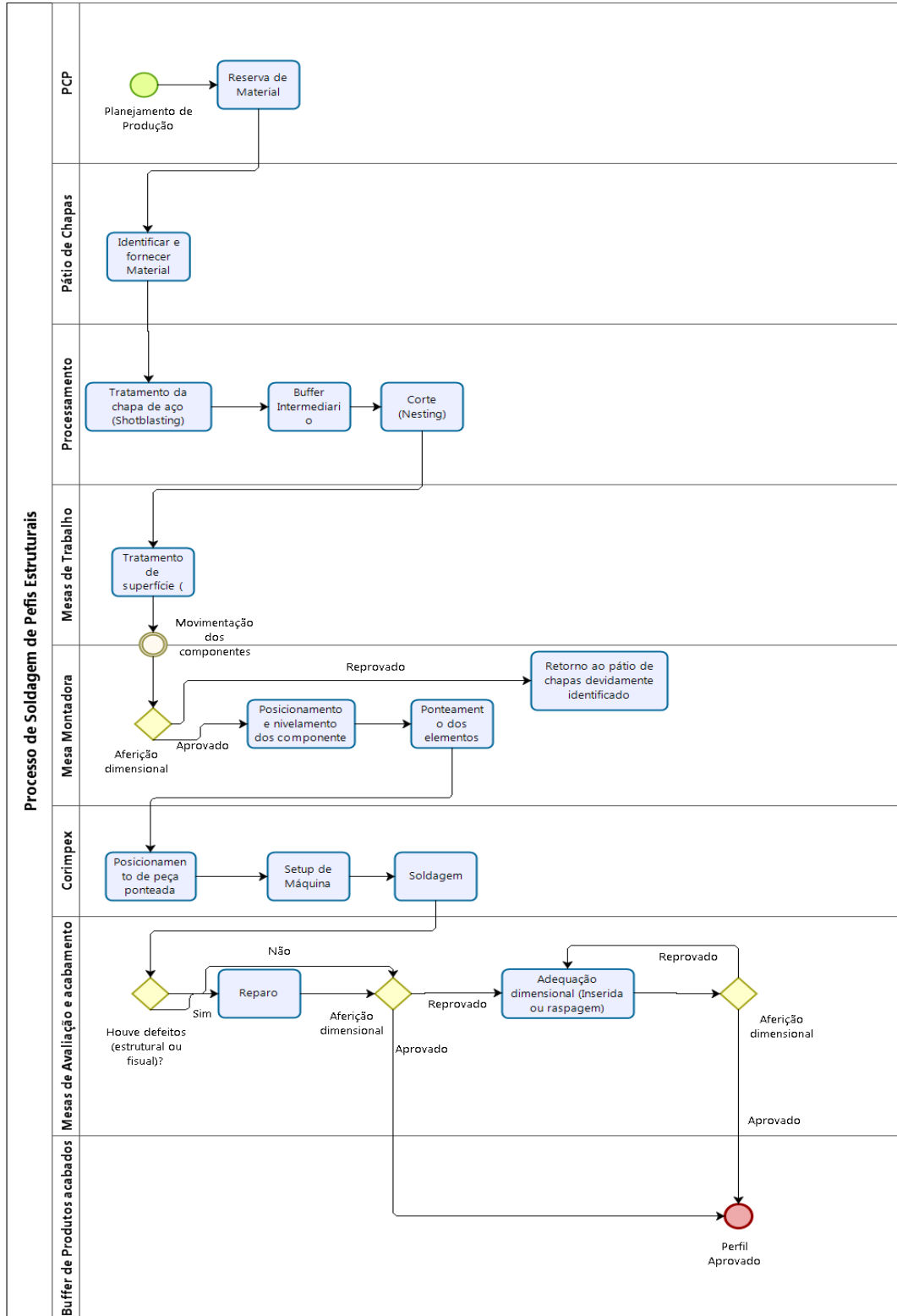
Em uma análise preliminar do processo de fabricação, à luz das demandas de qualidade do cliente, verificou-se a necessidade de realizar uma análise do sistema de medição em uso no processo de qualificação dos produtos, antes mesmo de realizar análises mais detalhadas no processo.

Para este fim, foi realizada uma entrevista com o engenheiro de qualidade responsável pelo produto. Durante esta entrevista foi possível verificar que a Engenharia de Qualidade do estaleiro havia avaliado este sistema previamente, e que como resultado desta análise, comprovavam a capacitação do inspetor de qualidade designado para o processo e a presença de dispositivos de medição devidamente calibrados e certificados. Contudo, foi possível observar que o método de medição estabelecido pela Engenharia de Qualidade continha sérios riscos de apresentar medições inadequadas quando comparado com os padrões de qualidade exigidos pela classificadora. Isto será melhor evidenciado na secção de coleta de dados descrita abaixo.

O fluxograma do processo de fabricação dos perfis soldados foi desenvolvido a partir das informações coletadas e do entendimento de como o processo de fabricação dos perfis soldados é executado. Este fluxograma é mostrado na figura 43

abaixo, e foi utilizado para analisar as atividades do processo individualmente, de forma a identificar quais destas atividades influenciam na qualidade final do produto.

Figura 43 - Fluxograma do processo de fabricação de perfis soldados tipo “T” no Estaleiro “PE”



Note que no nível “Mesas de Avaliação e Acabamento” há duas verificações importantes. A primeira é a verificação da existência de descontinuidades de soldagem. Se as soldas produzidas apresentarem descontinuidades é necessário o reparo de soldagem, que é limitado por norma a um número máximo permitido, caso os reparos forem de soldagem propriamente dita, acima deste limite o produto deve ser reprovado e descartado. Na segunda avaliação de qualidade é aferido as dimensões principais do produto. Em caso de reprovação nesta fase é permitido a execução de reparos para atender os requisitos dimensionais, no entanto há também limites estabelecidos por norma da quantidade de vezes que o produto pode ser reparado. Após estes limites serem atingidos o produto deve ser reprovado e descartado.

Abaixo é feita uma descrição do passo a passo dos subprocessos de produção identificados no fluxograma da figura 43.

- **Planejamento da Produção:** O planejamento de produção é fornecido pelo setor de PCP, onde este contempla quais chapas serão disponibilizadas para corte dos elementos dos perfis estruturais para o setor de chapas, e quais perfis serão soldados para o setor de perfis soldados.

Pátio de Chapas: Disponibilização das chapas solicitadas pelo PCP.

Figura 44 - Pátio de chapas.



Fonte: Autor

- **Tratamento (*Shotblast*):** Tratamento de superfície das chapas retirando impurezas e aplicando uma pintura de proteção para que não haja degradação (por corrosão) da chapa até o seu uso final e antes do processo de pintura (na cabine de pintura).

- **Marcação:** Algumas chapas passam pelo processo de marcação das peças a serem cortadas de acordo com o *nesting* fornecidos pelo setor de engenharia e pelo software Sigma Nesting.

Figura 45 - Área de recebimento de chapas após o tratamento de superfície.



Fonte: Autor

- **Corte:** Realização do corte por plasma dos componentes marcados ou pelos desenhos fornecidos pelo setor de engenharia.

Figura 46 - Máquina de Corte.



Fonte: Autor

- **Buffer intermediário:** Armazenagem dos componentes cortados a serem utilizados no processo de soldagem (Alma e Flange).

Figura 47 - Buffer intermediário de almas e flanges cortados.



Fonte: Autor

- **Mesas de trabalho:** Realiza o tratamento superficial das quinas das peças para obterem a qualidade de superfície adequada para o processo de soldagem.

Figura 48 - Mesa de preparação de peças para iniciar o processo de montagem de perfis.



Fonte: Autor

- **Montagem:** Realização do alinhamento da alma sobre o flange e ponteamento dos componentes a 250 mm da extremidade para garantir seu posicionamento e seguir para a soldagem.

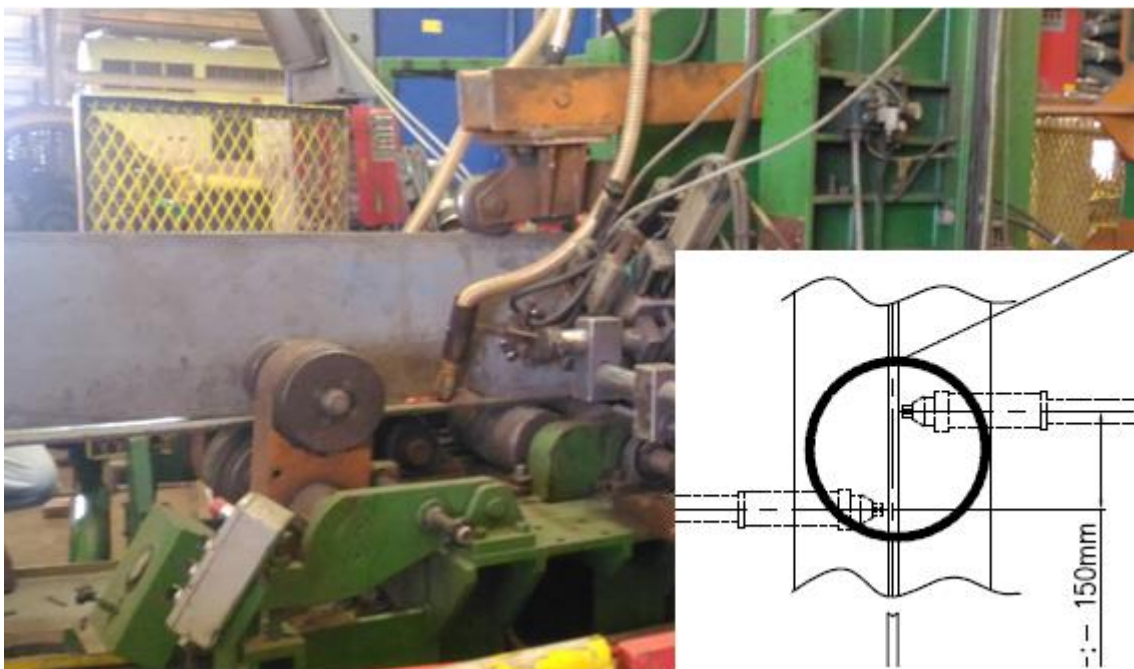
Figura 49 - Mesa da montadora de perfis.



Fonte: Autor

- **Soldagem:** *Setup* da máquina de acordo com as especificações do procedimento de soldagem, onde é realizada a soldagem da peça, pela máquina automatizada com duas tochas *twin wire* de lados opostos.

Figura 50 - Máquina Corimpex realizando a soldagem de perfis.



Fonte: Autor

- **Qualidade:** Aferição das medidas dimensionais de acordo com os desenhos da longarina após o processo de soldagem (Contração de solda) após o processo de desempenho. Caso o perfil apresente uma contração longitudinal fora do padrão de qualidade ($\pm 3\text{mm}$) e menor que o exigido no projeto ($\pm 10\text{mm}$) este é retrabalhado, igualmente a flecha de deformação longitudinal (o empeno) é verificada. Não sendo possível atender estes dois parâmetros dimensionais exigidos no projeto o produto é reprovado e descartado.

- **Acabamento - Retrabalho:** Aplicação de linhas de calor (tratar empeno), processo de lixamento (tratar peças com tamanho maior) e enchimento de solda (tratar peças com o tamanho menor) para conferir às peças as características de qualidade dimensionais requeridas pelo cliente. Caso haja necessidade de tratamento de reparo de soldas (Exemplo: trincas) este processo pode somente ser repetido três vezes de acordo com a norma AWS D1.1.

Figura 51 - Células de desempenho. Aplicação de linhas de calor para tratar desempenos.



Fonte: Autor

Figura 52 - Preparação de Flanges, tratamento de superfície.



Fonte: Autor

- **Qualidade:** Aferição das medidas dimensionais após o processo de retrabalho.

Figura 53 - Aferição dimensional de perfis.



Fonte: Autor

- **Expedição:** Liberação do produto acabado e aprovado.

Figura 54 - Área de expedição de perfis.



Fonte: Autor

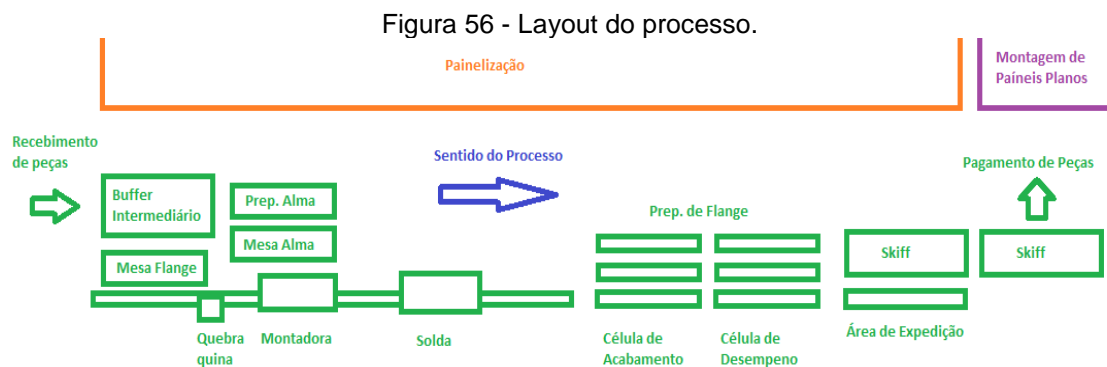
- **Buffer Produto Acabado:** Armazenamento dos perfis em *skiffs* e prontos para serem utilizados no processo de montagem de painéis planos.

Figura 55 - Armazenamento de produtos acabados.



Fonte: Autor

Abaixo, na figura 56, está descrito o layout do processo de fabricação dos perfis soldados tipo “T”.



Fonte: Autor

Referente a soldagem por SAW dos componentes que irão formar o produto propriamente dito descrevemos abaixo os recursos e parâmetros utilizados no processo de soldagem

EPS – Especificação de Procedimento de Soldagem:

- Tensão: 31,2 a 35,8 V
- Corrente: 684 a 874 A
- Polaridade: CC+
- Espessura Alma: 185mm
- Espessura Flange: 210mm
- Material Base: AH-32
- Temperatura de pré-aquecimento: >20°C
- Velocidade de Soldagem: 76 a 103 cm/min
- Classificação AWS Fluxo/Arame: F7A2-EM12K

- Especificação AWS: A 5.17

Note que a EPS não especifica instruções de trabalho para diferentes grupos de espessura e comprimentos de perfis.

- **Máquina de soldagem SAW automatizada, 2 tochas/*Twin Wire*:**

Figura 57 - Máquina Corimpex realizando a soldagem de perfis.



Fonte: Autor

- **Equipamento de Tratamento Térmico pré-soldagem:** Jamo Modelo JMMF (Forno industrial por indução tipo aquecedor indutivo)

Figura 58 - Forno industrial JAMO.



Fonte: Autor

- **Fontes:** 2 Fontes Lincon1000 AC/DC

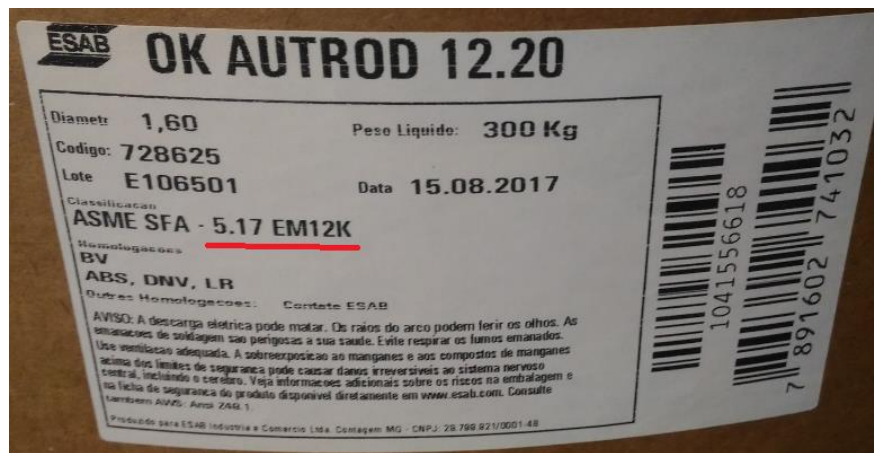
Figura 59 - Fonte de Energia Lincoln



Fonte: Autor

- **Arame de adição:** Lincoln Primierweld EM12K

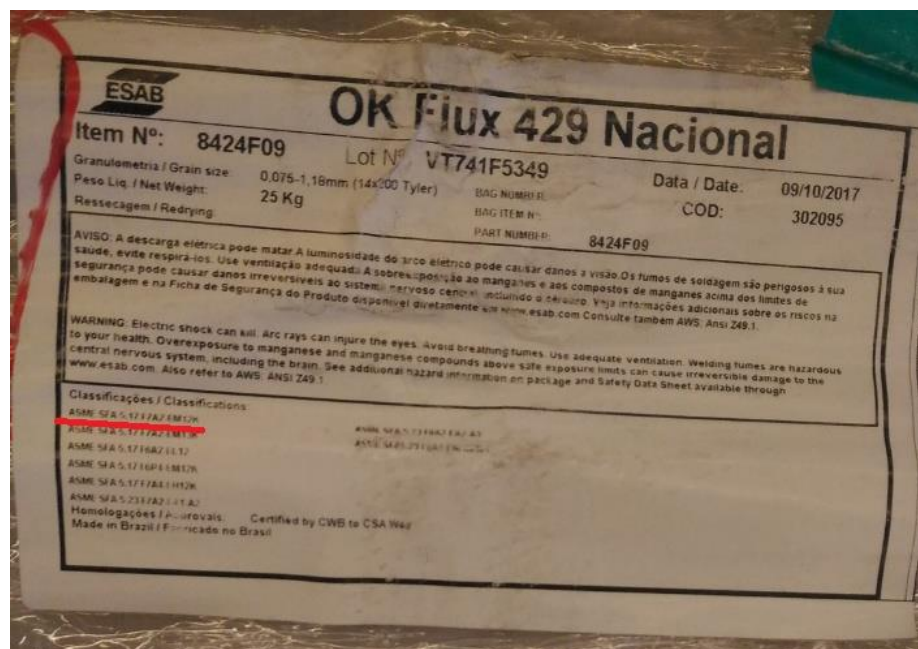
Figura 60 - Arame de adição utilizado no processo.



Fonte: Autor

- **Material Base:** Especificação ABS AH32
- **Fluxo utilizado:** Fluxo LW780 (Fluxo ativo)

Figura 61 - Fluxo utilizado no processo.



Fonte: Autor

- **Operador:** Um operador com dedicação exclusiva.
- **Escopo dos Perfis** - As espessuras utilizadas no processo de soldagem variam de 15 mm a 28 mm para flanges e de 11 mm a 20 mm para almas e podendo atingir comprimentos até 16000 mm (Tamanho máximo da chapa de aço base utilizada). Com isso uma grande gama de combinações de perfis pode ser inferida a partir das espessuras relacionadas no projeto, logo se observou a necessidade de um controle adequado do processo para manter a qualidade do processo de soldagem para entregar perfis com as

especificações dentro do padrão de qualidade exigido pelo projeto e pelo seu cliente interno (setor de painelização). Deste modo, foi realizado uma coleta de medições para buscar uma análise mais completa do processo e observar oportunidades de melhoria.

6.2.1 Coleta de dados dimensionais dos perfis soldados

Essa etapa teve como objetivo avaliar um espaço amostral de dimensões dos perfis antes e após terem passado pelo processo de soldagem. Durante o estudo observou-se que as medições, da coleta dos dados, dimensionais eram realizadas somente após a execução da soldagem. Contudo, foi possível verificar que a aferição das medidas dimensionais pré-soldagem dos elementos dos perfis era realizada parcialmente por um dos colaboradores, não contemplando todos os perfis, e por escolhas da equipe de produção estas medições deixaram de ser realizadas como padrão do processo. Após a decisão da realização do presente trabalho ao engenheiro de soldagem, a aferição dimensional pré-soldagem voltou a ser realizada, onde o autor, auxiliou na coleta das amostras (Anexo A) como mostrado na figura 62.

Figura 62 - Aferição dimensional dos flanges e almas antes do processo de soldagem.



Fonte: Autor

Os padrões de qualidade dimensionais estipulados pela classificadora (veja Anexo D) determinam os desvios dimensionais considerados aceitáveis para a aprovação dos produtos fabricados. Neste caso, as tolerâncias dimensionais de comprimento longitudinal determinam que se o produto final apresentar um comprimento igual ao valor dimensional de projeto ou dentro de uma variação máxima

de +/- 3mm (Limite superior +3mm e Limite inferior de -3mm), o produto está aprovado na inspeção dimensional, caso contrário o produto deve ser retrabalhado ou descartado sumariamente.

Durante as medições realizadas foram consideradas as incertezas da trena, que estava devidamente calibrada, e ao erro humano de medição. A incerteza de medição da trena de acordo com o certificado de calibração consultado é estipulado como +/-1 mm, já a incerteza relacionada ao erro humano, uma vez que não foi utilizado método científico de medição, foi considerada ser da ordem de +-2mm devido a potenciais dificuldades de posicionamento inicial e final da trena nas identificar as extremidades da peça, como também devido a desvios angulares existentes nas extremidades das peças. Somados, os desvios da trena associados aos desvios de posicionamento da mesma se obtém um desvio de +/- 3 mm para as medições realizadas. Com base nestas observações as medições realizadas serão consideradas da seguinte maneira:

$$\text{Dimensão final} = \text{Valor absoluto} \pm (\text{Desv.Trena} + \text{Desv.Humano})$$

Equação 2 - Dimensão final do produto considerando desvios de medição da trena

Considerando que os desvios de medição e as tolerâncias dimensionais exigidas são de igual valor numérico, podemos afirmar que o sub processo de avaliação dimensional, devido ao método utilizado nesta operação, não dá margem a erros de medição que podem ocorrer por outras incertezas inerentes a ação de medição dimensional. Isto significa que o método de medição empregado deve sofrer uma readequação, de forma a garantir que as tolerâncias de medição possam ser devidamente capturadas e que estejam dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela engenharia de produto. Ou seja, o método de medição por trena, como atualmente utilizado, é ineficaz para estabelecer o aceite ou não do produto em estudo.

As medições foram realizadas por uma carta de controle desenvolvida pelo autor (Anexo B) em 68 elementos em dias espaçados. Todas as medições foram realizadas pelo autor deste trabalho antes do processo de montagem de perfis, e as medições após a soldagem foram realizadas pelo técnico de qualidade da área. As medições foram realizadas na extremidade mais próxima a região do cordão de solda conforme descrito no procedimento de medição.

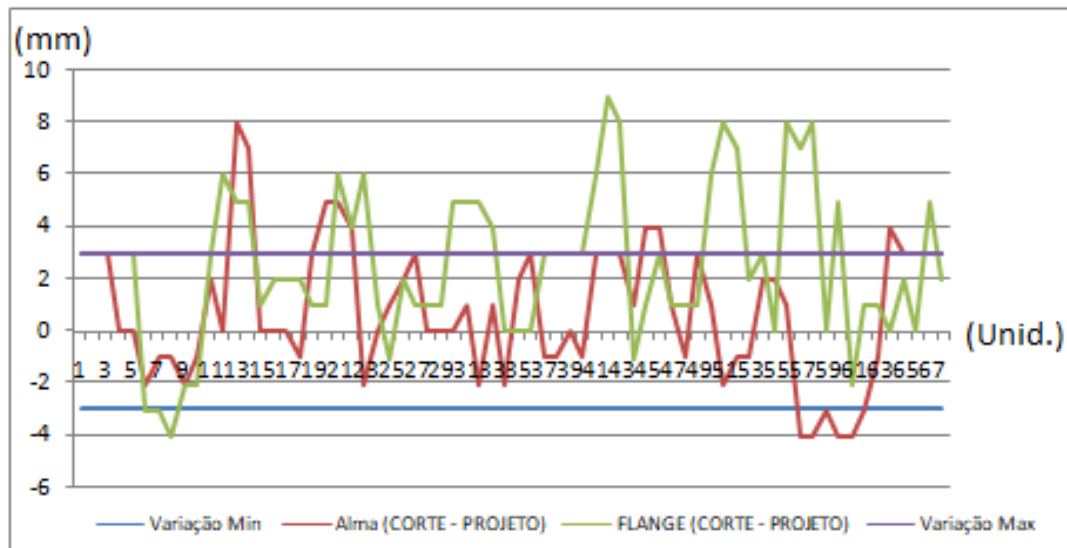
As medições após a soldagem foram acompanhadas parcialmente pelo autor que notou que havia somente um colaborador realizou sozinho as medições. O

colaborador usava um imã para fixar a trena próximo da extremidade onde a trena se iniciava, e estendendo a mesma para fazer a medição na outra extremidade. Este método de medição além de não propiciar uma fixação segura para a extremidade livre da trena (fixada com imã), pode levar a erros de posicionamento inicial potencialmente superiores aos desvios aqui propostos; também não garante o esticamento total da trena para a execução de uma medição dentro dos parâmetros de controle determinados pela classificadora. Isto quer dizer que, todas as medições realizadas após a soldagem, pelo menos aquelas que o autor acompanhou, devem estar comprometidas, isto é, com erros de medição iguais ou superiores aos previstos na equação 2 acima.

- **Medição antes da soldagem**

O plano amostral contou com 68 elementos, tanto almas como flanges dos perfis “T” a serem fabricados. As almas apresentaram comprimentos variando de 15445 mm até a 15947 mm e espessura de 11 e 12 mm. Já os flanges apresentaram comprimentos variando de 15448 mm até a 15950 mm e espessura de 15 mm. Segue abaixo o gráfico 01, onde representa as variações das medições nominais de comprimento realizadas, note que nesta figura são plotados os valores excedentes ou faltantes (variações) em relação ao comprimento absoluto especificado pelo projeto.

Gráfico 01 - Análise dimensional de Almas e Flanges antes da soldagem.



Fonte: Autor

A análise da variabilidade dos comprimentos nominais mostrou que 41 componentes estavam aprovados (60,3%) e 27 reprovados (39,7%) segundo o critério de medição dimensional definido pela classificadora. Apesar da reprovação

dimensional de 27 peças o supervisor da linha de montagem decidiu utilizar todas as peças, e aplicar necessárias correções após a finalização do processo de soldagem.

Porém, considerando as margens de desvio de medição determinadas pela classificadora, e os desvios de medição aferidos e representados pela equação 2 acima, o número de peças aprovadas e reprovadas seria ainda diferente da avaliação dimensional apresentado no gráfico 01.

Reavaliação dos resultados, considerando as incertezas de medição da trena e do fator humano agregado, demonstram uma situação ainda mais preocupante quanto a avaliação dimensional inicial das peças avaliadas na fase pré-soldagem. Peças aprovadas considerando as incertezas de medição, somando as peças aprovados que podem estar dentro dos limites dimensional, somando por fim as peças reprovadas que podem estar dentro dos limites aprovados.

$$Aprov. = Peçadentrodoslimites \pm aprov.dentro \pm rep.dentro$$

Equação 3 - Definição do espaço amostral de peça aprovadas

Reprovadas: Peças reprovadas considerando as incertezas, somando as peças aprovadas que podem estar fora dos limites dimensional, somando por fim as peças reprovadas que podem estar fora dos limites aprovados.

$$Rep. = PeçaForadoslimites \pm aprov.fora \pm rep.fora$$

Equação 4 - Definição do espaço amostral de peça aprovadas

Os resultados deste rearranjo executado, considerando as incertezas de medição avaliadas, nas equações 3 e 4, resultou na seguinte distribuição:

- Aprovados: $0 \pm 41 \pm 18 = 0 \pm 59$ peças;
- Reprovados: $9 \pm 18 \pm 41 = 9 \pm 59$ peças.

Estes resultados mostram que não se tem certeza que qualquer dos perfis analisados neste estudo pré-soldagem estaria aprovado para uso. Estes dados não foram utilizados pela equipe de produção do estaleiro para excluir perfis do processamento por soldagem, mas foram apresentados aqui no intuito de mostrar a fragilidade do método de medição utilizado na linha de produção em estudo.

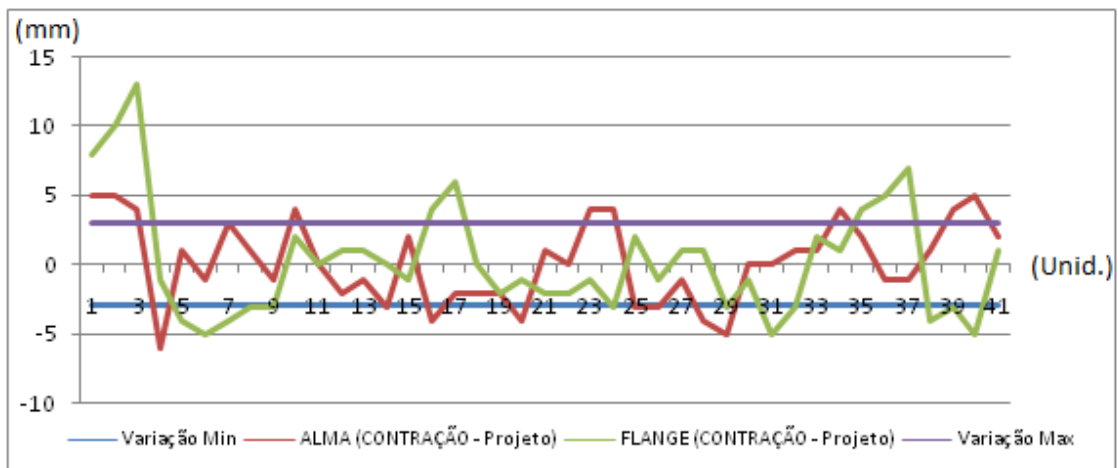
Após a soldagem das peças que compõe os perfis um plano amostral de 41 perfis foi realizado a avaliação dimensional novamente. Como na avaliação pré-soldagem as almas deveriam apresentar, de acordo com os desenhos técnicos, comprimentos variando de 15442 mm até a 15945 mm e espessura de 11 e 12 mm. Já os flanges deveriam apresentar comprimentos variando de 15441 mm até a 15943 mm e espessura de 15 mm.

As medições dos perfis acabados aprovados deveriam obedecer a uma variação de comprimento máxima de +/- 3 mm (Limite superior +3 mm e Limite inferior de -3 mm). Caso apresentem uma variação menor de +/- 10 mm, estes são considerados reprovados com restrição, pois os perfis ainda conseguem ser retrabalhados, contudo, se o perfil apresentar uma variação maior que +/- 10 mm, este é considerado reprovado e descartado.

A fim de realizar uma análise para identificar um padrão relacionado às medições, os dados coletados serão dispostos de acordo com o comprimento da peça.

Segue abaixo as aferições realizadas no gráfico 02, onde no eixo vertical está medindo a variação de comprimento na escala de milímetro e no eixo horizontal os elementos estão dispostos em ordem crescente de comprimento, do menor para o maior:

Gráfico 02 - Contração dos elementos do perfil de acordo com o comprimento da peça.

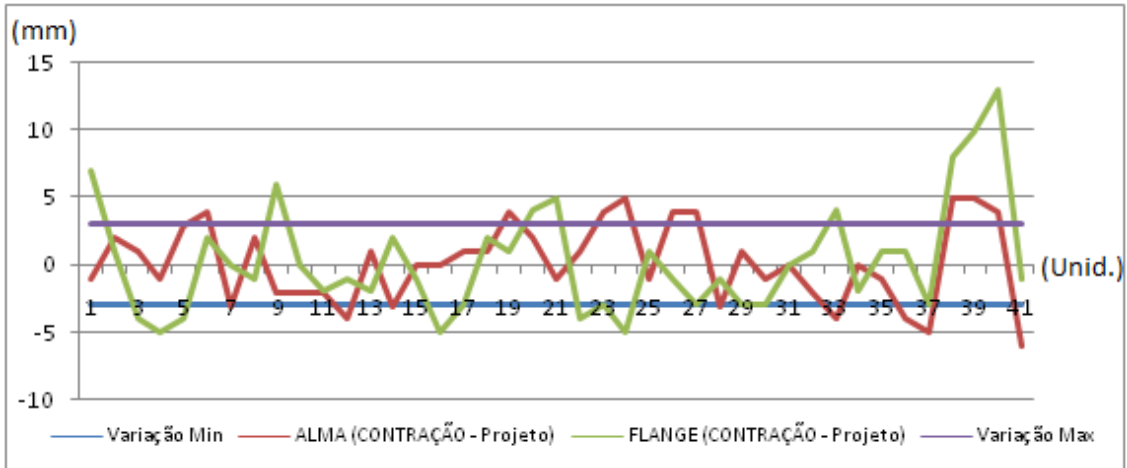


Fonte: Autor

Em seguida, as medições realizadas podem ser visualizadas no gráfico 03, onde no eixo vertical está medindo a variação de comprimento na escala de milímetro, enquanto no eixo horizontal os elementos estão dispostos em ordem crescente de parâmetros de soldagem utilizados, do menor para o maior.

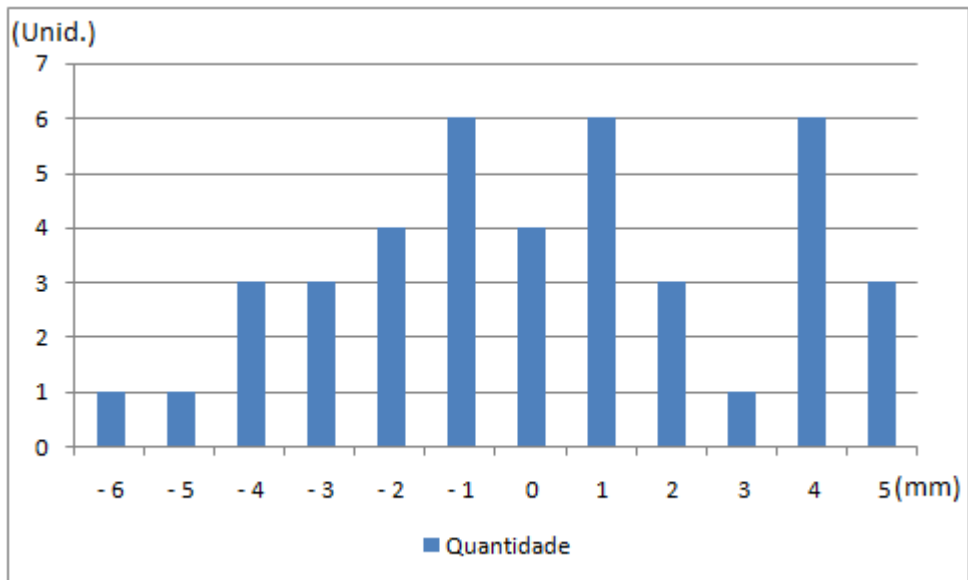
Vale salientar que os parâmetros de soldagem como tensão e velocidade de translado foram mantidos constantes e a temperatura de pré-aquecimento estava em branco (Valor zero) durante todas as medições, isto é, as soldas não foram devidamente pré-aquecidas como especificados na EPS.

Gráfico 03 - Contração dos elementos do perfil de acordo com os parâmetros de soldagem.



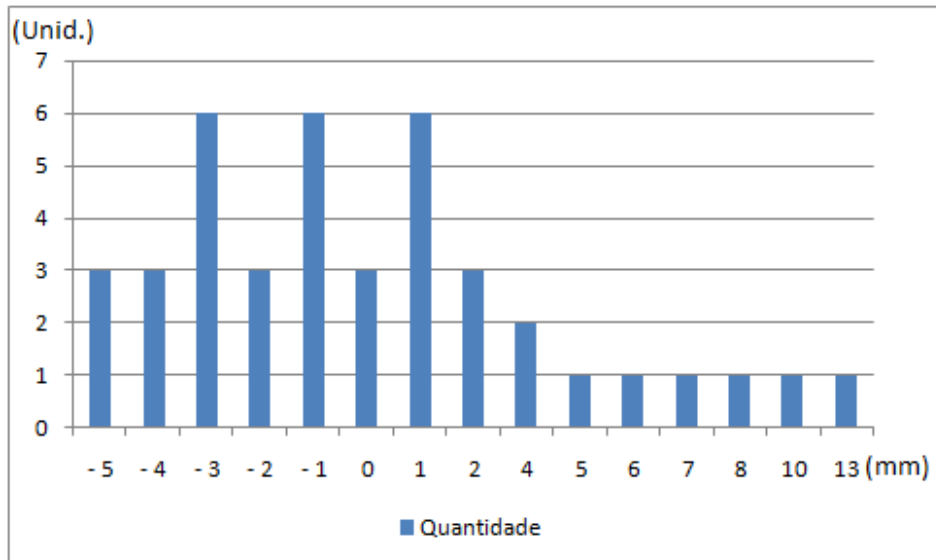
Fonte: Autor

Gráfico 04 - Variação de contração da Alma.



Fonte: Autor

Gráfico 05 - Variação de contração do Flange.



Fonte: Autor

Analisando as distribuições de variações de cada elemento isoladamente, como plotado nos gráficos 04 e 05 e gráficos de controle 02 e 03 e análise das medições absolutas, temos um valor de 18 perfis aprovados (43,9%) e 23 perfis reprovados (56,1%). A partir destes dados podemos inferir que o processo de fabricação dos perfis soldados não está controlado e não apresenta um padrão de variação tanto para os comprimentos das peças, como para os parâmetros de soldagem utilizados.

No entanto, os dados apresentados até agora são medidas nominais, isto é, sem a inclusão das incertezas de medição como deve ser apropriado. Ao considerar os desvios de medição calculados pela equação 2, o valor de perfis aprovados e reprovados passaria a ter um novo quantitativo, a partir das equações 3 e 4, sendo dado por:

- Aprovados: $1 \pm 17 \pm 19 = 1 \pm 35$ peças;
- Reprovados: $4 \pm 17 \pm 19 = 4 \pm 35$ peças.

Este resultado é alarmante, e mostra que existe a certeza que apenas um dos perfis soldados analisados neste estudo estaria aprovado para uso, segundo os critérios de projeto estabelecidos. O resultado mostra que o processo está fora de controle necessitando de intervenção urgente para promover correções necessárias à garantia da qualidade.

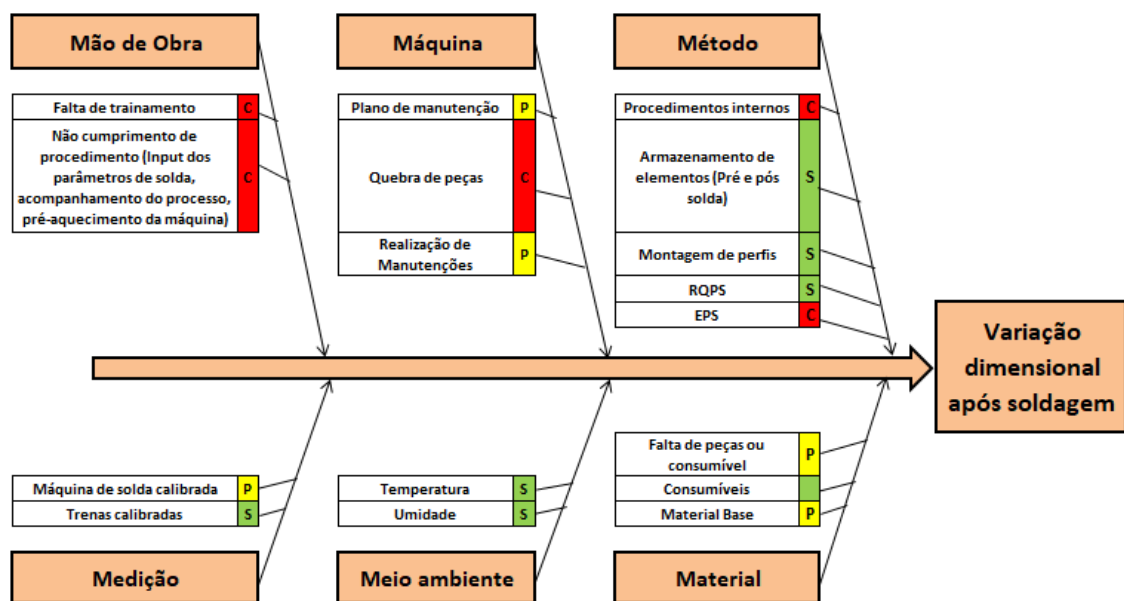
Adicionalmente a urgência de intervenção demonstrada, foi observado durante a coleta de dados que não havia informações da temperatura de pré-aquecimento durante a soldagem (Anexo A). Foi realizada uma entrevista com os colaboradores que operavam a máquina de soldagem, os quais relataram que a máquina que realiza o pré-aquecimento da junta soldada estava quebrada, portanto fora de uso, e que mesmo quando operante durante o processo de soldagem apresentava muitas quebras, trazendo inconstâncias ao processo. Justificaram que esta é a razão pela qual o parâmetro de soldagem para temperatura de pré-aquecimento estava vazio.

A partir deste espaço amostral de peças e perfis avaliados, foi realizada uma análise mais detalhada dos problemas encontrados na fase Analisar para identificar as causas raízes que estão impactando na qualidade dimensional dos perfis.

6.3 FASE ANALISAR

A fim de analisar os desvios dimensionais dos perfis fabricados, à ferramenta de *brainstorm* foi utilizada junto com o diagrama de Ishikawa para listar as possíveis causas do problema. Para construir o diagrama de Ishikawa foram executadas auditorias e coleta de dados dos setores envolvidos para identificar as possíveis causas raízes das não conformidades observadas. O diagrama resultante da análise encontrasse na figura 63.

Figura 63 - Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Autor

Legenda:

S (Verde): Sem risco - Causa investigada e confirmada como coerente sem impactar o efeito deste estudo;

P (Amarelo): Potencial - Causa investigada e confirmada ter correlação com o efeito;

C (Vermelho): Crítico - Causa investigada e confirmada causa raiz.

A análise e investigação para priorização das possíveis causas deveriam ter sido realizadas pela equipe, porém pela indisponibilidade da equipe e rotatividade de colaboradores, todos os pontos foram investigados pelo estagiário.

Nesta investigação foram priorizadas as avaliações dos consumíveis, procedimentos e colaboradores (operadores da máquina de solda), pontos fundamentais para se obter uma solda de qualidade.

A análise foi realizada de forma a coletar dados e informações em campo buscando sempre observar os seguintes pontos abordados no *brainstorm* do diagrama de Ishikawa:

- As atividades estão sendo feitas de acordo com o procedimento de montagem e soldagem? (Auditoria do processo)
- Os parâmetros de soldagem estão ajustados ao processo? (Verificação do procedimento de soldagem e EPS)
- Arame consumível, fluxo e material base estão contemplados no processo de soldagem? (Inspeção de recebimento de consumíveis)
- Qual o tempo de retrabalho por peça?
- As medições são realizadas de forma correta? (Auditoria do processo de medição)
- Os colaboradores são capacitados? (Capacitação dos colaboradores)
- Plano de manutenção dos equipamentos está atualizado e sendo realizado periodicamente?
- A máquina de solda está calibrada? (Confiabilidade de máquina).
- Análise da quebra de componentes da máquina: Por que o processo de tratamento térmico estava sem funcionar?
- Como é o processo para reposição de peças da máquina junto ao setor de suprimentos.
- A armazenagem no produto final (perfis soldados) é realizada de forma devida (Após o corte das chapas e após a soldagem do perfil)?

Como apontado, houve a necessidade de realizar uma auditoria no processo para avaliar a sistemática no entorno da soldagem realizada nos perfis para identificar as potenciais causas das variações encontradas na fase Medir. Abaixo será descrito os relatos encontrados em cada etapa.

6.3.1 Procedimentos e Auditoria de Processo

6.3.1.1 Procedimento de Montagem

O processo de montagem apresenta um procedimento de montagem de peças, o colaborador entrevistado apresentou conhecimento em operar a máquina para realizar a montagem do perfil e segue o procedimento corretamente.

Na coleta de dados apresentada na fase medir, observou-se algumas variações nas medições antes da montagem dos elementos dos perfis. Assim os padrões de qualidade dimensionais relacionados no procedimento operacional não estavam sendo checados adequadamente, portanto o colaborador desconhece o fato de as dimensões iniciais das peças possuem sério risco de terem dimensões não conformes com o processo.

6.3.1.2 Procedimento de Soldagem

O colaborador entrevistado apresentou conhecimento mediano em operar a máquina para realizar a soldagem do perfil. Onde o mesmo relatou ser capaz de fazer operações mínimas para realização de soldas do perfil, como: Ligar/desligar a máquina, realizar o posicionamento da peça antes do processo e colocar os parâmetros de soldagem.

Porém, o mesmo relatou que não recebeu treinamento formal para operar a máquina, e que não tem conhecimento para fazer pequenas intervenções na máquina caso a mesma apresente algum tipo de falha, sendo necessário chamar a equipe de manutenção.

6.3.1.3 Procedimento de medição

Como já discutido previamente, ficou evidente a necessidade de revisão do procedimento de inspeção dimensional utilizado na linha de produção, uma vez que o atual procedimento adotado produz inúmeras incertezas durante o processo de fabricação dos perfis soldados. Para que as atividades de medição dimensional

apresentem uma maior confiabilidade na classificação das peças como aprovadas e reprovadas um novo procedimento de inspeção é necessário e urgente.

6.3.1.4 Dimensionamento de material a mais

O projeto da embarcação foi realizado pela empresa *Samsung Heavy Industries (SHI)*, sendo assim os cálculos de contração dos aços utilizados no projeto devido ao uso de processos de soldagem a arco foram realizados pela empresa.

Após realizados estes cálculos é possível se estabelecer a quantidade de material adicional que se deve considerar nos componentes a serem soldados para contrapor os efeitos de contração longitudinal que ocorrerá após a soldagem. No caso em estudo a SHI forneceu uma lista chamada de “material a mais” que descreve a quantidade de material adicional que é colocado nas chapas, para que após a soldagem, as peças obtenham a dimensão correta para os futuros processos de montagem. Neste caso, o processo subsequente que é a de montagem de painéis planos.

Os estudos de contração de solda que levaram ao desenvolvimento da lista de materiais de cada peça a ser soldada (alma e flange de perfis estruturados) não podem ser divulgados por questões confidenciais. Neste trabalho será apenas mostrada a lista de material a mais dos perfis analisados na fase medir (Anexo A).

6.3.1.5 Especificação do processo de soldagem (EPS/RQPS)

Avaliando os materiais utilizados no processo diariamente, foi observado que todos os materiais e consumíveis estavam de acordo com o procedimento de soldagem, com exceção de uma ocorrência (material base) quando a chapa de aço utilizado no processo não estava dentro das especificações definidas na EPS.

O desvio do procedimento consiste em que o procedimento qualificado contempla somente chapas de aço de especificação AH32, e no caso da ocorrência não conforme foi utilizada uma chapa de aço de especificação A36, proveniente de um reaproveitamento de uma sobra de chapa. Não consta na EPS do processo que chapas do tipo A36 estariam contempladas pelo procedimento qualificado, caracterizando, portanto, uma não conformidade de processo.

Após avaliar os documentos e procedimentos existentes para o processo de soldagem, observou-se que os parâmetros de soldagem foram fixados para todos os diferentes padrões de perfis utilizados (comprimento e espessura), não havendo especificações mais detalhadas para os mais diversos tipos de comprimento e espessuras.

De acordo com a norma AWS D1.1, para a qual o procedimento de soldagem avaliado foi desenvolvido e qualificado, o dimensionamento adequado de uma solda e aprovação de um EPS, as variáveis essenciais devem ser levadas em conta, e caso exista qualquer modificação nestas variáveis, se configura a necessidade de uma requalificação do EPS. As variáveis essenciais de processo segundo a AWS D1.1 são: Tipo de material base utilizado, corrente e voltagem, velocidade de translado (velocidade de soldagem), temperatura de pré-aquecimento e as espessuras dos elementos a serem soldados. Assim, consegue-se evitar um super ou sub dimensionamento dos parâmetros de soldagem, ocasionando em situações não previstas em projeto, como distorções de solda, falta de penetração e descontinuidades no cordão de solda.

Apesar das alegações do supervisor do processo de fabricação dos perfis soldados, o que se verificou foi uma não conformidade em relação ao uso da EPS existente para a fabricação dos perfis que não contempla outros materiais além de chapas de aço com especificação AH32.

6.3.1.6 Retrabalho

Os retrabalhos necessários para entregar um perfil dentro dos padrões de qualidade necessários englobam operações como aplicação de linhas de calor (para corrigir empenos), esmerilhamento da peça (comprimento maior que o desejado) e preenchimento de solda (comprimento menor que o desejado).

A fim de mostrar os impactos do retrabalho realizado na linha de produção, foram realizadas medições de tempo para quantificar os custos desta atividade. As medições foram realizadas pelo autor com o auxílio de cronometro em aparelho celular.

Peça com comprimento maior - Esmerilhamento: 30 minutos

O processo de esmerilhamento é realizado por esmerilhadeiras para ajustar o comprimento das peças de acordo com a marcação do inspetor de qualidade.

Peça com comprimento menor - Preenchimento de solda: 70 minutos

O preenchimento de solda é um processo mais complexo que o esmerilhamento. Neste caso, um comprimento de 250 mm do perfil é cortado e soldado novamente ao perfil original de modo que a peça aumente de comprimento devido a presença do cordão de solda. Além disso, necessita da utilização de uma ponte rolante para movimentação e posicionamento da peça durante a execução da soldagem, fazendo com que esta atividade não pudesse ser realizada a qualquer momento por depender da disponibilidade da ponte rolante.

Note que esta atividade de corte e soldagem do perfil fabricado é executada somente para os casos onde o produto final ficou menor do que o exigido pelo projeto, já consideradas as tolerâncias dimensionais exigidas. Porém, é importante chamar a atenção para o fato de que além de ser uma operação de reparo de custo elevado, esta operação de reparo introduz novas linhas de soldagem, em um elemento estrutural que está sujeito a elevadas tensões e a fadiga, também demanda operação de inspeção não destrutiva adequada e uma EPS própria para a execução desta atividade.

Podemos considerar, portanto, que esta operação de reparo deve ser revisada para evitar a soldagem desnecessária no caso de um maior controle do processo de soldagem dos perfis produzir produtos conformes com as especificações desejadas no projeto.

Peça com empenos - Linhas de Calor: 30 minutos

Devido às distorções de soldagem, os empenos são tratados por aplicação de linhas de calor no perfil soldado para conformá-lo e atingir os requisitos de qualidade. Essa atividade apresentou variados tempos por ser uma atividade artesanal e depender da experiência do colaborador (Figuras 65 e 67).

Figura 64 - Evidência de empenos dos perfis após a soldagem.



Fonte: Autor

Figura 65 - Evidência de empenos dos perfis após a soldagem



Fonte: Autor

Figura 66 - Aplicação de linhas de calor para conformar os perfis.



Fonte: Autor

Avaliando apenas o espaço amostral de estudo, dos 41 perfis analisados, todos apresentaram empenos, e observando o número absoluto de perfis considerados reprovados (23 perfis), temos 10 peças maiores (uma peça está acima do limite permitido de aceitação para retrabalho, maior que 10mm de variação) e 13 peças menores, logo temos um tempo de retrabalho neste espaço amostra de:

- Linhas de calor (Empeno): $40 * 30 \text{ minutos} = 1.200 \text{ minutos} = 20 \text{ horas}$;
- Lixamento (Peça maior): $9 * 30 \text{ minutos} = 270 \text{ minutos} = 4,5 \text{ horas}$;
- Preenchimento de solda (Peça menor): $13 * 70 \text{ minutos} = 910 \text{ minutos} = 15,16 \text{ horas}$;
- Tempo total = $2.380 \text{ minutos} = 39,66 \text{ horas}$.

Houve somente 40 peças com aplicação de linha de calor, pois 1 peça foi reprovada e descartada, logo não foi incluída na análise de tempo de retrabalho por empeno.

O custo desde retrabalho (custo de não qualidade) por homem hora utilizado somente para requalificar o perfil (Custo 1 HH = R\$ 39,00) é de R\$ 1.546,97 reais. Note que estes valores são somente de horas trabalhadas, não foram considerados os custos com matéria prima, energia, movimentação dos perfis para reparo, etc.

6.3.2 Medição – Metrologia

Como previamente verificado, o colaborador responsável apresenta capacitação necessária para o processo e utiliza trena calibrada por um laboratório externo certificado pelo Inmetro.

A análise realizada na secção de coleta sobre o procedimento de medições mostrou a necessidade de revisão sobre o processo de metrologia para garantir medições confiáveis.

6.3.3 Operadores – Mão de obra

Durante a pesquisa foi possível observar que dois operadores alternavam a operação da máquina. Neste período foram realizadas entrevistas com os mesmos, a fim de obter um melhor conhecimento sobre o processo e identificar oportunidades de melhoria.

Nas Entrevistas, foram observados os seguintes pontos:

- Operadores apresentavam treinamento para realizar solda por arco submerso;
- Existência de *checklist* diários para inspeção da máquina antes de iniciar a produção, porém os mesmos não estavam sendo utilizados;
- Operadores não tinham treinamento específico para operar a máquina; (Requisito 7.2 da ISO 9001)
- Procedimentos não estavam disponíveis para consulta (cópias físicas); (Requisito. 7.5 ISO 9001)
- Manuais técnicos da máquina não estavam traduzidos e não disponíveis para consulta. (A tradução do manual foi realizada pelo autor e disponibilizada ao setor durante a realização deste trabalho).

6.3.4 Análise da máquina

De modo a avaliar a confiabilidade da máquina, os pontos a seguir foram verificados *in loco*: Manutenções preventivas, calibração e análise de quebra de peças.

6.3.4.1 Manutenções preventivas

As manutenções preventivas de 2017 da máquina foram devidamente programadas e divulgadas no final de 2016 para conhecimento de todos. Apesar disto, duas manutenções não ocorreram devido a solicitação da produção para atingir as metas de produtividade estabelecidas.

6.3.4.2 Plano de manutenção

O plano de manutenção apresentado pelo setor mostrou ser muito genérico, e mostrou ser necessário realizar a revisão do mesmo. O plano verificado não contemplava, por exemplo, itens específicos da máquina de soldagem. Ainda sobre este tema, os supervisores relataram que os planos de manutenção não foram elaborados por eles.

6.3.4.3 Paradas de máquinas

Já era do conhecimento do autor que o indutor que possibilita o processo de pré-aquecimento durante a soldagem estava avariado. Um esforço foi feito para avaliar as paradas de máquinas da linha de produção em análise, com o objetivo de identificar quais peças do equipamento de soldagem como um todo apresentavam maior recorrência de quebra. Além disso, poder observar quantas paradas de máquinas foram programadas e quantas foram não programadas (falha operacional). Com a ajuda do setor de manutenção observou-se então que:

No período de 2017 de janeiro a novembro, houve 138 intervenções na máquina. Sendo 65 delas por falha operacional, que acarretaram em um total de 173,33 Horas de máquina parada (custo homem x hora = R\$39,00) e um custo de R\$ 6759,87. Com isso, observa-se uma necessidade de capacitação dos operadores para operar a máquina de forma a evitar paradas e trocas de componentes desnecessárias que impactam na produção da linha, comprometem a performance da máquina e alocação de recursos.

Analisando as paradas e identificando os componentes que apresentaram um maior número de quebras e intervenções temos:

- Rolos guia: 12;
- Indutor de Pré-aquecimento: 9;
- Tocha de soldagem: 6;
- Sistema de refrigeração indutor: 4.

Os preenchimentos de algumas causas estavam reportados de forma genérica, o que dificultou a apresentação dos dados de forma gráfica para um melhor entendimento.

Devido a placa do indutor afetar diretamente a qualidade das soldas produzidas e do perfil como um todo, foi priorizada a análise mais detalhada deste item em especial.

Pelos dados aferidos da manutenção (Anexo C) verificou-se que houve 5 trocas de placas do indutor em um período de 11 meses. A vida útil, de acordo com o plano de manutenção da placa, para esse processo é de doze meses, assim tivemos um consumo de 4 peças no ano até novembro a mais que o previsto para o período analisado.

Figura 67 - Perfil montado passando pelas placas de indução.



Fonte: Autor

Devido à demasiada troca das placas, esgotou-se o estoque do item, resultando na operação da máquina sem o tratamento térmico pré-soldagem, e houve a necessidade de aplicação de aplicação de linhas de calor nas peças para corrigir os empenos devido às distorções de solda resultantes. As linhas de calor quando

aplicadas na peça podem resultar em modificações das propriedades mecânicas dos materiais afetados, o que aumenta a probabilidade de falha da peça quando for exposta a esforços operacionais.

Outro dado importante a respeito da não disponibilidade do pré-aquecimento durante a soldagem é que todos os perfis produzidos no período estão não conformes com a EPS da linha de produção, e, portanto, não conformes com as regras especificações de projeto destes perfis.

6.3.5 Suprimentos

De modo a entender o processo de reposição de peças para esta máquina, foi realizada uma entrevista com a pessoa responsável do setor de suprimentos. Durante a entrevista os seguintes pontos foram relatados como mais críticos para aquisição das peças:

- Burocracia para a compra de itens internacionais;
- As negociações com o fornecedor demoravam bastante por não ter um representante nacional;
- Após a aprovação da compra o prazo de entrega era de 90 dias.

Analisando todos esses pontos, foi possível aferir que a partir da análise de falhas, entrevistas com os colaboradores envolvidos com o processo de soldagem, e estudando a norma AWS D1.1, que:

- A falta de capacitação da equipe de operadores de soldagem está acarretando constantes quebras da máquina;
- Há a utilização de parâmetros de soldagem inadequados com a EPS do processo que impactam diretamente na qualidade do produto final;
- Os operadores de soldagem não estão cumprindo os procedimentos internos estabelecido para a linha de produção dos perfis soldados;
- O procedimento de medição dimensional é crítico e;
- A existência de um único EPS para uma grande gama de produtos a serem fabricados.

Após esta análise, a identificação das causas raízes foi realizada pelo método dos 5 porquês conforme as tabelas 11 e 12 abaixo demonstram:

Tabela 11 - Análise de causa raiz pelo método dos 5 porquês.

		Quebra de peças			Falta de capacitação dos colaboradores
Porque?	1.	Devido a falha operacional	Porque?	1.	Não existe o treinamento específico realizado por pessoas internas. Assim como reciclagens e avaliação de eficácia
Porque?	2.	Falta de conhecimento específico sobre a máquina	Porque?	2.	Não existe sistemática todos os treinamentos na fábrica e os treinamentos específicos são realizados somente pelo fornecedor
Porque?	3.	Falta de treinamento	Porque?	3.	Não existe uma pessoa dedicada para esta atividade e existe dificuldade de comunicação com o fornecedor
Porque?	4.	Não existe o treinamento específico realizado por pessoas internas.			
Porque?	5.	Os treinamentos específicos são realizados somente pelo fornecedor			
Porque?	6.	Dificuldade de comunicação com o fornecedor			

Fonte: Autor

Tabela 12 - Análise de causa raiz pelo método dos 5 porquês

		Procedimentos Internos / EPS			Não cumprimento dos procedimentos			Análise dimensional de peças
Porque?	1.	Procedimento interno não contempla o detalhamento necessário dos parâmetros de soldagem para o escopo de perfis utilizados	Porque?	1.	Negligência do colaborador	Porque?	1.	Falha na medição
Porque?	2.	Não se foi atentado para a gama de escopos de perfis a serem utilizadas do futuro.	Porque?	2.	Falta de cobrança dos superiores	Porque?	2.	Desvio padrão próximo ao aceito pela norma classificadora
Porque?	3.	Falta de detalhamento e planejamento do documento	Porque?	3.	Cultura organizacional	Porque?	3.	Método e/ou equipamento utilizado inadequado

Fonte: Autor

A partir dos relatos no acompanhamento da produção e apresentados durante as entrevistas aos colaboradores, pode-se observar que o processo apresentava diversos desvios operacionais que mostram que a sistemática não está devidamente controlada. De forma a regularizar e controlar o processo, um plano de ação foi desenvolvido pela ferramenta 5W1H para controlar as variações dimensionais e as distorções de solda e reduzir o retrabalho relacionado a essa atividade.

6.3.6 Plano de Ação – 5W1H

Ao final do projeto e após o levantamento das informações, um grupo de qualidade foi acionado pelo estaleiro para analisar este processo. Deste modo, as informações foram compartilhadas com os integrantes e um plano de ação que foi desenvolvido junto ao time de qualidade do estaleiro e dos supervisores da linha de produção para tratar a problemática definida inicialmente.

Tabela 13 - Plano de ação 5W1H para o processo de soldagem SAW.

O que?	Quem?	Por quê?	Onde?	Quando?	Como?
Revisão do procedimento de soldagem (Atualização dos parâmetros de soldagem para diferentes espessuras de flanges e almas)	Eng. Solda / Eng. Qualidade e 1	Elaborar documentos que garantam a qualidade da solda	Fábrica	05/02/2018	Estudo das contrações encontradas no processo em conjunto com a norma AWS D1.1
Criar procedimento de medição para atendimento do critério de aceite da dimensão axial pela classificadora (Longitudinal)	Eng. Qualidade e 2	Procedimento de medição é frágil e induz a erros grosseiros	Setor de Soldagem de perfis	29/12/2017	Estudo de metrologia e dispositivos de medição
Trazer os fornecedores para realizar treinamento com os operadores e supervisores da área sobre cuidados de operação e manutenção da máquina.	Analista Qualidade e / Estagiário / Analista Suprimentos	Melhorar a comunicação do fornecedor e facilitar o entendimento das necessidades do chão de fábrica	Prédio Operacional	31/01/2018	Estabelecendo condições favoráveis para o fornecedor visitar e se comunicar com a fábrica
Elaborar sistemática de treinamentos e	Supervisor Produção	Melhorar capacitação dos	Fábrica	15/01/2018	Através da elaboração de

análise de eficácia dos treinamentos	1 / Supervisor Produção 2	colaboradores			procedimentos e registros
Revisão do plano de manutenção	Encarregado Manutenção	Plano de manutenção genérico	Fábrica	29/12/2017	Através do manual técnico da máquina e contato com o fornecedor
Realizar nova calibração e registrar as calibrações feitas	Encarregado Manutenção	Falta de registro e garantia da confiabilidade e da máquina	Fábrica	29/12/2017	Realizando testes periódicos na máquina necessários pela máquina
Realizar estudo sobre as constantes quebras das bobinas de indução	Analista de Qualidade	Identificar a causa raiz da quebra e evitar a constante troca deste componente	Setor de Soldagem de perfis	31/01/2018	Através de entrevistas e coletar de dados (Podendo ser utilizado o DMAIC ou PCDA)
Criação do Plano de controle para corimpex	Supervisor Produção 1	Trazer soluções e ações de interação na máquina quando necessário pelos operadores	Setor de Soldagem de perfis	27/11/2017	Através do manual técnico da máquina e contato com o fornecedor
Realizar diálogos diários com a equipe sobre o desempenho do setor	Supervisor Produção 2	Criar cultura organizacional de qualidade para o setor	Setor de Soldagem de perfis	29/12/2017	Através de reuniões diárias
Criar programa de incentivo ao soldador que apresentar os melhores resultados	Supervisor Produção 2	Criar cultura organizacional de qualidade para o setor	Setor de Soldagem de perfis	29/12/2017	Atribuindo prêmio ao colaborador

Fonte: Autor

6.4 FASE IMPLEMENTAR

A fase implementar não foi realizada devido às dificuldades do estaleiro relatadas anteriormente, e devido ao autor não mais fazer parte da equipe executora das ações propostas. Porém, esta fase tem como foco em:

- Realizar as atividades do plano de ação;
- Coletar as informações sobre a aplicação das atividades de melhoria;
- Realizar reuniões periódicas para obter um feedback sobre as atividades.

Assim, esta fase irá gerar informações suficientes e adequadas para futura análise na etapa controlar.

6.5 FASE CONTROLAR

Caso o processo esteja estabilizado após a aplicação das modificações propostas nas etapas anteriores, na fase Controlar foram sugeridas as atividades para a conclusão do ciclo DMAIC:

- Registrar as mudanças e revisar os procedimentos operacionais para garantir a qualidade obtida a partir deste projeto;
- Realização da medição antes e depois da soldagem por método de medição mais adequado (a definir pelo setor de controle de qualidade) de forma a garantir os padrões dimensionais exigidos pelo cliente;
- Introduzir o KPI de performance nos perfis produzidos. Com o foco em classificá-los em aprovados e reprovados. Em adição, classificar os reprovados em dois grupos amarelos e laranja. Amarelo: perfis com tamanho maior (menor tempo para adequação aos padrões de qualidade, tempo de 30min) e Laranja: perfis com tamanho menor (maior tempo para adequação aos padrões de qualidade, tempo de 70min). Podendo ser possível estimar o tempo gasto por dia com retrabalho e gerar dados estatísticos para outras análises;
- Realizar análise de eficácia dos treinamentos (após três meses) e, caso haja reincidência de falhas operacionais durante este período, realizar a reciclagem dos treinamentos.

Caso o processo não seja estabilizado, deve-se registrar as atividades e se de interesse da organização, realizar um novo giro do ciclo DMAIC neste processo com uma nova abordagem.

7 DISCUSSÃO

Este trabalho teve como objetivo realizar as aplicações dos conceitos de qualidade do programa Seis Sigma, no setor de construção naval, como forma de coletar dados do processo de fabricação de perfis soldados do Estaleiro “PE”. O objetivo central foi a elaboração de um plano de ação para reduzir as variabilidades dimensionais.

O uso das ferramentas de qualidade em conjunto com as práticas do Seis Sigma apresentou resultados relevantes para a identificação e solução de problemas encontrados durante a fabricação dos perfis para atender as necessidades do cliente. A aplicação do Seis Sigma executada neste trabalho trouxe benefícios para ambas as partes, tanto para o autor como para a empresa, contudo, vale ressaltar os contratempos e dificuldades encontrados durante o seu desenvolvimento. O cenário que o estaleiro está vivenciando, devido a um período de recessão, criou um ambiente desfavorável, resultando em rotatividade de pessoal, mudanças de área de alguns colaboradores e dificuldade de coletar informações. Estes fatores impactaram diretamente no cronograma de atividades previsto para a conclusão das etapas do ciclo DMAIC, acarretando a extensão do tempo necessário para a conclusão das atividades das fases “Medir” e “Analisar”, uma vez que a maioria das atividades tiveram que ser desenvolvidas quase que exclusivamente pelo autor. Isto também impossibilitou a realização e acompanhamento das etapas “Implementar” e “Controlar”, conforme ilustrado no cronograma abaixo (tabela 14).

Tabela 14 - Cronograma de atividades realizadas pelo estudante.

Cronograma de Atividades						
Atividades	Mês					
	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Definir						
Medir						
Analisar						
Implementar						
Controlar						

Fonte: Autor

De modo a reduzir as variabilidades dimensionais de soldagem foi observado que o processo necessitava primeiramente ser controlado para que melhorias pudessem ser aplicadas de forma eficaz.

No processo de soldagem a arco submerso ficou evidente a necessidade de melhorar o detalhamento dos parâmetros de soldagem e atualizar os procedimentos de soldagem internos, devido a existência de uma grande diversidade de escopo de perfis utilizados durante a fabricação dos navios (Confirme especificado na norma AWS D1.1). Estas verificações e posterior desenvolvimento de procedimentos de soldagem adequados tem como objetivo principal garantir a qualidade das soldas produzidas, não expor os perfis soldados a elevados aportes térmicos que podem contribuir para a formação de distorções de soldagem indesejadas e não controladas, que invariavelmente acarretarão em retrabalhos (evitáveis), impactando a qualidade dos perfis bem como a produtividade e custos operacionais do estaleiro.

Ainda no contexto soldagem, para validar os parâmetros mencionados acima, é necessário avaliar todo o escopo de perfis a serem fabricados por essa linha de produção, pois modificações nas variáveis essenciais do processo (como velocidade de translado de solda, material base e espessura de peça) exigem a homologação de uma nova EPS para garantir uma solda de qualidade de acordo com a norma AWS D1.1 (Norma utilizada pelo estaleiro).

Durante a análise de paradas e intervenções na máquina foi possível diagnosticar que as falhas operacionais geraram um excesso de paradas da ordem de 173,33 Horas, acarretando um custo de R\$ 6759,87 no período de 11 meses, somente do setor da manutenção, onde este valor dobra considerando as horas ociosas do operador da produção. Deve ser considerado também que paradas inesperadas de produção tem impacto em operações de outras linhas de produção, onde os perfis fabricados são utilizados (os clientes), com conseqüente perda de produtividade destas outras equipes e custos não mensurados neste trabalho.

Referente ao retrabalho causado por distorções de soldagem, devido ao processo de soldagem mal ajustado, houve a necessidade de disponibilização de maquinários como maçaricos, esmerilhadeiras e pontes rolantes, como também a disponibilização de colaboradores. Ao total, avaliando um espaço amostral de 41 peças, somente de HH foram alocados 39,66 horas, que resultou em um custo de R\$ 1.546,97.

Investir capital em capacitações e melhorar a comunicação com colaboradores irá contribuir para um melhor entendimento sobre o processo de soldagem e a operação da máquina, resultando em uma melhoria na produtividade na fabricação de perfis. Além de diminuir os retrabalhos devido as distorções e paradas de máquina,

irá reduzir as quebras de componentes, como exemplo das placas de indução que ocorreram 4 trocas a mais que o previsto pelo plano de manutenção avaliado. Em adição, ajudam a criar uma cultura de qualidade que fará com que as melhorias continuem passarão longo do tempo.

Por fim, mas não menos importante, outra necessidade avaliada durante esse estudo foi que o estaleiro não apresentou um sistema de metrologia ajustado as necessidades internas para atender os padrões rigorosos de qualidade exigidos pela classificadora (Anexo D). Como observado na coleta de dados na fase “Medir” (Secção 6.2), quando considerados os desvios de medição advindos do método em uso e da norma classificadora, houve somente um perfil que pôde ser considerado como aprovado após a soldagem. Isto é extremamente alarmante o que demanda que haja uma melhor atenção a este método de medição de forma a garantir a acurácia e confiabilidade das medições. Logo, nota-se a necessidade de uma revisão dos procedimentos de medição em uso corrente na linha de produção analisada e/ou a utilização de outros dispositivos de medição que resolvam o problema de forma eficaz e definitiva.

8 CONCLUSÃO

Após a análise criteriosa dos resultados obtidos neste trabalho pode ser concluir que:

- O programa Seis Sigma mostrou ser uma prática robusta de análise de problemas, uma vez que, conseguiu de forma organizada e com o auxílio de ferramentas de qualidade, identificar as causas dos problemas encontrados e apresentar um plano de ação para estabelecer medidas que objetivam a solução dos problemas do processo avaliado.
- O estaleiro apresenta falhas no seu sistema de gestão de pessoas, necessitando promover treinamentos de qualidade e da importância do uso de procedimentos internos aprovados pelo seu sistema de qualidade.
- O estaleiro necessita rever a necessidade de desenvolver e qualificar procedimentos de soldagem (EPS) que atendam as demandas de qualidade da classificadora e dos clientes internos.
- É necessário realizar o controle de processo de fabricação de perfis soldados tipo “T”, como a definição de um procedimento de metrologia eficaz, e treinamento de colaboradores para garantir os níveis de qualidade exigidos pela classificadora.

Assim, recomenda-se que o estaleiro considere a implantação de um sistema de gestão de qualidade, baseados nas normas ISO 9001:2015 e ISO 3834-1:2005, para poder controlar o processo de fabricação de perfis soldados e garantir o atendimento dos padrões de qualidade exigidos pelos clientes internos e normas classificadoras.

9 TRABALHOS FUTUROS

O autor propõe alguns tópicos para serem desenvolvidos em trabalhos futuros:

- O estudo de distorção de solda por software para controlar o processo e evitar o grande número de retrabalhos;
- Realizar uma análise de quebra de componentes de forma mais detalhada, para assim identificar mais oportunidade de melhoria e reduzir a compra demasiada de materiais;
- Desenhar e aplicar uma sistemática de qualidade ao processo, de forma a criar uma cultura de qualidade que atenda o sistema certificado (Exemplo: ISO 9001).

Salientando que, a participação e o envolvimento da alta liderança para o sucesso do projeto são de suma importância, pois são eles que colocam todas as propostas em prática e motivam suas equipes para atingir as metas estabelecidas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa Seis Sigma**. Nova Lima, MG: INDG, 2012.

AIZED, T. **TOTAL QUALITY MANAGEMENT AND SIX SIGMA**. Croatia. 2012.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.1–Structural Welding Code**. 12 ed. 2010.

ANDRIETTA J. M.; CAUCHICK P. A. **Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo survey exploratório - descritivo e perspectivas para pesquisas futuras**. São Geraldo, MG. 2007.

ANTONY, J.; BAÑUELAS, R. **Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program**. *Measuring Business Excellence*. p. 20-27, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7165: Símbolos gráficos de solda para construção naval e ferroviária**. 1982

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001/2015: Sistemas de Gestão da Qualidade**. Rio de Janeiro RJ, 2015.

BLOG Voitto. **Diagrama de Pareto**: aprenda o que é e como fazer Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/diagrama-de-pareto>. Acesso em: 03 Fevereiro 2019b.

BLOG Voitto. **Histograma**: o que é, quais tipos existem e como montar um. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-um-histograma>. Acesso em: 03 Fevereiro 2019a.

CAMPOS, V. F. **Controle da qualidade total**. Fundação Christiano Ottoni. Belo Horizonte, MG. 1992.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: Teoria da Qualidade**. Rio de Janeiro, RJ. 2005.

CLETO, M. G.; QUINTEIRO, L. **Gestão de projetos através do DMAIC**: um estudo de caso na indústria automotiva. *Revista Produção Online*, p. 210-239. 2011.

COMÊXITO CONSULTORIA. **Metodologia Seis Sigma**. (Material de treinamento online). Barueri, SP. 2002.

FALCONI V. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 9 ed. Nova Lima, MG. 2014.

FIGUEIREDO, T. G. **Metodologia Seis Sigma como estratégia para redução de custos**: Estudo de caso sobre a redução de consumo de óleo sintético na Operação de usinagem. Juiz de Fora, MG. 2006.

- FORTES C. **Apostila de arco submerso**. ESAB. Contagem, MG. 2004.
- JAMO Aquecimento Indutivo. Manual Técnico: Forno Industrial por Indução Tipo Aquecedor Indutivo “JAMO”. Modelo JMMF.
- MACHADO G. **Tecnologia de Fabricação Naval**. Recife, PE. 2007.
- MARQUES, R. V. **Tecnologia de soldagem**. UFMG. 1º Edição. MG. 1991.
- MARQUES, R. V.; MODENESI, P.J. **Algumas Equações Úteis em Soldagem**. São Paulo, SP. 2014
- MENINO, J. **Lean Six - Sigma Yellow Belt**. Recife, PE. 2015.
- MODENESI, P. J. **Introdução à Física do Arco Elétrico**. Belo Horizonte, MG. 2012.
- MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; Santos D.B. **Introdução a Metalurgia de Soldagem**. Belo Horizonte, MG. 2006. Apostila.
- MOURA D. A.; BOTTER, R. C. **Análise da competitividade da indústria marítima brasileira – associação dos fatores críticos de sucesso com suas dimensões**. USP. São Paulo, SP. 2011.
- Pereira M. **Notas de Aula UFRJ**. Rio de Janeiro, RJ. 2013
- RAMALHO J. P.; GIMENES L. **Processo de soldagem por arco submerso**, 2002.
- ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial Para A Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. 1ª. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SILVA, V. **PDCA e DMAIC em busca da Melhoria Contínua**, 2017.
- SLACK, N.; CHAMBER, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3ª. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- TAGHIZADEGAN, S. **Essentials of Lean Six Sigma**. Burlington: Elsevier, 2006.
- USIMINAS. **Catálogos de Aço**. Disponível em: <www.solucoesusiminas.com.br> Acesso em: 22 de Março, 2019.
- VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**. Rio de Janeiro: Campus. 1999
- WERKEMA, C. **Criando a cultura Lean Seis sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012a.
- WERKEMA, C. **Lean Seis sigma: Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012b.
- WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

ANEXOS

ANEXO A – Planilha de coleta de dados (antes e após a soldagem)

Nº	Espessura (ALMA)	Espessura (ABA)	ALMA (COMPRIMENTO DE PROJETO)	ALMA (COMPRIMENTO DE CORTE)	Varição Min	Alma (CORTE - PROJETO)	FLANGE (CORTE - PROJETO)	Varição Max
1	12	15	15445	15448	-3	3	3	3
2	12	15	15445	15448	-3	3	3	3
3	12	15	15445	15448	-3	3	3	3
4	12	15	15445	15445	-3	0	3	3
5	11	15	15446	15446	-3	0	3	3
6	11	15	15446	15444	-3	-2	-3	3
7	11	15	15446	15445	-3	-1	-3	3
8	11	15	15446	15445	-3	-1	-4	3
9	11	15	15446	15444	-3	-2	-2	3
10	11	15	15446	15445	-3	-1	-2	3
11	11	15	15445	15447	-3	2	3	3
12	11	15	15445	15445	-3	0	6	3
13	11	15	15446	15454	-3	8	5	3
14	11	15	15446	15453	-3	7	5	3
15	12	15	15446	15446	-3	0	1	3
16	12	15	15446	15446	-3	0	2	3
17	12	15	15446	15446	-3	0	2	3
18	12	15	15446	15445	-3	-1	2	3
19	12	15	15446	15449	-3	3	1	3
20	11	15	15446	15451	-3	5	1	3
21	11	15	15446	15451	-3	5	6	3
22	11	15	15446	15450	-3	4	4	3
23	12	15	15446	15444	-3	-2	6	3
24	12	15	15446	15446	-3	0	1	3
25	12	15	15446	15447	-3	1	-1	3
26	12	15	15446	15448	-3	2	2	3
27	12	15	15446	15449	-3	3	1	3
28	12	15	15446	15446	-3	0	1	3
29	11	15	15446	15446	-3	0	1	3
30	11	15	15447	15447	-3	0	5	3
31	11	15	15447	15448	-3	1	5	3
32	11	15	15447	15445	-3	-2	5	3
33	11	15	15447	15448	-3	1	4	3
34	11	15	15447	15445	-3	-2	0	3
35	11	15	15447	15449	-3	2	0	3

36	11	15	15447	15450	-3	3	0	3
37	12	15	15551	15550	-3	-1	3	3
38	12	15	15551	15550	-3	-1	3	3
39	12	15	15551	15551	-3	0	3	3
40	12	15	15551	15550	-3	-1	3	3
41	12	15	15925	15928	-3	3	6	3
42	12	15	15925	15928	-3	3	9	3
43	12	15	15925	15928	-3	3	8	3
44	11	15	15926	15927	-3	1	-1	3
45	11	15	15926	15930	-3	4	1	3
46	11	15	15926	15930	-3	4	3	3
47	12	15	15926	15927	-3	1	1	3
48	12	15	15926	15925	-3	-1	1	3
49	12	15	15926	15929	-3	3	1	3
50	11	15	15927	15928	-3	1	6	3
51	11	15	15927	15925	-3	-2	8	3
52	12	15	15926	15925	-3	-1	7	3
53	12	15	15926	15925	-3	-1	2	3
54	11	15	15926	15928	-3	2	3	3
55	11	15	15926	15928	-3	2	0	3
56	11	15	15926	15927	-3	1	8	3
57	12	15	15945	15941	-3	-4	7	3
58	12	15	15945	15941	-3	-4	8	3
59	12	15	15945	15940	-3	-3	0	3
60	12	15	15945	15941	-3	-4	5	3
61	12	15	15945	15941	-3	-4	-2	3
62	12	15	15945	15942	-3	-3	1	3
63	11	15	15946	15945	-3	-1	1	3
64	11	15	15946	15950	-3	4	0	3
65	11	15	15946	15949	-3	3	2	3
66	11	15	15946	15949	-3	3	0	3
67	12	15	15947	15950	-3	3	5	3
68	12	15	15947	15950	-3	3	2	3

N°	Espessura (ALMA)	Contração desejada	ALMA (CONTRAÇÃO DE PROJETO)	ALMA (COMPRIMENTO PÓS SOLDA - Real)	Variação Min	ALMA (CONTRAÇÃO - Projeto)	Variação Max	ALMA (CONTRAÇÃO - Real)
1	12	-2	15442	15447	-3	5	3	-1
2	12	-2	15442	15447	-3	5	3	-1
3	12	-2	15442	15446	-3	4	3	-2
4	12	-2	15442	15436	-3	-6	3	-9
5	11	-3	15443	15444	-3	1	3	-2
6	11	-3	15443	15442	-3	-1	3	-2
7	11	-3	15443	15446	-3	3	3	1
8	11	-3	15443	15444	-3	1	3	0
9	11	-3	15443	15442	-3	-1	3	-3
10	12	-2	15442	15446	-3	4	3	-1
11	12	-2	15444	15444	-3	0	3	-2
12	12	-2	15444	15442	-3	-2	3	-4
13	12	-2	15444	15443	-3	-1	3	-3
14	12	-2	15444	15441	-3	-3	3	-4
15	12	-2	15444	15446	-3	2	3	-3
16	11	-3	15444	15440	-3	-4	3	-6
17	12	-2	15444	15442	-3	-2	3	-5
18	12	-2	15444	15442	-3	-2	3	-6
19	12	-2	15444	15442	-3	-2	3	-7
20	12	-2	15444	15440	-3	-4	3	-6
21	11	-3	15443	15444	-3	1	3	-2
22	11	-3	15444	15444	-3	0	3	-1
23	11	-3	15444	15448	-3	4	3	-1
24	12	-2	15444	15448	-3	4	3	-2
25	12	-2	15549	15546	-3	-3	3	-4
26	11	-3	15549	15546	-3	-3	3	-4
27	11	-3	15549	15548	-3	-1	3	-3
28	11	-3	15549	15545	-3	-4	3	-5
29	12	-2	15923	15918	-3	-5	3	-9
30	11	-3	15924	15924	-3	0	3	-3
31	11	-3	15924	15924	-3	0	3	-1
32	11	-3	15924	15925	-3	1	3	-4
33	11	-3	15924	15925	-3	1	3	0
34	11	-3	15923	15927	-3	4	3	-1
35	11	-3	15923	15925	-3	2	3	-3
36	11	-3	15943	15942	-3	-1	3	2
37	11	-3	15943	15942	-3	-1	3	0
38	11	-3	15943	15944	-3	1	3	-1
39	11	-3	15943	15947	-3	4	3	-2

40	12	-2	15943	15948	-3	5	3	-1
41	11	-3	15945	15947	-3	2	3	-3

N°	Espessura (ABA)	Contração desejada	FLANGE (CONTRAÇÃO DE PROJETO)	FLANGE (COMPRIMENTO PÓS SOLDA - Real)	Variação Min	FLANGE (CONTRAÇÃO - Projeto)	Variação Max	FLANGE (CONTRAÇÃO - Real)
1	15	-7	15441	15449	-3	8	3	-10
2	15	-7	15441	15451	-3	10	3	-8
3	15	-7	15441	15454	-3	13	3	-6
4	15	-7	15441	15440	-3	-1	3	-11
5	15	-7	15442	15438	-3	-4	3	-7
6	15	-7	15442	15437	-3	-5	3	-9
7	15	-7	15442	15438	-3	-4	3	-8
8	15	-7	15442	15439	-3	-3	3	-8
9	15	-7	15442	15439	-3	-3	3	-8
10	15	-7	15442	15444	-3	2	3	-12
11	15	-7	15442	15442	-3	0	3	-8
12	15	-7	15442	15443	-3	1	3	-8
13	15	-7	15442	15443	-3	1	3	-8
14	15	-7	15442	15442	-3	0	3	-9
15	15	-7	15442	15441	-3	-1	3	-9
16	15	-7	15442	15446	-3	4	3	-9
17	15	-7	15442	15448	-3	6	3	-10
18	15	-7	15442	15442	-3	0	3	-9
19	15	-7	15442	15440	-3	-2	3	-10
20	15	-7	15442	15441	-3	-1	3	-9
21	15	-7	15442	15440	-3	-2	3	-10
22	15	-7	15443	15441	-3	-2	3	-9
23	15	-7	15443	15442	-3	-1	3	-8
24	15	-7	15443	15440	-3	-3	3	-10
25	15	-7	15512	15514	-3	2	3	-8
26	15	-7	15512	15511	-3	-1	3	-11
27	15	-7	15512	15513	-3	1	3	-9
28	15	-7	15512	15513	-3	1	3	-9
29	15	-7	15922	15919	-3	-3	3	-9
30	15	-7	15922	15921	-3	-1	3	-9
31	15	-7	15922	15917	-3	-5	3	-13
32	15	-7	15922	15919	-3	-3	3	-11
33	15	-7	15923	15925	-3	2	3	-13
34	15	-7	15923	15924	-3	1	3	-13
35	15	-7	15923	15927	-3	4	3	-10
36	15	-7	15941	15946	-3	5	3	-10
37	15	-7	15941	15948	-3	7	3	-9

38	15	-7	15942	15938	-3	-4	3	-12
39	15	-7	15942	15939	-3	-3	3	-12
40	15	-7	15942	15937	-3	-5	3	-12
41	15	-7	15943	15944	-3	1	3	-8

N°	TOCHA 1 (CORRENTE)	TOCHA 2 (CORRENTE)	TOCHA 1 (TENSÃO)	TOCHA 2 (TENSÃO)	VELOCIDADE DE TRANSLADO (cm/min)	POTÊNCIA DO INDUTOR
1	810	800	32	32	100	
2	810	800	32	32	100	
3	810	800	32	32	100	
4	810	800	32	32	100	
5	775	755	32	32	100	
6	775	755	32	32	100	
7	775	755	32	32	100	
8	795	775	32	32	100	
9	795	775	32	32	100	
10	775	755	32	32	100	
11	795	775	32	32	100	
12	795	775	32	32	100	
13	780	775	32	32	100	
14	775	755	32	32	100	
15	775	755	32	32	100	
16	795	775	32	32	100	
17	775	755	32	32	100	
18	775	755	32	32	100	
19	775	755	32	32	100	
20	775	755	32	32	100	
21	775	755	32	32	100	
22	795	775	32	32	100	
23	780	775	32	32	100	
24	780	775	32	32	100	
25	775	755	32	32	100	
26	780	775	32	32	100	
27	795	775	32	32	100	
28	795	775	32	32	100	
29	795	775	32	32	100	
30	775	755	32	32	100	
31	775	755	32	32	100	
32	775	755	32	32	100	
33	775	755	32	32	100	

34	775	755	32	32	100	
35	775	755	32	32	100	
36	775	755	32	32	100	
37	760	750	32	32	100	
38	775	755	32	32	100	
39	775	755	32	32	100	
40	775	755	32	32	100	
41	760	750	32	32	100	

ANEXO C – Análise de paradas e quebras de componentes da máquina de solda

Dur. parada	InícioAvar	Parada	Descrição	Denominação
28,25	03/01/2017	X	REPARAR MÁQUINA DE SOLDA	CPX-004
3,33	03/01/2017	X	REPARAR CABO POSITIVO DA TOCHA	CPX-004
0,50	06/01/2017	X	REPARAR TOCHA	CPX-004
0,67	07/01/2017	X	LIMPEZA NA TOCHA	CPX-004
0,00	21/01/2017		CPX-004 - ITEM PERIODICO	CPX-004
0,00	11/01/2017		SUBSTITUIR TOCHA	CPX-004
0,00	05/01/2017		CORRIGIR TRAVAMENTO NO ESQUADRO	CPX-004
0,00	19/01/2017		REPARAR FALHA NO INDUTOR	CPX-004
0,17	13/01/2017	X	CORRIGIR FALHA NA TRAÇÃO DE ARAME	CPX-004
0,42	18/01/2017	X	REARMAR DISJUNTOR DO INDUTOR DE CALOR	CPX-004
0,00	01/02/2017		REPARAR MOTOR DA FRESA DA QUEBRA QUINA	CPX-004
0,00	04/05/2017		REPARAR ACIONAMENTO DOS ROLOS	CPX-004
0,00	04/05/2017		REPARAR CABO DE COMUNICAÇÃO DO INDUTOR	CPX-004
0,00	01/06/2017		CPX-004 - ITEM PERIODICO	CPX-004
0,00	06/02/2017		RECOLOCAR PINO DO BRÇO DO ELETROIMÃ	CPX-004
0,00	07/02/2017		REALIZAR ALINHAMENTO DOS GUIAS DA ALMA	CPX-004
0,00	14/02/2017		REPARAR CORRENTE DA MESA DE MONTAGEM DE	CPX-004
1,50	02/02/2017	X	SUBSTITUIR ROLAMENTO LINEAR ESTOURADO	CPX-004
0,18	02/02/2017	X	REPARAR TOCHA	CPX-004
0,00	21/02/2017		REPARAR EXAUSTOR	CPX-004
0,42	02/03/2017	X	REPARAR TAMPA DO SILO	CPX-004
0,00	20/02/2017		SUBSTITUIR ROLAMENTO DO ESQUADRO	CPX-004
0,67	21/02/2017	X	CORRIGIR FALHA NO ESQUADRO SUPERIOR	CPX-004
2,33	14/02/2017	X	ALINHAR CARRINHO DE MONTAGEM	CPX-004
1,00	23/03/2017	X	INSTALAR TACO DO MOTOR PRINCIPAL	CPX-004
4,50	28/03/2017	X	CORRIGIR FALHA NO ESQUADRO	CPX-004
0,00	25/03/2017		DESTRAVAR ESQUADRO SUPERIOR	CPX-004
0,00	29/03/2017		SUBSTITUIR FILTRO DO EXAUSTOR	CPX-004
3,52	22/03/2017	X	SUBSTITUIR MOTOR PRINCIPAL	CPX-004
1,50	24/03/2017	X	QUEBRA DA CORRENTE DO ROLO PRINCIPAL	CPX-004
2,17	28/03/2017	X	SUBSTITUIR PLACA DO INDUTOR	CPX-004
0,00	28/03/2017		REGULAR SENSOR DO ESQUADRO	CPX-004
0,00	26/04/2017		CORRIGIR FALHA NO ESQUADRO	CPX-004
0,00	10/04/2017		MONTAGEM DO ROLO GUIA TRANSPORTADOR	CPX-004
0,17	07/04/2017	X	CORRIGIR FALHA NO ESQUADRO SUPERIOR	CPX-004
3,00	07/04/2017	X	TROCAR PLACA DA FONTE 01	CPX-004
1,13	13/04/2017	X	INSTALAR PONTENCIÔMETRO	CPX-004
3,17	22/03/2017	X	TROCAR MOTOR DO ROLO PRINCIPAL	CPX-004
0,00	10/04/2017		REPARAR CILINDRO	CPX-004
4,17	07/04/2017	X	REPARAR ROLOS	CPX-004

0,42	11/04/2017	X	INSTALAR SENSOR DA MÁQUINA DE SOLDA	CPX-004
1,08	17/04/2017	X	REPARAR TAMPA DO SILO	CPX-004
0,00	18/04/2017		SUBSTITUIR BOMBA DE VÁCUO	CPX-004
0,00	18/04/2017		REPARAR BOMBA DE VÁCUO	CPX-004
6,92	20/04/2017	X	INSTALAR SIRENES	CPX-004
9,33	25/04/2017	X	ADAPTAR ROLO PRINCIPAL	CPX-004
0,00	26/04/2017		CORRIGIR FALHA NO INDUTOR DE CALOR	CPX-004
3,83	02/05/2017	X	SUBSTITUIR PLACA DA BOBINA DO INDUTOR	CPX-004
1,50	03/05/2017	X	DESTRAVAR ROLO PRINCIPAL	CPX-004
0,00	03/05/2017		MONTAR PLACA DO INDUTOR	CPX-004
0,42	27/04/2017	X	REPARAR INDUTOR DE CALOR	CPX-004
1,75	25/04/2017	X	REPARAR VAZAMENTO	CPX-004
2,67	25/04/2017	X	SUBSTITUIR ROLAMENTO LINEAR ESTOURADO	CPX-004
0,00	10/05/2017		SUBSTITUIR ROLAMENTO DO ESQUADRO	CPX-004
1,25	10/05/2017	X	CORRIGIR FALHA NO CHILLER DO INDUTOR	CPX-004
0,00	17/05/2017		REGULAR SENSOR DO ESQUADRO	CPX-004
0,00	11/05/2017		LIMPEZA DOS FILTROS DO CHILLER	CPX-004
0,00	11/05/2017		MONTAR BOMBA DE REFRIGERAÇÃO PARA TESTE	CPX-004
0,00	11/05/2017		ALINHAR CARRINHOS DAS MESAS	CPX-004
4,00	25/04/2017	X	REPARAR MÁQUINA DE SOLDA	CPX-004
0,00	18/05/2017		CORRIGIR FALHA NO INDUTOR	CPX-004
2,00	17/05/2017	X	SUBSTITUIR ROLAMENTO DO ESQUADRO INFERIO	CPX-004
2,00	16/05/2017	X	LIMPAR FILTRO DO CHILLER	CPX-004
2,50	22/05/2017	X	SUBSTITUIR MOTOR PRINCIPAL	CPX-004
0,00	22/05/2017		REPARAR ESQUADRO INFERIOR	CPX-004
0,00	26/05/2017		AJUSTAR SENSOR DO ESQUADRO	CPX-004
0,00	20/05/2017		SUBSTITUIR PLACA DO INDUTOR	CPX-004
0,00	23/05/2017		CORRIGIR FALHA NO ROLO PRINCIPAL	CPX-004
3,17	16/05/2017	X	VERIFICAR PROBLEMA NO ROLO PRINCIPAL	CPX-004
0,00	12/05/2017		REPARAR ROLO DE SAÍDA Nº03 (PARAFUSO DE	CPX-004
1,50	26/05/2017	X	LIMPEZA DA TOCHA	CPX-004
0,00	16/05/2017		REPARAR VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DO ROLO P	CPX-004
0,00	24/05/2017		AJUSTAR TOCHA	CPX-004
0,00			SUBSTITUIR ROLOS DO ESQUADRO INFERIOR.	CPX-004
0,00	05/06/2017		REPARAR VAZAMENTO DE AR COMPRIMIDO NOS D	CPX-004
4,25	19/07/2017	X	SUBSTITUIR ÓLEO DA UNIDADE HIDRÁULICA.	CPX-004
1,17	23/05/2017	X	SUBSTITUIR BOMBA DE REFRIGERAÇÃO DA TOCH	CPX-004
2,00	06/06/2017	X	MONTAR MOLA DO CARRINHO Nº03	CPX-004
5,00	30/06/2017	X	REPARAR FALHA NO SENSOR DE ESQUADRO.	CPX-004
8,33	08/06/2017	X	SUBSTITUIR PLACA DA BOBINA DO INDUTOR	CPX-004
0,50	24/06/2017	X	CORRIGIR FALHA NO MOVIMENTO.	CPX-004
1,33	26/06/2017	X	SUBSTITUIR ROLOS DO ESQUADRO.	CPX-004
0,00	03/07/2017		MONTAR E INSTALAR OS ROLOS DE LEVA E EIX	CPX-004
0,00	31/07/2017		TESTAR MOTOR DA FREZA DA QUEBRA-QUINA NA	CPX-004
0,00	01/08/2017		MONTAR EXAUSTOR.	CPX-004
0,50	02/07/2017	X	VERIFICAR TORRE DE REFRIGERAÇÃO.	CPX-004

1,00	01/06/2017	X	LIMPEZA DO ROLAMENTO DO ESQUADRO INFERIO	CPX-004
0,00	19/06/2017		TROCA DO ROLO DO ESQUADRO INFERIOR.	CPX-004
0,00	20/06/2017		MONTAGEM DOS ROLOS.	CPX-004
0,00	01/06/2017		INSTALAÇÃO DO PONTO PARA COMPUTADOR.	CPX-004
0,00	21/06/2017		MONTAR ROLO GUIA DO ESQUADRO INFERIOR.	CPX-004
0,00	12/06/2017		SUBSTITUIR GUIA DO ARAME.	CPX-004
0,00	03/07/2017		ATIVIDADES DA MANUTENÇÃO:	CPX-004
0,00	04/07/2017		REATIVAR SENSORES DE SEGURANÇA BURLADOS.	CPX-004
2,50	04/07/2017	X	DESTRAVAR ESQUADRO INFERIOR.	CPX-004
0,00	01/07/2017		ALINHAR SENSORES DO ESQUADRO INFERIOR.	CPX-004
0,00	01/08/2017		CPX-004 - ITEM PERIODICO	CPX-004
1,00	07/08/2017	X	INSTALAR PLACA DO INDUTOR.	CPX-004
0,00	27/06/2017		ROLO DO ESQUADRO SUPERIOR TRAVADO.	CPX-004
0,00	18/07/2017		REPARO NA TOCHA.	CPX-004
0,42	13/07/2017	X	AJUSTAR SENSOR DO ESQUADRO INFERIOR.	CPX-004
0,00	05/07/2017		MONTAGEM DA BOMBA DE VACUO.	CPX-004
0,00	25/07/2017		COMPLETAR LIQUIDO REFRIGERANTE.	CPX-004
0,00	26/07/2017		ESVAZIAR E LIMPAR RESERVATÓRIO DE ÁGUA D	CPX-004
0,00	03/08/2017		SUBSTITUIÇÃO DO FILTRO E AJUSTE NA TOCHA	CPX-004
4,77	29/07/2017	X	SUBSTITUIR CORRENTE DO ROLO PRINCIPAL.	CPX-004
0,00	07/08/2017		SUBSTITUIR MANGUEIRA DO ELEVADOR TRACION	CPX-004
0,00	26/07/2017		ROLO DA MESA NÃO RECUA TRAVADO.	CPX-004
0,00	26/07/2017		CILINDRO 01 NÃO SOBE E NÃO DESCE, TRAVAD	CPX-004
0,63	26/06/2017	X	FOI SUBSTITUIDO RODA GUIA, TRAVADA.	CPX-004
0,67	24/06/2017	X	RODA GUIA DO ESQUADRO SUPERIOR TRAVADA.	CPX-004
0,92	26/06/2017	X	FOI SUBSTITUIDO O ESQUADRO TRAVADO E LIB	CPX-004
1,50	27/07/2017	X	INDUTOR DESARMANDO POR ALTA TEMPERATURA.	CPX-004
4,67	26/07/2017	X	ESQUADRO INFERIOR TRAVADO.	CPX-004
0,00	26/07/2017		FOI DRENADA TODA ÁGUA DO TANQUE.	CPX-004
0,00	10/08/2017		REPARAR CORRENTE DO ROLO PRINCIPAL.	CPX-004
0,00	09/08/2017		INSTALAR PROTEÇÃO DAS CORRENTES EM DOIS	CPX-004
0,00	10/08/2017		COMPLETAR NIVÉL DE ÓLEO.	CPX-004
1,50	01/08/2017	X	REPARAR FALHA NO SENSOR DE ESQUADRO.	CPX-004
0,00	08/08/2017		TROCAR MANGUEIRA COM VAZAMENTO NO INDUTO	CPX-004
0,60	11/08/2017	X	FEITO REPARO DA MANGUEIRA DA TOCHA.	CPX-004
0,00	15/08/2017		INSTALAR PROTEÇÃO DAS CORRENTES.	CPX-004
0,00	15/08/2017		SUBSTITUIR/RECONDICIONAR ROLOS COM DESGA	CPX-004
4,17	07/08/2017	X	BOMBA DE REFRIGERAÇÃO QUEIMADA.	CPX-004
1,42	15/08/2017	X	SUBSTITUIR ESQUADRO INFERIOR.	CPX-004
0,00	14/08/2017		ESQUADRO INFERIOR TRAVADO.	CPX-004
2,10	10/08/2017	X	AJUSTAR CORRENTE.	CPX-004
1,12	08/08/2017	X	SUBSTITUIR ROLAMENTO.	CPX-004
0,52	25/08/2017	X	DESTRAVAR ESQUADRO INFERIOR.	CPX-004
0,00	30/08/2017		TROCANDO O FILTRO AO FLUXO E REAPERTANDO	CPX-004
0,00	30/08/2017		FOI RECOLOCADA AS PLACAS DO INDUTOR DE C	CPX-004
0,00	05/09/2017		CPX-004 - ITEM PERIODICO	CPX-004

9,83	06/09/2017	X	INSTALAÇÃO DE PLUG ELÉTRICO PARA FONTE.	CPX-004
0,00	06/09/2017		REPARAR FALHA NO ACIONAMENTO.	CPX-004
0,00	05/09/2017		SUBSTITUIÇÃO DE PEÇAS DA BOMBA.	CPX-004
2,30	07/09/2017	X	REPARAR PLACA DO INDUTOR.	CPX-004
1,50	05/09/2017	X	REPARAR BOMBA DE REFRIGERAÇÃO.	CPX-004
0,00	14/09/2017		CORRIGIR VAZAMENTO DA FONTE	CPX-004

ANEXO D – Variação de dimensional adotada pela ABS

TABLE 6.1 – Flanged Longitudinals and Flanged Brackets

Detail	Standard
<p>Breadth of flange</p> <p>compared to correct size</p>	<p>± 3 mm</p>
<p>Angle between flange and web</p> <p>compared to template</p>	<p>± 3 mm</p>
<p>Straightness in plane of flange and web</p>	<p>± 10 mm</p>