

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

TAREK NASSER SATI

ANÁLISE COMPARATIVA DO PROCESSAMENTO DE CHAPAS DE AÇO PARA A  
CONSTRUÇÃO DE PAINÉIS EM ESTALEIROS NAVAIS

Joinville

2018

TAREK NASSER SATI

ANÁLISE COMPARATIVA DO PROCESSAMENTO DE CHAPAS DE AÇO PARA A  
CONSTRUÇÃO DE PAINÉIS EM ESTALEIROS NAVAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Naval, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Naval.

Orientador: Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto.

Joinville

2018

TAREK NASSER SATI

ANÁLISE COMPARATIVA DO PROCESSAMENTO DE CHAPAS DE AÇO PARA A  
CONSTRUÇÃO DE PAINÉIS EM ESTALEIROS NAVAIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto  
Orientador  
UFSC - Centro Tecnológico de Joinville

---

Prof. Dr. Thiago Pontin Tancredi  
UFSC - Centro Tecnológico de Joinville

---

Prof. Esp. Luiz Eduardo Bueno Minioli  
UFSC - Centro Tecnológico de Joinville

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Mônica e Nasser, e a minha irmã, Mariam, que estiveram presentes, desde meus primeiros passos, até este tão aguardado momento, sempre sabendo o que falar em momentos de desânimo, me ajudando nas escolhas difíceis e apoiando quando estas não davam certo. Espero poder continuar vivenciando esses belos momentos com vocês.

Ao meu orientador, Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, por ter aceitado minha pesquisa e acreditado em meu potencial, sem medir esforços para sanar minhas dúvidas e dificuldades.

Aos meus amigos, com os quais tive a oportunidade de compartilhar todos os meus bons e maus momentos durante o período acadêmico, e hoje tenho certeza que estarão presentes em meu futuro.

Ao meu orientador de estágio, Dr. Thiago Pontin Tancredi, que me ajudou durante todas as dificuldades encontradas nesse projeto de intercâmbio.

A minha tia Ana Cristina, pela ajuda excepcional na confecção deste trabalho.

E finalmente agradecer à Instituição Federal UFSC e seus professores, que tornaram todo esse aprendizado possível.

## RESUMO

A construção naval é basicamente dividida em cinco etapas, a de fabricação (corte de chapas de aço ou alumínio), submontagem (soldagem de painéis), montagem (soldagem de blocos), edificação (união de blocos) e acabamento, estando a instalação de outfittings presente nas últimas três etapas. O objetivo do presente trabalho é compreender, expor e comparar os processos envolvidos na construção de painéis em dois diferentes estaleiros, um estaleiro da marinha mexicana, localizado na cidade de Tampico, e um estaleiro comercial da costa catarinense, localizado em Itajaí. Como a margem de lucro na construção naval é extremamente pequena, todo e qualquer tipo de melhoria e conseqüente economia no processo construtivo deve ser buscado, sendo a comparação entre estaleiros um ótimo meio de encontrar oportunidades de melhoria em seus processos. Este trabalho é um estudo de caso múltiplo. No estaleiro mexicano foram realizados três meses de estágio, passando por todos os setores envolvidos na construção, portanto possibilitando uma análise mais completa do processo construtivo, já no estaleiro catarinense foram realizadas visitas pontuais, analisando somente o processamento de chapas envolvido na construção de painéis. Como resultado, teremos um trabalho dividido em dois estaleiros com grandes diferenças tecnológicas, sendo o maior ponto de diferença a maneira como são soldados os perfis, já que um realiza técnicas de soldagem manual, e o outro utiliza uma moderna estação de soldagem automatizada. Esses resultados poderão contribuir para a otimização da construção naval em diversos estaleiros.

**Palavras-chave:** Painéis. Solda. Conformação. Edificação. Blocos.

## ABSTRACT

The shipbuilding is basically divided into five stages: manufacturing (cutting of steel or aluminum sheets), sub-assembly (welding of panels), assembly (welding of blocks), building (joining of blocks) and finishing, being the outfittings present in the last three stages. The objective of the present research is to understand, to expose and to compare the processes involved in the construction of panels in two different shipyards, a shipyard of the Mexican navy located in the city of Tampico and a commercial shipyard of the coast of Santa Catarina, located in Itajaí. As the profit margin in shipbuilding is extremely small, any improvements and consequent savings in the construction process should be pursued, and the comparison between shipyards is a great way to find opportunities for improvements in their processes. This work is a multiple case study. In the Mexican shipyard, three months of internship were carried out, passing through all sectors involved in the construction, thus allowing a more complete analysis of the construction process, and on the other shipyard in Santa Catarina, there were carried out punctual visits, analyzing only the processing of plates involved in the construction of panels. As a result, it will be a work divided in two shipyards with great technological differences, being the biggest point of difference the way the profiles are welded, where one performs manual welding techniques and the other uses a modern automated welding station. These results may contribute to the optimization of shipbuilding in several shipyards.

**Keywords:** Panels. Welding. Forming. Erection. Blocks.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b>	Layout e fluxo produtivo de um estaleiro moderno.....	13
<b>Figura 2</b>	Tabela de pressão para bicos de corte.....	16
<b>Figura 3</b>	Vista lateral da calandra.....	17
<b>Figura 4</b>	Planos de deformação por calor.....	18
<b>Figura 5</b>	Tipos de junta e de chanfro (para junta de topo), respectivamente.....	19
<b>Figura 6</b>	Ponteados entre duas chapas.....	20
<b>Figura 7</b>	Modelo simplificado da soldagem por eletrodo.....	21
<b>Figura 8</b>	Esquema reduzido da soldagem por eletrodo.....	22
<b>Figura 9</b>	Modelo simplificado do equipamento básico de soldagem MIG/MAG.....	23
<b>Figura 10</b>	Esquema reduzido da soldagem TIG.....	23
<b>Figura 11</b>	Processo de soldagem por arco submerso.....	24
<b>Figura 12</b>	Perfis mais usados na indústria naval.....	26
<b>Figura 13</b>	Alma e abas de um perfil I.....	26
<b>Figura 14</b>	Painel sendo movimentado.....	27
<b>Figura 15</b>	Painel enrijecido, reforçadores pesados, e painel de maior complexidade.....	28
<b>Figura 16</b>	Movimentação de um bloco (bloco anel invertido).....	29
<b>Figura 17</b>	Blocos não anel.....	29
<b>Figura 18</b>	Posta de quilha.....	30
<b>Figura 19</b>	Máquina de corte por plasma.....	34
<b>Figura 20</b>	Principais consumíveis da tocha.....	35
<b>Figura 21</b>	Corte sendo realizado.....	35
<b>Figura 22</b>	Central de controle.....	37
<b>Figura 23</b>	Movimentação de uma chapa de aço.....	37
<b>Figura 24</b>	Marcação de uma chapa.....	38
<b>Figura 25</b>	Procedimento de oxicorte.....	39
<b>Figura 26</b>	Marcas de anteparas realizadas em giz.....	40
<b>Figura 27</b>	Máquina de calandragem e prensa, respectivamente.....	40
<b>Figura 28</b>	Gabarito de madeira para a chapa da Figura 29.....	41
<b>Figura 29</b>	Conformação de uma chapa na calandra.....	41
<b>Figura 30</b>	Verificação da conformação com um gabarito de aço.....	42
<b>Figura 31</b>	Verificação da conformação com um gabarito de madeira.....	42
<b>Figura 32</b>	Conformação de uma chapa com eixo não centralizado.....	43

<b>Figura 33</b> Aplanamento na prensa.....	44
<b>Figura 34</b> Conformação para uma chapa irregular.....	44
<b>Figura 35</b> Pressão no eixo central da chapa.....	45
<b>Figura 36</b> Chapa conformada já posicionada no bloco.....	45
<b>Figura 37</b> Bomba hidráulica ENERPAC.....	46
<b>Figura 38</b> Marteladas com pontos de apoio.....	46
<b>Figura 39</b> Resultado final da chapa.....	47
<b>Figura 40</b> Chapa soldada à cama.....	48
<b>Figura 41</b> Apoios para soldagem de reforços.....	48
<b>Figura 42</b> Micro arame de aço e de alumínio.....	50
<b>Figura 43</b> Realização da soldagem MAG com micro arame do tipo flux core.....	50
<b>Figura 44</b> Equipamento para soldagem MIG em alumínio.....	51
<b>Figura 45</b> Resultado do cordão e a fonte de soldagem utilizada para soldar aço.....	52
<b>Figura 46</b> Tabela de comparação eletrodo E6010 e E7018.....	53
<b>Figura 47</b> Equipamento para soldagem com eletrodo revestido.....	54
<b>Figura 48</b> Equipamento utilizado para soldagem com arco submerso.....	55
<b>Figura 49</b> Placa soldada provisoriamente.....	56
<b>Figura 50</b> Emparelhamento entre o arame e o centro da união entre as chapas.....	56
<b>Figura 51</b> Central de controle da soldagem.....	57
<b>Figura 52</b> Resultado do cordão juntamente a sua escória.....	57
<b>Figura 53</b> Estação de soldagem da empresa Pema.....	61
<b>Figura 54</b> Cinco apoios entre reforçadores e a chapa.....	67
<b>Figura 55</b> Pontes soldadas sob as chapas a serem unidas.....	70



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> Comparativo entre os equipamentos de corte .....	64
<b>Quadro 2</b> Comparativo entre os equipamentos de conformação .....	66
<b>Quadro 3</b> Comparativo para a soldagem dos painéis .....	72

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS .....	11
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>11</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>12</b>
2.1 CONTROLE DA PRODUÇÃO .....	12
2.2 LAYOUT DO ESTALEIRO .....	13
2.3 PROCESSAMENTO DO AÇO .....	14
<b>2.3.1 Corte de chapas</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3.2 Conformação</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3.3 Soldagem</b> .....	<b>18</b>
2.4 OUTFITTINGS .....	24
2.5 CONSTRUÇÃO DE PAINÉIS .....	25
2.6 CONSTRUÇÃO EM BLOCOS .....	28
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
3.1 ESTALEIRO “A” .....	31
<b>3.1.1 Conhecendo o estaleiro</b> .....	<b>31</b>
<b>3.1.2 Construção dos painéis</b> .....	<b>33</b>
3.2 ESTALEIRO “B” .....	58
<b>3.2.1 Conhecendo o estaleiro</b> .....	<b>58</b>
<b>3.2.2 Construção dos painéis</b> .....	<b>59</b>
<b>4. COMPARAÇÃO E RESULTADOS</b> .....	<b>63</b>
4.1 CORTE DE CHAPAS .....	63
4.2 CONFORMAÇÃO .....	64
4.3 SOLDAGEM DE CHAPAS E PERFIS .....	66
<b>4.3.1 Pequenos painéis</b> .....	<b>66</b>
<b>4.3.2 Grandes painéis</b> .....	<b>69</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>76</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A construção de um navio ou plataforma *offshore* se dá pela união de vários subsistemas, que em conjunto permitirão o cumprimento das suas missões. São diversas etapas de montagem. Algumas transcorrem durante grande parte da construção, como o corte das chapas de aço e a soldagem, e outras somente mais próximas ao final construtivo, como por exemplo, o cabeamento elétrico e a instalação da ponte de comando.

A indústria de construção naval, apesar de já ter passado por diversos altos e baixos, assim como a economia mundial, é reconhecida como um dos mercados mais competitivos e antigos do mundo, sendo considerada uma indústria de importância estratégica (AMARAL, 2013), o que gera a necessidade de buscar um diferencial no processo construtivo, seja no aumento da qualidade, redução dos custos ou na diminuição do tempo de construção. Como exemplo, temos a antiga supremacia britânica no setor naval, que apresentou, como principal motivo para seu declínio, a falha em modernizar seus estaleiros, demorando muito para aumentar sua produtividade implementando novas tecnologias e métodos de produção. (MICKEVICIENE, 2011).

Para possibilitar esse diferencial, uma das alternativas é otimizar os processos de construção. De acordo com Watson (1998), isso gera uma tendência dos estaleiros se especializarem em um, ou poucos, tipos de navios, reduzindo sua versatilidade.

Tendo em vista a necessidade de otimizar o processo de construção naval, esta pesquisa propôs realizar uma análise da submontagem em dois estaleiros, um estaleiro militar mexicano, que a partir desse momento será chamado de estaleiro “A”, e um estaleiro do setor privado brasileiro - estaleiro “B”. A pesquisa será formada principalmente com a descrição dos processos no estaleiro “A”, com algumas comparações com o estaleiro “B”. Vale ressaltar que, apesar de diferentes mercados, seus processos de produção são similares, utilizando as

estratégias de manufatura *make-to-order*<sup>1</sup> (Produção sob encomenda) e *engineer-to-order*<sup>2</sup> (Engenharia sob encomenda). Sendo o objetivo deste trabalho conhecer, também, as qualidades e possíveis falhas do processo de produção.

A construção naval é dividida em diversas etapas, sendo iniciada no projeto da embarcação, podendo ou não estarem incluídas nas tarefas a serem realizadas pelo estaleiro. Os setores analisados nesse trabalho são os envolvidos na construção de painéis, ou seja, o corte de chapas, a conformação e soldagem. Para conhecimento destes processos, o autor acompanhou a construção de embarcações em ambos os estaleiros.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Comparar o processamento de chapas de aço na construção de painéis entre os estaleiros “A” e “B” e, a partir disso, possibilitar eventuais otimizações em estaleiros navais.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Descrever o método de corte, conformação e soldagem de chapas;
- Caracterizar o processo da montagem de painéis;
- Verificar e descrever as diferenças entre os processos utilizados pelos dois estaleiros;
- Encontrar falhas e qualidades na submontagem dos estaleiros A e B.

---

<sup>1</sup> Processo de manufatura em que a realização do produto é iniciada somente após o recebimento do pedido, geralmente são utilizados somente itens padronizados, porém podem ser incluídos itens customizados desejados pelo comprador. (ARNOLD; CHAPMAN; CLIVE, 2007).

<sup>2</sup> Processo de manufatura no qual a realização do produto é iniciada somente após o pedido, em que o pedido necessita uma engenharia única ou uma customização significativa, aumentando o tempo de entrega. (ARNOLD; CHAPMAN; CLIVE, 2007).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo irá explicitar a teoria envolvida para a realização dos objetivos do trabalho. Sabendo que os objetivos estão envoltos no processo construtivo naval, aqui serão definidos os processos a serem abordados, além de procedimentos envolvidos que ajudarão na compreensão do trabalho.

### 2.1 CONTROLE DA PRODUÇÃO

Com a crescente expansão do mercado naval global, demarcado pela alta competitividade, os estaleiros foram obrigados a gerar produtos de alta qualidade, a preços acessíveis, e com prazos de entrega minimizados, sendo necessário cada vez um menor tempo de processamento.

De acordo com Souza (2009), o sistema de produção integra todas as características da cadeia produtiva que se relacionam ao produto, iniciando na pesquisa, passando para o desenvolvimento, fabricação e venda para o consumidor, ou seja, os sistemas de produção são basicamente organizados em função dos recursos disponíveis; do tipo de produto (personalizado ou padrão); de seus processos de produção (focado no processo ou produto) e da organização levada pela empresa.

Considerado como o primeiro setor de trabalho em um estaleiro, procede a fase de projeto da embarcação. Após a definição do projeto contratual, devem ser realizados planos de avanços e metas com estimativas de horas homem de trabalho, além da programação de compra de todos os materiais e consumíveis necessários em seu devido tempo.

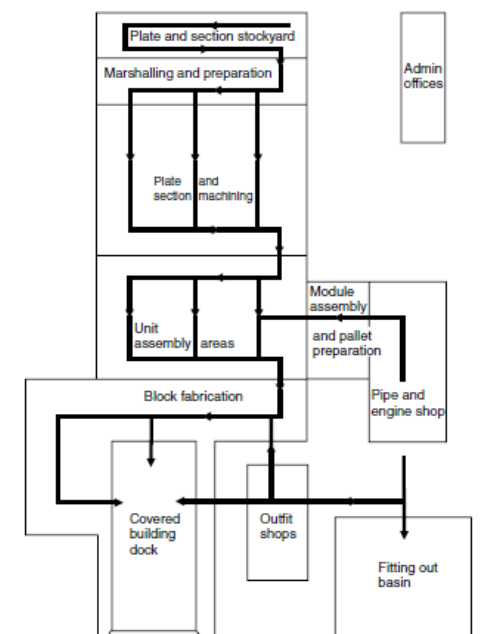
Segundo Oliveira (2011), as tarefas de planejamentos e programações podem consumir grandes quantidades de esforços e tempo. Até mesmo para planejadores muito experientes, os resultados podem ser apenas suficientemente satisfatórios, mesmo em casos em que haja automação do processo, estas atividades ainda são consideradas pontos críticos para a produtividade de estaleiros.

## 2.2 LAYOUT DO ESTALEIRO

O layout de um estaleiro consiste basicamente na disposição de cada um dos locais de trabalho, ferramentas e consequente etapas de projeto. Não existe um tipo de layout universal, apenas um certo padrão a ser seguido, buscando a melhor harmonia e consequente produtividade possível, tendo cada estaleiro sua particularidade de acordo com suas limitações.

Para um estaleiro moderno, segundo Eyres (2007), o layout deve ser baseado no seu fluxo produtivo, estendendo-se desde o local de edificação e lançamento, seja ele um dique seco ou uma carreira de lançamento, até chegar ao seu ponto mais distante, que deve ser o local onde serão estocadas as chapas de aço. Os processos produtivos devem estar dispostos consecutivamente entre esses dois pontos. O layout adotado, primeiramente, dependerá de como a área do estaleiro está disposta, podendo ser mais paralelamente à costa ou longitudinalmente. O segundo fator é o nível tecnológico do estaleiro, abrangendo desde o tamanho das embarcações a serem construídas, a quantidade de embarcações construídas anualmente, o número e o tamanho dos blocos, bem como o maquinário a ser utilizado.

**Figura 1** Layout e fluxo produtivo de um estaleiro moderno



Fonte: Eyres (2007)

Na Figura 1, temos o modelo de um layout para estaleiros de menor porte, onde podemos observar que, como citado anteriormente, o layout se inicia no local de estocagem das chapas de aço e termina no dique seco. O fluxo a ser seguido é simples e funcional, as chapas

de aço são preparadas com cortes, soldas e conformações para a formação de painéis, a união de painéis gera blocos que, pouco a pouco formam a embarcação na etapa de edificação e posterior lançamento. Após lançada, a embarcação se destinará ao cais do estaleiro para finalizar o processo construtivo. Podemos verificar, também, que a instalação de outfittings tem início na formação de painéis e é finalizada somente no cais.

Segundo Eyres (2007), esse layout deve ser empregado em estaleiros onde o fluxo de passagem de embarcações é rápido e apenas um dique ou carreira de lançamento seja suficiente. Optar por um dique é vantajoso para casos de embarcações de grande porte, em que os custos de lançamento são altos e a tensão submetida pode causar avarias ao casco, além de facilitar a edificação. Sua maior desvantagem é o alto custo inicial.

O layout dos estaleiros pode ser dividido em três diferentes períodos: Antes da Segunda Guerra Mundial; pós Segunda Guerra e anterior a 1960; e de 1960 até a atualidade. Foi somente a partir do último período que apareceram as técnicas de fluxo de linha, principal característica a ser observada na construção dos estaleiros atuais. (PETROIANU, 2014).

## 2.3 PROCESSAMENTO DO AÇO

### 2.3.1 Corte de chapas

Podendo ser mecânico ou térmico, o corte das chapas é um dos processos em que mais se gasta tempo de projeto, estando presente durante grande parte da construção. Dentre os diferentes métodos, podemos destacar o corte a plasma, a laser, através de jatos d'água e o oxicorte. Na indústria naval, podemos citar como os principais e mais utilizados o oxicorte e o corte com plasma. Tendo isso em vista, serão abordados somente esses dois métodos nesse trabalho.

O plasma pode ser considerado como o quarto estado da matéria, sua diferença está no nível de energia relativa, ao adicionar uma grande quantidade de energia ao vapor, o vapor se transforma em vários gases componentes, com característica de ser eletricamente condutor e ionizado. Existem três componentes básicos de corte com plasma: um circuito para a partida, que forma um arco de alta intensidade, suficiente para ionizar o gás; a tocha, que mantém o jato de plasma através do bico e do eletrodo, e também refrigera esses dois consumíveis; e a fonte de alimentação, que fornece energia para manter o arco plasma após ionização, com voltagem normalmente entre 240 e 400V e corrente contínua, que varia de acordo com a velocidade e espessura de corte. (HYPERTHERM, 2018).

Apesar de poder ser manual ou automatizado, no geral é mais através de máquinas automatizadas com arquivos no formato CNC (Comando Numérico Computadorizado) que se realiza o corte. Para o corte por plasma, é utilizada uma união de dois gases, um gás para o corte (plasma) e outro para proteção. Através de correntes elétricas, o gás de corte é aquecido, formando um arco elétrico na tocha, capaz de realizar um corte de ótima precisão. (PIMENTA, 2013).

Podem-se citar alguns gases como os principais e mais utilizados. Como gás de plasma, temos: ar, nitrogênio, oxigênio e misturas de argônio e hidrogênio; para proteção, os principais gases são: ar,  $CO_2$ , nitrogênio e água. (LIMA, 2009).

De acordo com Naval Surface Warfare Center (1976), o jato de plasma pode ter suas características modificadas, alterando o tipo de gás, sua vazão, a corrente do arco e o tamanho do bico. Como exemplo, podemos citar a mudança no fluxo do gás de plasma, quando o fluxo de gás é baixo, a concentração do plasma é maior, gerando uma temperatura ideal para a soldagem e insuficiente para o corte; aumentando esse fluxo, a velocidade do jato de plasma, aumentará proporcionalmente, até chegar a um ponto onde a vazão é tão alta, que o metal derretido é lançado para fora da peça.

Existem diversos possíveis tipos de falhas nesse processo, entre elas podemos citar como os três mais comuns os seguintes: quando a tocha se movimenta mais rápido do que o recomendado; quando a distância do bico e a peça é muito grande (ou pequena); e quando o fluxo de oxigênio é muito alto (ou baixo). (VICTOR, 2009).

Segundo Samad, Hossain e Asrafuzzaman (2012), o corte CNC é realizado de maneira muito ordenada. Primeiramente são desenhadas todas as peças a serem cortadas, através do software AutoCAD; em seguida, é realizado o arranjo das peças em cada chapa, de acordo com suas medidas (*nesting*), tendo como objetivo o menor desperdício de aço possível; depois disso, a chapa juntamente ao desenho de encaixe dos cortes serão fornecidos à máquina CNC para que o corte se inicie.

Outro método muito utilizado em estaleiros é o oxicorte. Apesar de poder ser utilizado de maneira automatizada com máquinas CNC, no geral, é encontrado na forma manual devido a sua grande versatilidade e facilidade de manuseio, útil em casos em que um pequeno corte é necessário e não é possível realizá-lo em máquinas, como, por exemplo, pequenos ajustes durante o processo de edificação.

No oxicorte, como o próprio nome já diz, oxigênio juntamente a um gás combustível (no geral acetileno ou hidrogênio), são alimentados à tocha que funde os materiais a serem cortados. A principal diferença entre o oxicorte e a soldagem com oxigênio é uma modificação



da tocha. Na soldagem, os gases são misturados em uma câmara dentro da tocha e, então, expelidos pelo bico, já no corte, o bico da tocha possui um orifício central (orifício de corte) onde haverá a passagem de um jato de oxigênio puro, expelido ao pressionar a alavanca da tocha, e outras, geralmente 6, aberturas (orifícios de pré-aquecimento) em seu envoltório onde a mistura proveniente da câmara de mistura é ejetada, fazendo com que o material sofra oxidação. (CARMICHAEL, 1919). Segundo Geary e Miller (2011), esse processo provém de uma reação química, onde o oxigênio é atraído quimicamente por metais ferrosos acima da temperatura de fusão, fazendo com que esse elemento em excesso oxide o ferro rapidamente. A espessura da ponteira e a pressão dos gases a serem utilizados dependem da espessura da peça a ser cortada. A Figura 2 exemplifica diferentes casos para o corte oxiacetilênico (oxicorte com o gás acetileno). Existem diversos tamanhos diferentes de ponteiros para diferentes espessuras de chapas. A largura da ponteira e a pressão do oxigênio aumentam proporcionalmente à espessura da chapa, já a pressão do acetileno é mantida constante.

**Figura 2** Tabela de pressão para bicos de corte

<b>Espessura de chapa mm (polegadas)</b>	<b>Número da ponteira</b>	<b>Pressão do oxigênio atm (psi)</b>	<b>Pressão do acetileno atm (psi)</b>
9,5 – 15,9 (3/8–5/8)	0	2,0–2,7 (30–40)	0,34–1,02 (5–15)
15,9 – 25,4 (5/8–1)	1	2,4–3,4 (35–50)	0,34–1,02 (5–15)
25,4 – 50,8 (1–2)	2	2,7–3,7 (40–55)	0,34–1,02 (5–15)
50,8 – 76,2 (2–3)	3	3,0–4,0 (45–60)	0,34–1,02 (5–15)
76,2 – 152,4 (3–6)	4	3,4–6,8 (50–100)	0,34–1,02 (5–15)

Fonte: Geary e Miller (2011)

### 2.3.2 Conformação

Nem todas as chapas numa embarcação têm a forma plana, algumas devem possuir característica curvada, seja para formar o bojo, ou alguma outra parte que houver necessidade. A minoria das chapas passa por esse processo, neste caso elas tomarão uma nova forma através de meios mecânicos, hidráulicos ou até térmicos.

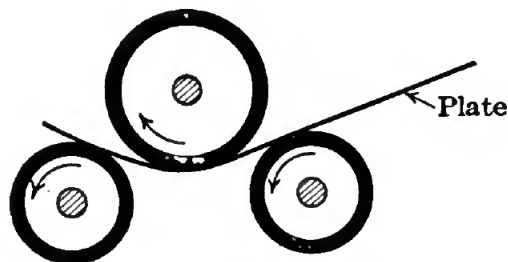
Os meios mais utilizados são através da aplicação de calor e das máquinas do tipo calandra e prensa. A conformação por calor é causada pela aplicação de calor em pontos estratégicos, gerando deformações plásticas através de tensões térmicas. (TANGO; MORINOBU; SUZUKI, 2011). A calandra consiste basicamente em 3 rolos, formando um triângulo imaginário entre eles, capaz de conformar chapas de grandes espessuras com boa

precisão. Sua maior limitação é o fato de somente possibilitar conformações unidimensionais, ou seja, constantes em toda a chapa. As prensas, geralmente hidráulicas, são completamente versáteis, podendo realizar pressões capazes de conformar a chapa em pontos específicos, suas dificuldades são a falta de precisão, possibilidade de deformar as chapas e a dependência de mão de obra especializada para o trabalho. (EYRES, 2007).

Segundo Lamb (2003) o método de aplicação de calor é muito restrito, e a conformação por rolos e prensa é mais difícil e cara, em alguns casos, um dos processos é suficiente para a conformação requerida, porém existem casos em que duas ou mais máquinas/métodos são necessários.

Na calandra, somente o rolo superior se movimenta verticalmente, ele é ajustado para definir o ângulo de curvatura, os rolos inferiores irão rotacionar em um mesmo sentido, enquanto o superior fará o movimento reverso. Podemos verificar na Figura 3 uma vista lateral do processo, o comprimento dessa máquina deve ser suficientemente grande para que haja espaço para as maiores chapas de aço com que o estaleiro trabalha. (CARMICHAEL, 1919).

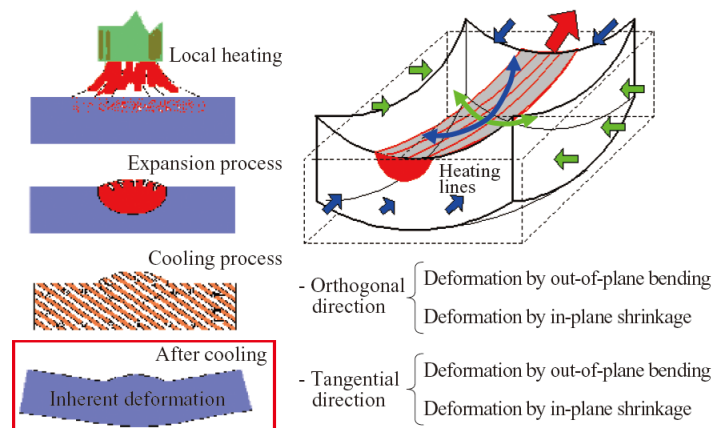
**Figura 3** Vista lateral da calandra



Fonte: Carmichael (1919)

Segundo Tango, Morinobu e Suzuki (2011), esse processo é muito dependente da habilidade de cada trabalhador, sem nenhum tipo de instrução escrita, gerando uma grande dificuldade em passar essa habilidade para futuras gerações. Tango, Morinobu e Suzuki (2011) desenvolveram um plano para automatizar esse processo, através de uma base de dados relacionando o calor aplicado e a conseqüente deformação, foi criado um programa utilizando o método dos elementos finitos com resultados adequados para situações práticas. Na Figura 4 podemos compreender a lógica referente ao projeto.

**Figura 4** Planos de deformação por calor



Fonte: Tango, Morinobu e Suzuki (2011)

Também com o intuito de automatizar o processo de conformação, Lee et al. (2010) abordaram em sua pesquisa o *springback* (recuo da chapa após a conformação, alterando sua forma final), gerado após aplicar a pressão na conformação a frio. Para ele, esse é um dos maiores problemas. Ao aplicar uma força na chapa, ela se deforma plásticamente e elasticamente, a deformação plástica é mantida, e a elástica recuperada (*springback*), necessitando correções iterativas para adequar a deformação. Para Lee et al. (2010), existe uma necessidade urgente de automatização da conformação, e seu ponto de vista difere do de Tango, Morinobu e Suzuki (2011). Lee et al. (2010) diz que esta automatização deve ser realizada através da conformação a frio, e não com aplicações de calor, podendo diminuir consideravelmente o tempo de produção. Futuramente, neste trabalho, analisaremos melhor a automatização da conformação e sua aplicabilidade na indústria naval.

### 2.3.3 Soldagem

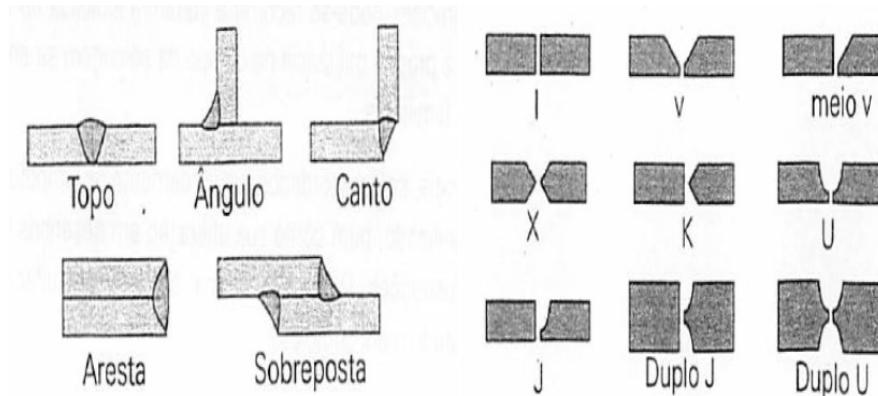
Soldar, como a própria palavra já diz, consiste em realizar a união de dois objetos, onde, a energia gerada formará ligações químicas entre os metais. Utilizada em vários setores de engenharia, a soldagem é um dos procedimentos mais vitais na construção naval, sendo a soldagem com energia por arco elétrico a mais utilizada industrialmente. (LANCASTER, 1980).

A soldagem é aplicada em diferentes etapas da construção de uma embarcação, desde a soldagem de um simples reforço, até a soldagem entre dois blocos distintos. Existem vários tipos diferentes, podendo destacar como alguns dos mais utilizados na indústria naval os

seguintes: Eletrodo revestido (SMAW), MIG/MAG (GMAW), TIG (GTAW), e Arco Submerso (SAW). Esses métodos serão explicados resumidamente nas seções 2.3.3.1 a 2.3.3.4.

O material soldado é chamado de metal de base. Muitas vezes, é adicionado outro material à solda, é o chamado metal de adição, juntos eles formarão a poça de fusão. A junta é a região onde ocorre a união das peças e o chanfro, como estarão dispostas as peças na região de junta. Na Figura 5 estão listados diferentes tipos de junta e chanfro usualmente utilizados. Outro ponto importante a ser comentado é a posição de soldagem, que pode ser plana, horizontal, vertical, ou sobre cabeça. O tipo de chanfro usado dependerá do tipo de junta de trabalho, posição de soldagem, do processo de solda utilizado, espessura da chapa, entre outros. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

**Figura 5** Tipos de junta e de chanfro (para junta de topo), respectivamente



Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense (2011)

Segundo Lancaster (1980), a entrada de calor é uma das variáveis mais importantes da soldagem, pois ela dita a taxa de aquecimento e resfriamento da peça, assim como o tamanho da poça de fusão. A equação 1 demonstra um cálculo simples para a entrada de calor.

$$(1) \frac{nVI}{v} = q/v$$

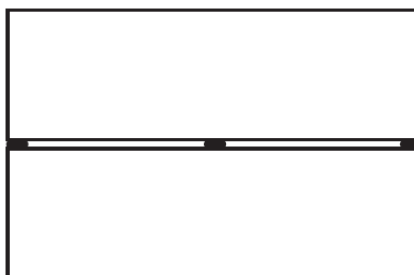
Onde:

- $n$  = Proporção da energia do arco transferida à peça
- $V$  = Voltagem do arco
- $I$  = Corrente do arco
- $v$  = Velocidade de soldagem
- $q$  = Entrada de calor

Podemos associar que quanto maior a taxa de aquecimento, maior a poça de fusão e, conseqüentemente, menor a taxa de resfriamento, fator muito desejado principalmente ao se soldar aço, em que enquanto menor a taxa de resfriamento, menor a probabilidade de fissuração por hidrogênio (descontinuidades na solda). A técnica de arco submerso, por exemplo, possui uma taxa de aquecimento altíssima, ou seja, possui pouco risco de fissuração por hidrogênio. Essas descontinuidades podem comprometer completamente a qualidade da solda. (LANCASTER, 1980).

Após definidas as configurações e o tipo da solda, é realizado um plano de soldagem para evitar acumular muito calor em somente uma determinada região da chapa, o que faria com que a chapa deformasse e distorcesse. Para isso, antes de iniciar o cordão de solda propriamente dito, é necessário realizar pontos de soldagem (pontear) a junção das chapas, como exemplificado na Figura 6, a distância entre esses pontos varia de acordo com o tamanho e espessura das chapas, e do cordão de solda. Posteriormente, é necessário realizar a ordem de soldagem de forma estratégica, variando os locais de solda, de forma que o calor seja, relativamente, distribuído igualmente na chapa. (VICTOR, 2009).

**Figura 6** Ponteados entre duas chapas



Fonte: Victor (2009)

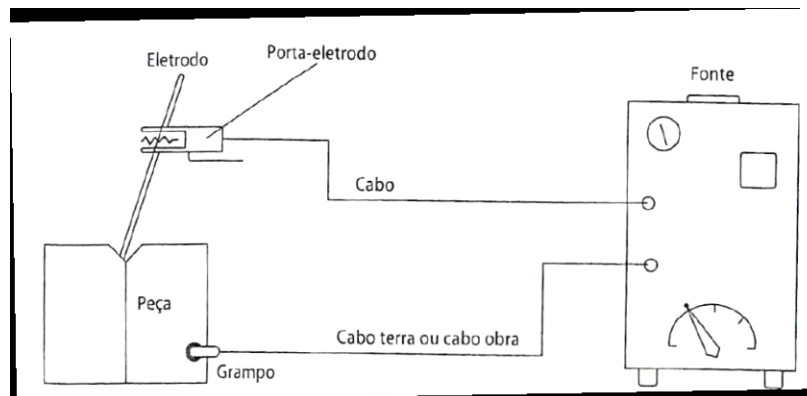
Dos processos de manufatura para a construção, a soldagem é crucial no quesito consumo de tempo e dinheiro, por isso, sua automatização é extremamente necessária. Diferentemente da conformação automatizada, é um procedimento mais comumente encontrado em estaleiros. Existem três maneiras de realizar esse procedimento: de maneira manual, em que um soldador o posiciona sob a peça; semiautomática, em que o robô se movimenta somente em dois eixos, muitas vezes sendo necessário posicioná-lo no ponto inicial da peça; e automática, em que o robô se movimenta nos 3 eixos cartesianos, sendo o mais recomendado para a etapa de construção de painéis. (KIM; HONG; HAN, 2007).

Para Kim et al. (2000), a automação da etapa de pré-fabricação é um fator chave na construção naval, em que é possível diminuir a exposição do soldador aos riscos, e aumentar a produtividade, e a qualidade do processo de construção. Ela é dividida nas etapas com o bloco aberto e o bloco fechado. O robô deve ser capaz de: reconhecer o ambiente da soldagem; captar e construir um mapa 3D da peça e equivalê-lo para o formato CAD; detectar e desviar de obstáculos; detectar a linha de soldagem; planejar o caminho a ser realizado; e soldar.

### 2.3.3.1 Eletrodo Revestido (SMAW)

Uma fonte gera energia elétrica, que é transferida à peça através de uma corrente, formando um circuito, passando por um cabo, um porta eletrodo, um eletrodo (que possui uma alma de metal e um revestimento protetor) e um grampo conectado à peça, que está ligado novamente à fonte através de um cabo terra. A Figura 7 demonstra esse circuito formado. Esta energia gera a abertura do arco voltaico entre a ponta do eletrodo e a peça, fazendo com que o eletrodo e parte da peça se fundam, formando a poça de fusão. (GEARY; MILLER, 2011).

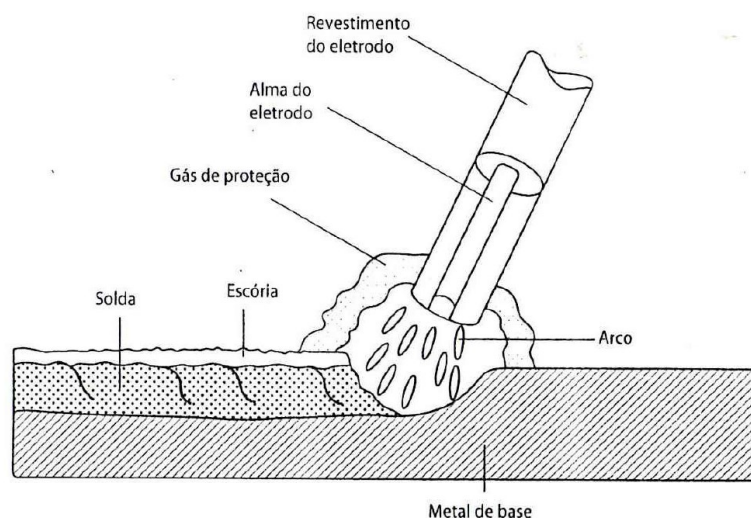
**Figura 7** Modelo simplificado da soldagem por eletrodo



Fonte: Geary e Miller (2011)

A composição dos eletrodos depende do material a ser soldado e sua espessura. Seu revestimento produz um gás inerte que protege o arco durante a solda e, após a realização do cordão, produz a escória, que protege o cordão de oxidação (GEARY; MILLER, 2011). Na Figura 8, verificamos um esquema reduzido dessa soldagem.

**Figura 8** Esquema reduzido da soldagem por eletrodo



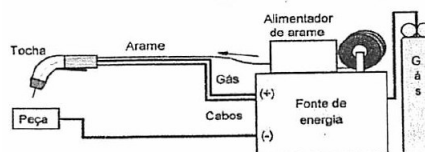
Fonte: Geary e Miller (2011)

### 2.3.3.2 MIG/MAG (GMAW)

Também um método em que a energia para a solda provém do arco elétrico, sua principal diferença em relação ao eletrodo revestido é a forma do eletrodo utilizado, que consiste em um arame consumível sem revestimento, alimentado constantemente à poça de fusão através de uma pistola, a proteção do arco deriva de um gás (ou uma mistura de gases) também proveniente da pistola. A partição MIG (*Metal Inert Gas*) da técnica utiliza um gás inerte para a proteção, e o MAG (*Metal Active Gas*) utiliza um gás ativo, no caso CO<sub>2</sub> ou misturas ricas nesse gás. Vale ressaltar que utilizando um gás ativo, só é possível a soldagem de materiais ferrosos, impossibilitando a soldagem de alumínio, por exemplo. (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2011), a soldagem MIG/MAG é a que possui maior crescimento em termos de utilização, devido a sua grande versatilidade, alta taxa de deposição e uma menor exigência de habilidade do soldador. No geral, é um processo semiautomático, em que a alimentação do arame é feita automaticamente através de um motor, que é acionado através de um gatilho e inicia a soldagem no momento em que o arame toca a peça. Na Figura 9 é demonstrado o equipamento básico dessa soldagem.

**Figura 9** Modelo simplificado do equipamento básico de soldagem MIG/MAG

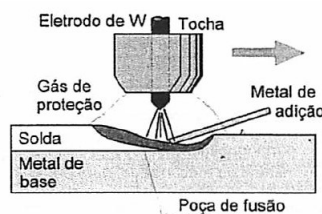


Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense (2011)

### 2.3.3.3 TIG (GTAW)

A soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*) é utilizada em casos em que é necessária ótima qualidade do cordão. É obtida através de um eletrodo de tungstênio não consumível com proteção por um gás inerte, no geral argônio ou hélio. O eletrodo não é considerado consumível, pois o calor gerado é suficiente para derreter parte do metal de base e o metal de adição (muitas vezes utilizado) e insuficiente para derreter o próprio eletrodo. A Figura 10 mostra um esquema da soldagem. (GEARY; MILLER, 2011).

**Figura 10** Esquema reduzido da soldagem TIG



Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense (2011)

Seu equipamento utilizado pode ser o mesmo do processo MIG (fonte, gás e seus equipamentos), modificando apenas a tocha e o metal de adição. Apesar de excelente controle da energia transferida para a peça, e arco bastante estável, possui algumas limitações, como seu alto custo, baixa produtividade e a não recomendação para soldagem de metais com espessura superior a 6mm, por isso não utilizado para soldagem de chapas de aço. É um processo geralmente manual que depende muito da habilidade do soldador. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

O tipo de metal de adição, vendido na forma de varetas, varia de acordo com as propriedades químicas e mecânicas desejadas para a solda. A espessura dessas varetas depende da espessura da peça a ser soldada. As demais características do processo, como o tipo de

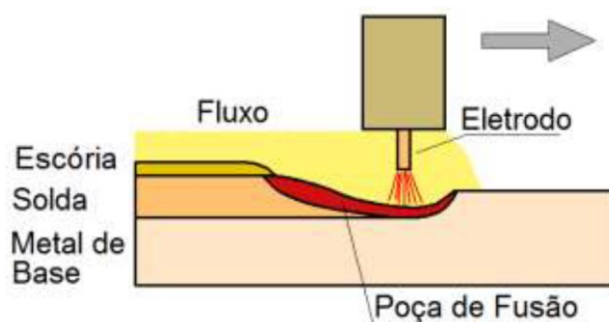


corrente (contínua ou alternada) e o gás a ser utilizado são escolhidos com base no material a ser soldado e sua espessura. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

#### 2.3.3.4 Arco Submerso (SAW)

Apesar de o arco não ser visível, também é um processo com um arco elétrico. Difere-se dos outros principalmente por conter um material fusível granulado (fluxo), que serve de proteção e purificação da poça de fusão e estabilização do arco durante a soldagem. Posteriormente esse fluxo formará a escória, que será facilmente removida. A Figura 11 demonstra o processo. (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

**Figura 11** Processo de soldagem por arco submerso



Fonte: Modenesi, Marques e Santos (2012)

Segundo Eyres (2007), é o processo mais utilizado em estaleiros de maneira mecanizada. Sua forma mais básica, no geral, é através de um pequeno robô ligado a uma fonte, além da tocha e do eletrodo, na forma de arame, que é alimentado de forma similar ao processo MIG/MAG, necessita de um porta fluxo e um painel de controle. A automatização desse processo é vista de diferentes formas em estaleiros, atualmente, sendo um processo de relativamente fácil automatização.

## 2.4 OUTFITTINGS

Traduzida ao português como “equipamentos”, é dividida generalizadamente em duas etapas principais, o pré outfitting, e o outfitting embarcado. O cabeamento elétrico, a instalação de tubulação, e outros equipamentos variados consistem na primeira fase do processo, e são

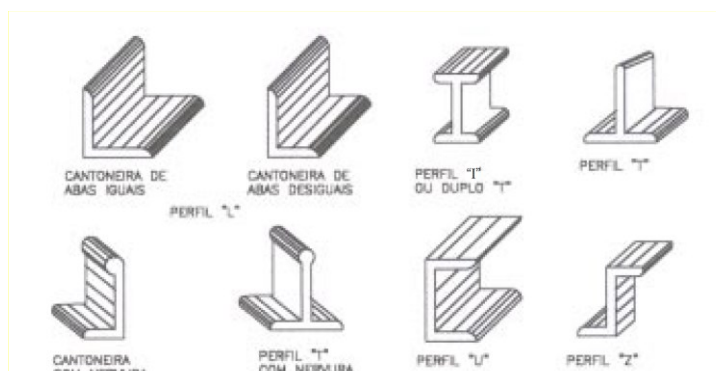
realizados durante o processo construtivo de montagem de painéis, blocos e edificação, sendo preferível realizar o máximo de instalações possíveis durante as fases iniciais do projeto (pré-edificação), aumentando a produtividade e diminuindo o tempo de carreira. Conectar e alinhar os equipamentos da praça de máquinas, além de finalizar a instalação da ponte de comando são tarefas da segunda fase de instalação, o outfitting embarcado ocorre com a embarcação já lançada. Em muitos casos, o próprio motor é colocado na embarcação nesta fase, a fim de se diminuir o tempo de carreira. (WEI, 2012).

Como um exemplo prático, podemos pensar na instalação de tubulação no duplo fundo de um petroleiro: durante a etapa de montagem do bloco, não há dificuldades para se realizar esta instalação, porém, com o bloco edificado, a posição de instalação é, no mínimo, desconfortável, diminuindo a produtividade do soldador, e aumentando o tempo de carreira.

Segundo Colin, Pinto (2006), o outfitting avançado, técnica conhecida por realizar partes das instalações de outfittings antes da edificação na carreira/dique, ou seja, ainda nas unidades de seções ou blocos não edificados, melhora os níveis de produtividade do estaleiro, diminuindo as horas-homem de trabalho e, conseqüentemente, aumentando o lucro do estaleiro. Essa técnica foi aperfeiçoada com o passar do tempo, especialmente pelos japoneses e é largamente utilizada atualmente na indústria naval. (apud JÚNIOR, 2012).

## 2.5 CONSTRUÇÃO DE PAINÉIS

Os painéis podem ser divididos em dois grandes grupos, painéis curvos e painéis planos. Sua fabricação é feita geralmente em duas linhas diferentes, lado a lado nos estaleiros. A grande maioria é plano e não necessita conformação, os curvos, no geral, são encontrados próximos à proa e popa e demandam mais tempo para sua produção. São fabricados unindo chapas de aço e reforçadores (perfis), que dão rigidez ao sistema. Esses perfis variam de acordo com especificações do projeto. Na Figura 12, temos exemplos de reforçadores tipicamente encontrados. Para aumentar a produtividade desse processo, a maior parte dos estaleiros realiza esta etapa através da soldagem por arco submerso, e em somente um dos lados da chapa. Estaleiros de maior porte e com maiores demandas realizam esse procedimento de maneira automatizada. (EYRES, 2007).

**Figura 12** Perfis mais usados na indústria naval

Fonte: Fonseca (2002)

De acordo com Fonseca (2002), os perfis são classificados e nomeados de acordo com a forma de sua seção transversal. A parte pela qual o plano de simetria ou eixo do perfil passa é chamada de alma e, em perfis de natureza T ou Z, as outras partes levam o nome de abas, como mostrado na Figura 13. A escolha do perfil deve ser analisada através do catálogo dos fabricantes, onde além das dimensões e propriedades da seção, também devem ser fornecidas as tolerâncias admissíveis do reforçador.

**Figura 13** Alma e abas de um perfil I

Fonte: Fonseca (2002)

Os perfis soldados às chapas podem ser longitudinais, ou transversais e, dentre eles, existem os leves ou pesados. Os perfis leves enrijecem o chapeamento. Como principais exemplos temos as cavernas e os longitudinais leves. Já os perfis pesados dão apoio aos leves, recebendo a tensão transmitida aos mesmos. Como exemplos, temos as hastilhas e a quilha. Esses dois tipos de perfis formam um chapeamento considerado a estrutura secundária da embarcação. (AUGUSTO, 2007).

Para Boon (2003), não existe nenhuma dúvida de que os elementos estruturais mais comuns em um navio são as chapas transversalmente carregadas. O momento fletor depende de dois principais fatores, para o caso de mesmos materiais: a distância entre reforçadores e a

espessura da chapa. No geral, quanto menor a distância entre os reforçadores e/ou maior a espessura da chapa, mais carga esse painel suportará, porém sempre é buscado o menor peso em aço possível (menor espessura e quantidade de reforçadores), e o menor custo de fabricação (menor número de cordões de solda), a fim de aumentar a margem de lucro do projeto. No geral, a distância entre reforçadores varia de meio metro, em embarcações menores, a um metro, em embarcações maiores. A espessura da chapa varia muito de embarcação para embarcação, além de depender do local de posicionamento da chapa.

Na maioria dos navios comerciais, mais de 60% dos blocos são constituídos de painéis planos, o que significa que uma melhora nesta etapa de produção pode até fazer a diferença entre um estaleiro ir à falência e obter lucros. A mudança entre a maneira tradicional de se montar os painéis, para um processo adotando uma filosofia *lean* de se evitar desperdícios e realizar o fluxo da montagem de maneira direta e puxada, pode diminuir o número de horas-homem gastas em mais de 80%. (KOLICH; STORCH; FAFANDJEL, 2017). Na Figura 14 temos um exemplo em que um painel está sendo movimentado de maneira desnecessária, pois a linha seguida pelo fluxo é indireta e ineficiente.

**Figura 14** Painel sendo movimentado

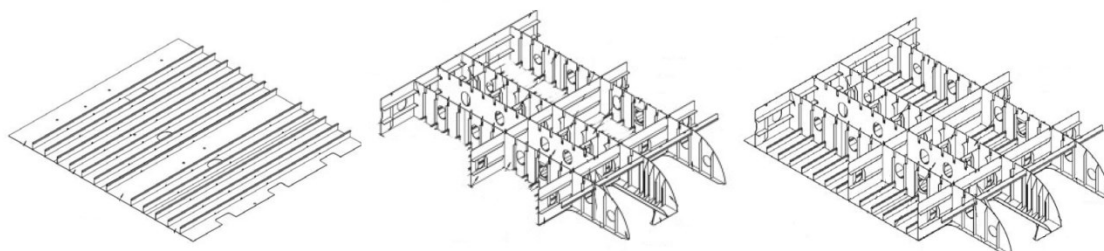


Fonte: O autor (2016)

Existem casos de painéis que possuem apenas reforçadores leves, chamados usualmente de “painel enrijecido”, por possuírem simplicidade em sua formação e similaridade entre eles, muitas vezes possuem uma linha de montagem automatizada. Para casos de painéis de maior complexidade, ou seja, com um grande número de reforçadores pesados, sua

produção, justamente por sua não similaridade, no geral, acaba sendo realizada manualmente, demandando uma maior quantidade de horas homem gasta. (KOLICH; STORCH; FAFANDJEL, 2016). Na Figura 15, temos o exemplo de uma progressão de um painel enrijecido para um painel construído.

**Figura 15** Painel enrijecido, reforçadores pesados, e painel de maior complexidade



Fonte: Kolich, Storch e Fafandjel (2016)

## 2.6 CONSTRUÇÃO EM BLOCOS

Para embarcações de grande e médio porte, a divisão da produção ocorre na forma de blocos (ou anéis), devido à sua complexidade construtiva. A formação do bloco é antecedida pela sua submontagem e montagem de painéis, para que, então, possam se unir os blocos até a formação completa do navio, procedimento conhecido como edificação. Por possuírem elevada massa, e utilizarem consideráveis áreas de trabalho, a construção em blocos ocorre em sincronia às demais tarefas construtivas. Um simples atraso no processo pode acarretar uma série de suscetíveis atrasos e movimentações desnecessárias de blocos e, como consequência, não possibilitar a entrega da embarcação na data programada, diminuindo a margem de lucro do estaleiro. (OLIVEIRA, 2011).

Os estaleiros estão localizados em locais estratégicos, sempre à beira de um local onde as embarcações construídas possam ser lançadas. Por se tratar de um espaço limitado, o custo do terreno, no geral, é alto, gerando a necessidade de tornar a linha produtiva mais rápida e com a menor ocupação de área possível. Com esse objetivo, as embarcações são divididas em blocos, processo que gera aumento na produtividade e diminuição no custo. (DIAS JÚNIOR, 2012). Na Figura 16, pode-se visualizar um bloco anelar e, na Figura 17, dois não anelares. A decisão de dividir a embarcação em anéis ou não depende do nível tecnológico do estaleiro, além da viabilidade em cada projeto.

**Figura 16** Movimentação de um bloco (bloco anel invertido)



Fonte: O autor (2016)

A construção por blocos teve origem na primeira metade dos anos sessenta, quando, no Japão, foi realizado um alto investimento na automação a fim de diminuir o custo de produção, considerado muito alto na época. O resultado foi obtido com uma união de uma mão de obra altamente produtiva e alto investimento tecnológico, permitindo uma diminuição significativa do tempo de construção. (JESUS, 2013).

Segundo Lamb (1986), um dos fatores determinantes para definição do nível tecnológico de um estaleiro é o tamanho estrutural máximo que um bloco pode possuir, restringido pela área disponível de movimentação, a capacidade em área e peso do dique ou carreira de lançamento e a capacidade dos guindastes e gruas que irão movimentá-lo. A montagem dos blocos é considerada crítica devido à enorme quantidade de elementos estruturais enviados pelas estações anteriores, necessitando uma excelente estratégia para organizar as tarefas envolvidas nesse processo. (ASSIS et al., 2012).

**Figura 17** Blocos não anel



Fonte: O autor (2016)



De acordo com Stuurman (2003), o acesso à embarcação para realizar a união de outittings e soldagem é muito difícil, se não houver uma divisão por blocos. Um grande benefício da construção em blocos é a possibilidade de se virar e girar o bloco, facilitando a soldagem de partes do bloco, como o duplo fundo, e a instalação de outittings, como a tubulação, aumentando a produtividade do soldador. Na Figura 16, o bloco encontra-se virado para soldagem de parte da tubulação. A edificação é iniciada com o processo chamado de posta de quilha, como exemplificado na Figura 18, que significa basicamente que o primeiro bloco foi posicionado e alinhado no local de edificação, seja ele uma carreira/berço de lançamento ou um dique. Posteriormente, os subsequentes blocos são posicionados, alinhados e soldados, até que a edificação esteja finalizada.

**Figura 18** Posta de quilha



Fonte: O autor (2016)

### **3. METODOLOGIA**

Neste capítulo será descrito o desenvolvimento das atividades envolvidas na pesquisa do presente trabalho, em que foram explicitados os processos de construção de uma embarcação e, posteriormente, foi realizado um estudo comparativo de alguns desses processos entre dois diferentes estaleiros.

A principal fonte utilizada para análise dos processos de construção é o estaleiro “A”, resultado de um estágio realizado em conjunto à marinha mexicana. A segunda fonte é o estaleiro “B”, onde foram realizadas visitas técnicas, a fim de possibilitar a comparação entre os estaleiros. Por motivos de sigilo, não foi possível tirar fotos do processo construtivo no estaleiro “B”, levando o autor a realizar a metodologia do estaleiro A com maior profundidade, a fim de obter uma explicação mais conclusiva.

#### **3.1 ESTALEIRO “A”**

##### **3.1.1 Conhecendo o estaleiro**

A primeira etapa foi conhecer o estaleiro, compreendendo seus objetivos de mercado, seus projetos antigos e vigentes. Fundado no ano de 1930, operando como terminal e centro de abastecimento para a empresa United Dredging Co. A partir de 1937, o estaleiro passou às mãos do governo mexicano, sendo dedicado exclusivamente para reparação e manutenção de dragas e barcas, com o nome de Terminal Marítma de Dragado. No ano de 1941, o estaleiro tornou parte das instalações da Secretaria de Marina (SEMAR), servindo principalmente como um estaleiro de reparação, além de realizar pequenos projetos, como blocos de diques flutuantes, por exemplo. Em 1955, um ciclone destruiu quase que completamente as instalações do estaleiro, motivando, a partir desse ano, a construção de um estaleiro mais completo e moderno, contando com as máquinas necessárias para a construção naval, instalações que, com exceção de algumas máquinas, seguem as mesmas até hoje. Mais de uma centena de projetos já foram construídos no local.



O estaleiro conta atualmente com 693 funcionários, sendo 597 militares e 96 civis. Possui carreira de lançamento com capacidade para 1500 toneladas e comprimento de 60 metros, e um dique flutuante com capacidade de 3500 toneladas, 120 metros de comprimento e 17 de largura. No total, são cerca de 45 mil metros quadrados de área, sendo 17 mil de área coberta.

Existem dois casos distintos em que se realiza a construção de uma embarcação neste estaleiro. O primeiro é quando a Marinha Mexicana necessita de uma embarcação para sua frota, sendo que, primeiramente, a SEMAR compra um projeto de uma construtora naval e, então, designa ao estaleiro “A” a construção. O segundo é quando uma empresa paga a marinha para construir um navio e, neste caso, haverá lucro devido à venda do produto final.

Durante o estágio, estavam sendo construídas 3 patrulhas (Stan Patrol 4207), cujo projeto é proveniente da empresa holandesa DAMEN. Essas patrulhas, de cerca de 43m de comprimento, 7m de boca e um calado máximo de 2.5m, têm como objetivo serem ligeiras, possuindo um pequeno deslocamento, com casco de aço e superestrutura de alumínio, totalizando 77t de peso de aço e alumínio. A espessura de suas chapas é, em sua maioria, de 4mm e 6mm. Outro projeto vigente é de um navio abastecedor multipropósito, que possui o projeto de uma empresa espanhola, a FREIRE, porém quem solicitou a construção foi a estatal Petróleos Mexicanos (PEMEX). Esse abastecedor possui cerca de 54m de comprimento e 13m de largura, com o casco e a superestrutura confeccionados em aço, sendo o peso total em aço de 592t.

A atuação desse estaleiro começa quando chegam os planos de metas e avanços, estimativa de horas-homem necessárias para a construção, especificações de construção, entre outros; são os chamados planos contratuais.

Os materiais usados diretamente na embarcação vêm todos por container, sendo o aço o único proveniente do próprio México. Os outros materiais, como alumínio cortado, motores, geradores, madeira, entre outros, vêm diretamente da empresa encarregada do projeto. Por exemplo, para as patrulhas, esses materiais provêm da Holanda. O controle desses materiais é feito conforme sua chegada ao estaleiro. É realizado um controle unitário, com alocação dos materiais nos armazéns do estaleiro. Com exceção do aço e dos materiais usados indiretamente na construção, que são comprados de acordo com a necessidade; o aço, a própria SEMAR se encarrega da compra, e os consumíveis, o setor de compras solicita à SEMAR, segundo as necessidades do estaleiro. Vale ressaltar que as chapas de aço são recebidas já pré-tratadas superficialmente e prontas para o uso, não havendo necessidade de o estaleiro realizar esta etapa.

Todos os meses, a SEMAR designa um valor para a compra de recursos considerados indiretos na construção, tomando como base gastos realizados em construções anteriores. Os encarregados de decidir o que se necessita, e quando se necessita, são os chefes de cada departamento. Além do gasto em consumíveis, também se utiliza esse orçamento mensal para a contratação de civis que irão trabalhar diretamente no projeto, como soldadores, por exemplo. Para o mês de março de 2016, o orçamento enviado pela SEMAR foi de 850 mil pesos mexicanos, cerca de 45 mil dólares. Em alguns meses, recebe-se muito mais e , em outros, muito menos.

A produção é controlada através de estimativas das atividades a serem realizadas na construção e das horas-homem de trabalho, formando o cronograma de avanço. Esse controle é feito semanalmente, com um percentual dos trabalhos realizados. Para esta aproximação, dividem-se todas as etapas da construção em códigos e, para cada um deles, o quanto já foi concluído, o percentual total de avanço é resultado da soma de todos os códigos. A análise desse avanço depende da experiência dos encarregados, que devem saber quantificar o quanto já foi realizado em cada etapa.

O controle de qualidade realizado depende de qual embarcação é construída. Para as que pertencerão à frota da marinha, não há necessidade de seguir uma sociedade classificadora, ou seja, é feito um controle pelo próprio estaleiro, sem seguir à risca nenhuma regra específica. Por exemplo, no projeto das patrulhas, quem realiza esse controle são os encarregados pelo projeto (DAMEN) e os chefes de cada departamento. Já para embarcações que não serão destinados à marinha, como, por exemplo, o abastecedor que está sendo construído para a PEMEX, é seguido o padrão de qualidade da sociedade classificadora Bureau Veritas, que verifica medidas de chapas, qualidade da solda, precisão na união de blocos, entre vários outros fatores. Um exemplo da diferença entre seguir uma sociedade classificadora e não seguir é a o processo de soldagem utilizado. Para o abastecedor, está sendo utilizada somente a soldagem GMAW, já para as patrulhas, dependendo da disponibilidade, necessidade e habilidade de cada soldador, utilizam-se diferentes métodos.

### **3.1.2 Construção dos painéis**

#### **3.1.2.1 Corte de chapas**

As principais dimensões das chapas de aço são de aproximadamente 8,3m x 2,5m e também 6,1m x 1,8m, com variadas espessuras, o alumínio, já é recebido cortado, então, no

estaleiro, é cortado somente aço e, em alguns casos, alumínio considerado consumível ou que foi entregue com dimensões incorretas pelas empresas de projeto.

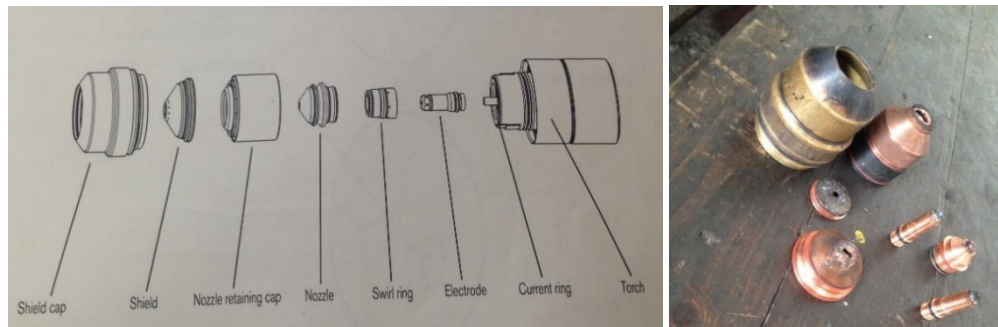
O corte é feito através da máquina CNC, HyPerformance Plasma HPR260xd, da Hypertherm, através da técnica de corte por plasma. Sua tocha é alimentada por uma combinação de dois gases e, para a marcação superficial de peças, é utilizado o ar comprimido e argônio e, para o corte, o ar comprimido e oxigênio. A corrente impressa à tocha pode ser de 130A ou 260A. Na Figura 19 é mostrada a máquina utilizada.

**Figura 19** Máquina de corte por plasma



Fonte: O autor (2016)

A tocha é composta por 7 elementos considerados consumíveis principais, como exemplificado na Figura 20, esses elementos não são incluídos na peça cortada, porém como sofrem um alto desgaste, com o tempo, devem ser substituídos. Caso contrário, resulta em um corte de menor precisão, até chegar ao ponto em que já não se corta mais. A cama de corte possui dimensões de 18m x 3m, seu interior é preenchido com água, elemento imprescindível por questão de segurança de quem opera e se acerca à máquina, fazendo com que todos os resíduos voláteis e tóxicos sejam depositados nesta região, como, por exemplo, o pó de ferro. A tocha é guiada de maneira automática ou semiautomática através de um trator.

**Figura 20** Principais consumíveis da tocha

Fonte: O autor (2016)

Para realização dos cortes, é necessário um arquivo no formato CNC. As peças utilizadas diretamente na construção já chegam todas desenhadas e distribuídas em chapas de aço no formato CAD. Essa distribuição geralmente é refeita, buscando que as peças cortadas não fiquem muito tempo sem serem utilizadas. Por exemplo, se estivessem realizando a construção do bloco 1 e 7, e uma peça do bloco 1 estivesse alocada na mesma chapa que uma do bloco 2, que só seria utilizada no mês seguinte, esta peça do bloco 2 seria realocada para outra chapa, substituindo-a por uma do bloco 1 ou 7, evitando o acúmulo de peças que não serão utilizadas em um curto intervalo de tempo. Na Figura 21, podemos ver a máquina realizando um corte.

**Figura 21** Corte sendo realizado

Fonte: O autor (2016)

O programa utilizado para realizar peças e editar sua distribuição é o AutoCad com a extensão ShipConstructor, que, além das ferramentas tradicionais do AutoCad, possui outras ferramentas úteis para o ramo naval, como, por exemplo, dar o peso e o centro de gravidade de cada chapa, bloco, e até de toda a embarcação. Como a máquina lê somente o formato CNC, é utilizado o programa ProNest para realizar a conversão, onde também é possível reorganizar as peças de modo simples, manualmente ou automaticamente. As peças são alocadas a pelo menos 10mm da borda da chapa, como um fator de segurança, nesse mesmo programa, também são definidas as características do material cortado, a espessura e tamanho da chapa.

Após salvar no formato CNC, o arquivo é transferido para a central de controle da máquina, onde é definida a corrente e velocidade de corte, que dependem da espessura do material; para chapas mais finas, é utilizado uma corrente de 130 A e para mais espessas (acima de 20mm) 260 A; a velocidade recomendada provém do manual, por exemplo, para uma chapa de 3mm é recomendada pelo manual uma velocidade de 6500mm/min, porém, para garantir o menor erro possível, é cortado à 6400mm/min. O motivo principal dessa diminuição é que os consumíveis raramente estão em perfeitas condições, provocando um erro maior, que pode ser corrigido diminuindo um pouco a velocidade de corte.

É importante ressaltar que, antes de cortar, é necessário realizar o alinhamento manual da chapa, primeiramente são marcados dois pontos extremos da chapa, posicionando a tocha manualmente acima desses pontos, para diminuir a imprecisão são escolhidos os pontos de maior distância um do outro. Após apontar os dois pontos, a máquina vai automaticamente até um terceiro ponto extremo, desse ponto o corte já é iniciado, caso o terceiro ponto esteja fora da chapa, a operação deve ser cancelada e o alinhamento reiniciado. O corte pode ser acompanhando através da central de controle, como mostrado na Figura 22. Nesta central é mostrado todo o caminho a ser percorrido pela tocha, a velocidade de corte, e o tempo estimado.

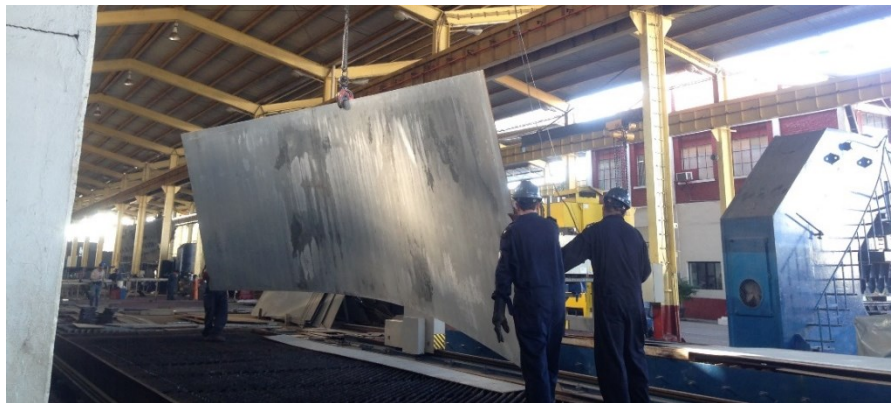
**Figura 22** Central de controle



Fonte: O autor (2016)

O posicionamento das chapas a serem cortadas é realizado utilizando uma grua com um gancho instalado e o auxílio de, pelo menos, 2 trabalhadores para garantir estabilidade. Na Figura 23 podemos ver uma chapa sendo levada à cama de corte.

**Figura 23** Movimentação de uma chapa de aço



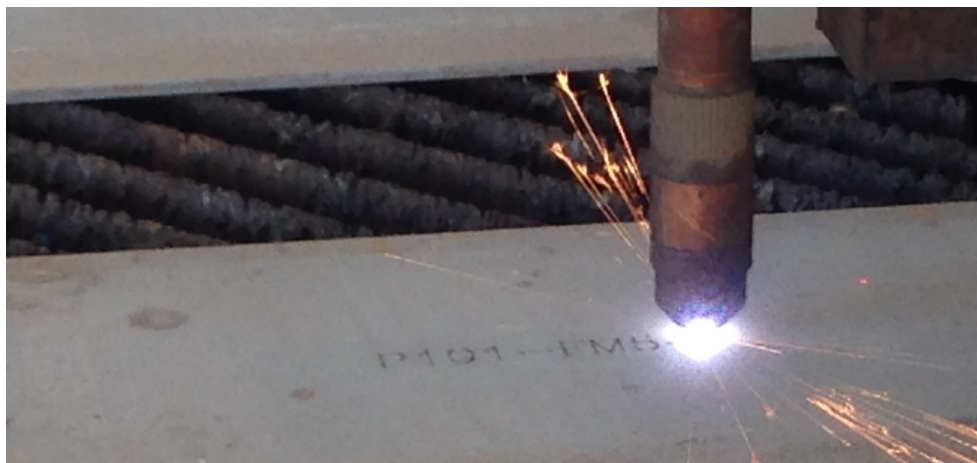
Fonte: O autor (2016)

A máquina, primeiramente, marca as peças para, depois, cortá-las, tendo a opção de já marcar todo combinado de peças e, depois, realizar todos os cortes, ou de marcar e cortar peça por peça. A marcação depende de cada peça, tendo como algumas opções o nome do bloco ao qual pertence, posição de reforços, marca de conformação, posição em relação a cavernas e



também, um par de setas indicando a posição em relação à embarcação (direção da popa, proa, boreste, bombordo). A Figura 24 mostra a máquina marcando uma chapa.

**Figura 24** Marcação de uma chapa



Fonte: O autor (2016)

Essa máquina de plasma possui precisão de 1mm e capacidade de cortar aço, alumínio e aço inoxidável. O corte de uma chapa de aço pode levar de 20 minutos a 3 horas, dependendo do número de marcas e cortes a serem realizados e da espessura da chapa. Para realizar o corte de todo um bloco, no geral, são necessários de 3 a 5 dias, com dois turnos de trabalho por dia. A distância entre a peça e a tocha varia de 2,5mm para peças mais finas a 4,8mm para peças mais grossas.

Os retalhos sobrantes do corte, que não têm a possibilidade de serem reutilizados, são vendidos para a fundição. Através da operação de oxicorte, esses retalhos são cortados, a fim de diminuir seu peso e facilitar o trabalho dos operadores. Essa operação necessita um maçarico de corte, dois cilindros de gases, o oxigênio e o butano, cabos que conectem ambos cilindros ao maçarico e um faiscador. Para realizar o corte, primeiramente, se abre a válvula de butano (cabo vermelho) e, com o auxílio de um faiscador, é acendida a chama. Nesse instante teremos uma chama laranja com muita fumaça preta, ou seja, extremamente carburante, em seguida se regula a válvula de oxigênio (cabo verde) e diminui o fluxo de gás butano até que a chama seja neutra. Vale ressaltar que o oxicorte também é realizado quando não se pode realizar o corte por plasma, ou seja, fora da posição plana, por exemplo quando se necessita cortar uma parte de uma chapa após realizada conformação na mesma.

Para realizar o oxicorte, primeiramente, a peça deve ser aquecida, passando o maçarico sobre a mesma, enfocando na linha de corte a fim de facilitá-lo. Em seguida, o

maçarico deve ser posicionado no ponto de início do corte e mantido nesta posição até que o metal esteja próximo ao ponto de fusão, visualmente estará alaranjado e com algumas faíscas, é a chamada temperatura de ignição. Nesse momento, o gatilho deve ser pressionado, resultando no lançamento de um jato de oxigênio puro, momento no qual o corte é iniciado; com o gatilho pressionado, o maçarico deve percorrer a peça durante todo o caminho de corte. A Figura 25 expõe um trabalhador realizando o oxicorte.

**Figura 25** Procedimento de oxicorte



Fonte: O autor (2016)

### 3.1.2.2 Conformação

As marcas realizadas via plasma são simplificadas, com o objetivo de facilitar a compreensão do que se deve ser feito, informações complementares que ajudam no processo construtivo são marcadas com um giz branco. No exemplo na Figura 26, são marcadas as posições das cavernas na chapa. A conformação é dividida em 3 principais partes, o rolamento, realizado na calandra Sertom Metalforming Machinery; a compressão, através da prensa hidráulica Hidromex; e uma última conformação mínima, realizada já no bloco de instalação da chapa com o auxílio de talhas manuais e bombas hidráulicas da marca ENERPAC. As máquinas de prensa e calandragem são exibidas na Figura 27.



**Figura 26** Marcas de anteparas realizadas em giz



Fonte: O autor (2016)

**Figura 27** Máquina de calandragem e prensa, respectivamente



Fonte: O autor (2016)

Para auxiliar na conformação, são realizados gabaritos de madeira, mostrando o conformado que deve ser levado em relação a cada caverna. Por isso a importância de marcar em giz cada caverna, tornando assim mais visível seus pontos. A quantidade de gabaritos depende da dimensão da conformação; para conformações proporcionais em toda a chapa, uma é suficiente, porém para uma chapa “irregular”, em que a conformação não é a mesma em seu comprimento, são necessárias mais de uma; para a chapa da Figura 29, foram necessárias 5.

**Figura 28** Gabarito de madeira para a chapa da Figura 29



Fonte: O autor (2016)

**Figura 29** Conformação de uma chapa na calandra



Fonte: O autor (2016)

A cada movimento de calandragem, analisa-se a conformação da chapa em relação ao gabarito. Para realizar esta análise sem haver a necessidade de retirar a chapa da calandra, são realizadas cópias desses gabaritos, em aço. Na Figura 30, podemos verificar essa comparação ocorrendo com um gabarito de aço e, na Figura 31, com um gabarito de madeira. Vale ressaltar que, ao sair da calandra, a chapa deve possuir um conformado um pouco mais agudo que o ideal, para possibilitar a realização da próxima etapa, a prensa da chapa.

**Figura 30** Verificação da conformação com um gabarito de aço



Fonte: O autor (2016)

A calandra necessita um técnico para operar a máquina, e pelo menos dois operadores para movimentar a chapa, através de uma grua ou manualmente; a operação toda é feita visualmente, ou seja, sem o auxílio de computador para identificar a angulação adequada. Quando se conformam duas chapas iguais, após a conformação da primeira, é marcado o ponto final da altura do cilindro de compressão, desse modo, não há necessidade de comparar a segunda chapa com os gabaritos, somente chegar ao mesmo ponto novamente.

**Figura 31** Verificação da conformação com um gabarito de madeira



Fonte: O autor (2016)

A necessidade de haver mais de uma etapa de conformação é devido ao modo de trabalho da calandra, que conforma com base a um eixo central, que depende do posicionamento da chapa. Na Figura 32, temos um exemplo de conformação com eixo não centralizado. Desse modo, a conformação ocorre por igual em toda a chapa, porém, muitas vezes, as chapas utilizadas não possuem um conformado simétrico, para esses casos é necessária uma próxima etapa de conformação, possível através da prensa.

**Figura 32** Conformação de uma chapa com eixo não centralizado



Fonte: O autor (2016)

A segunda etapa de conformação é feita na prensa, onde a chapa deve sair o mais próximo possível da conformação ideal; o objetivo é chegar a uma distância máxima de 10mm em relação ao conformado de projeto, porém nem sempre isso é possível. Essa etapa é dificultada pela falta de precisão e também pela movimentação da chapa; são utilizadas duas guias com, pelo menos, quatro operadores.

Após o posicionamento inicial da chapa, são pressionados vários pontos, sempre buscando fazer pressão em locais próximos para evitar a deformação da chapa, e para que a conformação seja regular. O procedimento é iniciado pressionando na região de uma caverna de referência para possibilitar a comparação com o gabarito; pouco a pouco, são pressionados outros pontos em direção às outras cavernas de referência. Para não danificar a chapa, são posicionados retalhos de aço e madeira entre a chapa e a calandra. A Figura 33 mostra o processo ocorrendo na primeira caverna de referência, com o auxílio de retalhos de aço para não danificar a chapa, e a Figura 34, uma conformação irregular.



**Figura 33** Aplanamento na prensa



Fonte: O autor (2016)

**Figura 34** Conformação para uma chapa irregular



Fonte: O autor (2016)

A operação da máquina é realizada unicamente através de pedais, um para subir e outro para abaixar o pistão que realiza a pressão. Esta etapa é relativamente demorada, pois são muitos pontos a pressionar e pode ocorrer um conformado exagerado em certos pontos, que deve ser corrigido pressionando o centro da chapa com o auxílio de retalhos empilhados, como exemplificado na Figura 35. Algumas vezes, pressionar o centro não é suficiente, chega um ponto em que a conformação não muda, e a chapa passa a somente deformar, por isso, é de

suma importância verificar o máximo possível a chapa em relação aos gabaritos, evitando conformar mais que o necessário.

**Figura 35** Pressão no eixo central da chapa



Fonte: O autor (2016)

Após esta etapa, a chapa é levada até seu painel ou bloco pertencente, onde a distância entre suas bordas e as chapas vizinhas são verificadas, o objetivo inicial é de, no máximo, 10mm de distância, a fim de minimizar a tensão gerada na próxima etapa de conformação; na chapa da Figura 36 a distância é de um pouco menos de 10mm.

**Figura 36** Chapa conformada já posicionada no bloco



Fonte: O autor (2016)

Chega-se agora à última etapa de conformação, que, consiste em uma acomodação da chapa no bloco para se aplicar o cordão de solda. Com o auxílio de bombas hidráulicas (Figura

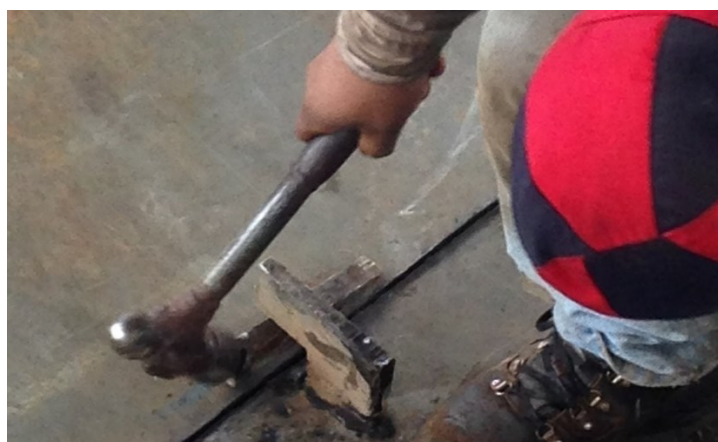
37), talhas manuais e também marteladas (Figura 38), dependendo da distância, é puxada ou empurrada a chapa na direção de interesse; quando a posição ideal para soldar é alcançada, são aplicados pontos de solda na união para que a chapa não volte à posição inicial.

**Figura 37** Bomba hidráulica ENERPAC



Fonte: O autor (2016)

**Figura 38** Marteladas com pontos de apoio



Fonte: O autor (2016)

Após a aplicação dos pontos de solda, são retirados os sistemas hidráulicos, de talha e os suportes provisórios para martelar, para que, então, possa ser finalizada a soldagem (Figura 39); lembrando que muitas partes permanecem somente com pontos de solda até que o bloco seja unido ao seu adjunto, para que haja uma certa flexibilidade caso sejam necessários ajustes. Esta etapa, apesar de necessária, é extremamente maligna para o aço. Esses pontos onde são posicionadas as chapas não são de real conformação (deformação plástica), caso não fossem realizados os pontos de solda, ao retirar os equipamentos, a chapa retornaria, pelo menos



parcialmente, à sua posição anterior, ou seja, esta chapa terá sempre uma tendência a retornar a outra posição, gerando uma tensão interna na chapa, uma região de maior fragilidade na embarcação.

**Figura 39** Resultado final da chapa



Fonte: O autor (2016)

### 3.1.2.3 Soldagem

A soldagem é aplicada em diferentes etapas da construção de uma embarcação, desde um simples reforço até a união entre dois blocos distintos. Existem vários tipos de soldagem diferentes. Neste estaleiro são empregados principalmente os métodos MIG/MAG (GMAW), Eletrodo revestido (SMAW), Arco Submerso (SAW) e TIG (GTAW). Como o objetivo deste trabalho é somente a confecção de painéis, e o processo TIG é utilizado somente para a solda de tubulações neste estaleiro, esse processo não será analisado.

Para a união de chapas, é utilizado o processo de Arco Submerso; para a soldagem de reforços, em embarcações que não pertencem à marinha, é utilizada a técnica MIG/MAG; e para a soldagem de reforços, em embarcações da marinha, são alternadas as técnicas de Eletrodo Revestido e MIG/MAG, de acordo com sua disponibilidade

Antes de iniciar a soldagem, as peças são posicionadas em locais estratégicos, uma longa chapa que contará com vários reforços é posicionada numa cama para soldagem e são realizados pontos de solda entre os dois, como exemplificado na Figura 40. Por envolver muito calor em pontos específicos, esta técnica evita deformações na chapa e nos reforçadores, porém, nem sempre há espaço vago nessas camas, então, a chapa é posicionada no chão, e a deformação é evitada através de uma estratégia de soldagem, alternando os reforços soldados e o lado do cordão nos reforços. Não é seguida uma regra à risca, através da própria experiência do



soldador, o objetivo é evitar concentrar o calor muito proximamente, deixando sempre a região esfriar para que se possa volta a trabalhar nela; por exemplo, se somente um reforço deve ser soldado com um cordão em cada lado.

**Figura 40** Chapa soldada à cama



Fonte: O autor (2016)

Para a soldagem de reforços, além da técnica de evitar a concentração de calor, são soldados pequenos retalhos em ambos os lados do reforço (Figura 41). Primeiramente os reforços são alinhados através de esquadros, em seguida, são aplicados pequenos pontos de solda, para mantê-los fixos, depois, são soldados os retalhos, mantendo a chapa e os reforços sem, ou quase, sem deformação, durante a etapa da soldagem propriamente dita.

**Figura 41** Apoios para soldagem de reforços



Fonte: O autor (2016)

Outro fator a ser realizado antes de iniciar a soldagem é a limpeza mecânica e manual do material a ser soldado, impurezas como pinturas e sujeiras diminuem a qualidade do cordão (porosidade, por exemplo) e dificultam a retirada da escória. Cada método e material soldado necessita um nível de limpeza diferente, para a soldagem de tubulações com o método GTAW, é necessário limpar o material; para a soldagem de duas chapas, através do método SAW, uma limpeza com vassoura geralmente já é suficiente; e para pequenas partes de pouca importância estrutural, é limpo somente se necessário.

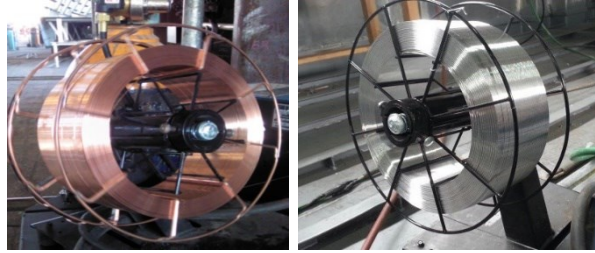
### 3.1.2.3.1 MIG/MAG (GMAW)

Primeiramente será exposto como é realizado o processo GMAW. O equipamento é composto por um cilindro de gás inerte ou ativo, dependendo do que for soldar; uma máquina geradora de energia (em que para o aço, esta máquina gera uma corrente contínua e para o alumínio, outra máquina gera uma corrente alternada); um alimentador de arame; a tocha; e dois cabos, um ligado à tocha e o outro à peça de trabalho. A transferência do arame fundido é realizada na forma de spray.

Quando é soldado aço, existem algumas variáveis. São dois casos distintos no estaleiro, a construção de embarcações que seguem alguma sociedade classificadora e as que não seguem. A seguir serão listados esses dois casos.

- Para o caso de uma embarcação atualmente em construção, que segue a Bureau Verita, foi estabelecido que só será utilizado a soldagem do tipo GMAW, com micro arame do tipo flux core E71T-1 (Figura 43); o micro arame consistente basicamente em aço, alguns elementos como cobre, e um fundente. Os gases utilizados podem ser dióxido de carbono puro ou uma mescla de gases chamada de Ferro G, que consiste basicamente de argônio, dióxido de carbono e oxigênio, esta mescla apresenta maior custo, e possui os benefícios de um arco mais estável, um cordão com melhor aspecto e um menor reforço (altura do cordão). Em painéis, geralmente é utilizado a mistura Ferro G, deixando o dióxido de carbono para união de blocos, justamente por possuir um maior reforço.
- Para o caso de embarcações construídas para a marinha, em que a decisão de qual tipo de soldagem utilizar cabe aos envolvidos na construção e no projeto, para o método GMAW ao invés do micro arame do tipo flux core, é utilizado um arame totalmente sólido, sem o fundente em seu centro, chamado micro arame sólido ER70S-6 (Figura 42). Nesse caso o gás utilizado é sempre o Ferro G.

**Figura 42** Micro arame de aço e de alumínio



Fonte: O autor, 2016)

**Figura 43** Realização da soldagem MAG com micro arame do tipo flux core



Fonte: O autor (2016)

Para a soldagem de alumínio, é utilizado um equipamento distinto, a fonte de soldagem é o AlumaPower, que é ocupado unicamente para soldar alumínio através do processo GMAW. A tocha tem uma pequena variação da utilizada para a soldagem do aço, com a regulação da velocidade do arame na própria tocha. O gás utilizado é o argônio de alta pureza com um micro arame sólido do tipo ED70758. A Figura 44 expõe o equipamento utilizado.

**Figura 44** Equipamento para soldagem MIG em alumínio



Fonte: O autor (2016)

O procedimento de soldagem é dependente do soldador e da posição de soldagem. Primeiramente é regulada a fonte (a escória sai naturalmente em uma fonte bem regulada), no processo GMAW é utilizada a polaridade inversa, em que a peça é conectada no polo negativo e a tocha no polo positivo; a corrente e a tensão variam de acordo com a espessura e o material. No geral, a corrente utilizada é de cerca de 200A e a tensão de 25V. Para a regulagem desses aspectos através da fonte, basta girar um botão que varia a corrente e a tensão, então, com um retalho, são realizados alguns testes até que o cordão possua as características desejadas. Outra característica variável é a velocidade do arame, que é feita visualmente testando-a também; quando a máquina já se encontra regulada, deve ser iniciada a soldagem.

O soldador deve estar em uma posição confortável e estável, preferencialmente com um dos braços apoiado para maior estabilidade, é analisada a distância a ser recorrida na solda e se haverá estabilidade em todo processo. Após assegurar-se disso, a tocha é posicionada no ponto inicial, e é pressionado o gatilho, para que o arame comece a sair e, ao tocar na peça, o arco seja aberto, ou seja, o arco é aceso através da técnica de curto circuito. O ângulo de trabalho é de aproximadamente 15° ou 20° com a vertical, podendo ser realizado puxando ou empurrando a tocha. O tecimento varia com a posição, para as posições plana e horizontal, não é necessário realizar movimento nenhum, somente avançar com uma velocidade controlada, para as posições sobre cabeça e vertical, é realizado um tecimento em forma de “Z”,

dificultando a soldagem, ao terminar o cordão basta soltar o gatilho e distanciar a tocha da peça até o arco apagar. A escória, apesar de sair com extrema facilidade, deve ser retirada apenas após alguns minutos, para que se tenha um devido resfriamento do cordão. A Figura 45 mostra o resultado do cordão, assim como a voltagem e corrente utilizadas para sua confecção.

**Figura 45** Resultado do cordão e a fonte de soldagem utilizada para soldar aço



Fonte: O autor (2016)

### 3.1.2.3.2 Eletrodo revestido (SMAW)

Quanto ao processo de Eletrodo Revestido, é utilizada uma fonte de soldagem que transmite corrente contínua; um porta-eletrodo; um eletrodo; e dois cabos, sendo um conectado como terra na peça e o outro conectado ao porta-eletrodo, que contém o eletrodo conectado. É utilizada a polaridade inversa para esse processo. Seu principal uso é para a soldagem do aço. Neste estaleiro são utilizados dois eletrodos distintos como opção, o E6010 e o E7018, o primeiro é utilizado para fundear o cordão, quando necessário, e o segundo para realizar a vista do cordão. As características de cada eletrodo estão contidas na Figura 46. Ambos são eletrodos versáteis com a possibilidade de soldar em todas as posições, porém cada um com a sua finalidade.



**Figura 46** Tabela de comparação eletrodo E6010 e E7018

Classe	Composição		Função	Proteção
E6010	celulose ( $C_6H_{10}O_5$ )	35%	formador de gases	40% $H_2$ 40% $CO + CO_2$ 20% $H_2O$
	rutilo ( $TiO_2$ )	15%	formador de escória - estabilizador do arco	
	ferro-manganês	5%	desoxidante - ferro-liga	
	talco	15%	formador de escória	
	silicato de sódio	25%	aglomerante - agente fluxante	
	umidade	5%		
E7018	carbonato de cálcio	30%	formador de gases - a- gente fluxante	80% $CO$ 20% $CO_2$
	fluorita ( $CaF_2$ )	20%	formador de escória - agente fluxante	
	ferro-manganês	5%	desoxidante - ferro-liga	
	silicato de po- tássio	15%	aglomerante - estabili- zador do arco	
	pó de ferro	30%	agente de deposição	
	umidade	0,1%		

Fonte: Fortes (2016)

Realizando a soldagem, nitidamente é notada a diferença em relação ao método GMAW, o cordão possui um aspecto menos bonito e o avanço é mais lento, e o tecimento é mais utilizado. Para o eletrodo E7018 na posição plana, é possível realizar a soldagem somente com o movimento de avanço, porém, em posições de maior dificuldade (vertical, sobre cabeça), é necessário realizar o movimento de avanço na forma de “Z” ou com um formato que simula uma onda quase quebrando. Já para o eletrodo E6010, o movimento é feito através de um pequeno avanço seguido de um pequeno regresso, com o processo progredindo lentamente. A diferença para cada posição é o tamanho desse “vai e volta”, e sua velocidade, por exemplo, para a posição plana, o eletrodo é movimentado poucos milímetros para frente e para trás, com um avanço lento, na posição sobre cabeça, esse movimento chega a alguns centímetros.

Para realizar a soldagem, o procedimento de previamente testar a corrente e tensão também é necessário, porém, por contar com um equipamento e processo de soldagem mais simples, a fonte de soldagem possui somente um botão que aumenta ou diminui a energia da soldagem. Esse valor depende da espessura do material a ser soldado, da posição e da espessura do eletrodo.

O método de acendimento do arco é similar ao GMAW, o curto circuito, porém, nesse caso, deve se pressionar ligeiramente o eletrodo na peça, fazendo um movimento similar ao de

acender um fósforo. A transferência do eletrodo para a peça é goticular e a polaridade utilizada é a reversa, ou seja, eletrodo como positivo e peça negativa. No eletrodo revestido, a escória não sai com muita facilidade, sendo necessário um retalho pontiagudo e/ou uma escova de aço para sua retirada. A ferramenta empregada depende da amperagem e voltagem utilizados. A Figura 47 demonstra o equipamento usado nesta soldagem.

**Figura 47** Equipamento para soldagem com eletrodo revestido



Fonte: O autor (2016)

### 3.1.2.3.3 Arco submerso (SAW)

O arco submerso é utilizado em casos em que o cordão é muito longo e pode ser realizado na posição plana, no geral, é o processo empregado na união de duas chapas durante a formação de painéis. Por ser uma soldagem mais automatizada, é o método que mais se difere dos outros, o equipamento consiste basicamente em uma fonte de soldagem; os dois usuais cabos conectados na peça e no equipamento de soldagem; um trilho para o trator; e o próprio trator de arco submerso. O trator conta com um alimentador de arame, alimentador de fluxo (ESAB – OK 10.71), a tocha, além de um sistema de deslocamento. É realizada com a polaridade inversa e possui uma fonte de soldagem que gera uma corrente alternada. Na Figura 48 é possível verificar o equipamento utilizado.

**Figura 48** Equipamento utilizado para soldagem com arco submerso



Fonte: O autor (2016)

Podemos dividir a pré-soldagem por arco submerso em algumas etapas, listadas, em ordem, a seguir:

- São preparadas as chapas, alinhando-as numa cama e soldadas pontes provisórias na superfície de baixo das chapas, a fim de evitar deformações;
- são soldadas pequenas placas provisórias nos extremos do futuro cordão, assim o trator poderá soldar a chapa inteira (Figura 49);
- é realizada uma limpeza mecânica e manual da região de solda, para que o cordão e o fluxo não sejam contaminados. Vale ressaltar que a maioria do fluxo utilizado no processo não é incluído no cordão, podendo ser reaproveitado em futuras soldagens;
- o trilho é alinhado para que o arame se encontre exatamente na junção das chapas a serem soldadas a tope (Figura 50);
- após o alinhamento, o fundente é depositado no porta fluxo, e a corrente, voltagem e velocidade do trator são configuradas. Essas configurações dependem da espessura de cada chapa; cada espessura possui configurações recomendadas, por exemplo, uma das chapas soldadas possuía 1/8 polegadas de espessura, resultando em uma corrente de 300A, uma voltagem de 40V e velocidade de viagem de 10 polegadas por minuto.



**Figura 49** Placa soldada provisoriamente



O autor (2016)

**Figura 50** Emparelhamento entre o arame e o centro da união entre as chapas



Fonte: O autor (2016)

Após todas essas etapas, é iniciada a soldagem. Para isso, é necessário apenas pressionar o botão de início na central de controle (Figura 51) e acompanhar o procedimento, para que, no caso de haver alguma falha, o operador possa interromper o processo. Após a soldagem, é necessário esperar alguns minutos para retirar a escória, que sai com extrema

facilidade, e para recolher todo o fundente que pode ser reaproveitado; a placa provisória deve ser cortada e seus pontos em contato com a chapa devem ser limpos.

**Figura 51** Central de controle da soldagem



Fonte: O autor (2016)

É um método consideravelmente simples por não precisar de um soldador com habilidade, apenas um conhecimento básico para realizar a regulagem. Caso o trator trave em alguma parte da soldagem, o procedimento deve ser parado, e a região limpa para que fique parelha ao resto do cordão. Caso a solda fique sem as características mínimas de qualidade, a superfície do cordão deve ser limpa para a realização de outro em cima. A Figura 52 demonstra o resultado de um cordão com sua escória e fluxo excedente ao lado.

**Figura 52** Resultado do cordão juntamente a sua escória



Fonte: O autor, 2016)

## 3.2 ESTALEIRO “B”

### 3.2.1 Conhecendo o estaleiro

Localizado na cidade de Itajaí, onde existe uma grande cadeia de fornecedores e clientes, e grande disponibilidade de mão de obra treinada, o estaleiro possui instalações e processos construtivos de última tecnologia, projetado para construir até seis navios por ano para a indústria de apoio offshore, sempre mantendo padrões de sustentabilidade, como, reutilizar a água da chuva, e iluminação e ventilação natural. Possui uma área de 310.000 metros quadrados e uma área verde adjacente de 55.000 metros quadrados, com um contingente de mais de 1000 funcionários. (GRUPO CBO, 2018)

Este estaleiro possui estrutura para realizar a fabricação de embarcações tanto de aço, quanto de alumínio, porém até o presente momento nenhuma embarcação contendo alumínio em sua estrutura foi realizada. A compra de materiais acompanha o livre mercado, onde irão existir dois cenários distintos, o primeiro é para casos quando há tempo hábil entre o momento da compra e o início da sua utilização, possibilitando importações, por exemplo, para chapas de aço. No geral, é mais econômico a compra diretamente do mercado chinês, já para perfis de aço, o mercado italiano juntamente ao próprio chinês são os preferidos. O segundo cenário configura-se quando esse período de compra e uso é curto, impossibilitando realizar importações, neste caso essas peças são compradas diretamente do mercado brasileiro, geralmente da empresa Usiminas.

Antes de se utilizar esse aço, é necessário realizar um pré-tratamento superficial, em que é realizada uma limpeza superficial, seguida de um jateamento de granalhas de aço e subsequente limpeza final, para que, então, possa ser aplicada uma camada de tinta *primer*, finalizando o processo com a secagem. Esse tratamento é realizado no próprio estado catarinense, na empresa BlastSul, havendo a vantagem de que, para chapas compradas da Usiminas, o aço é diretamente enviado à empresa de tratamento, sem necessidade de passar pelo estaleiro, facilidade não encontrada quando realizada uma importação. Para esse caso, os materiais são recebidos no estaleiro, e então enviados para realizar o pré-tratamento.

O controle de qualidade é majoritariamente realizado por dois diferentes grupos. Primeiramente, atuando em nome do governo brasileiro, temos as sociedades classificadoras, que fiscalizam toda a construção até a finalização da embarcação, cada embarcação construída deverá seguir uma sociedade classificadora. No histórico do estaleiro, consta a utilização de apenas duas sociedades classificadoras até o presente momento, a ABS (American Bureau of

Shipping), e a DNV (Det Norske Veritas). A escolha da sociedade classificadora é do estaleiro, e varia de acordo com as características e orçamento do projeto. Vale ressaltar que existem casos em que o armador já possui uma sociedade classificadora à qual ele deseja que o projeto deva respeitar, nesse caso o estaleiro seguirá a mesma escolhida pelo armador.

O segundo grupo que realiza o controle de qualidade é chamado de GruFis (Grupo de Fiscalização), muito mais presente que a sociedade classificadora, é formado por funcionários do grupo que gere o estaleiro. Aqui é buscado um alto padrão de qualidade. No geral, seguindo o padrão de qualidade GruFis, todos os requisitos impostos pela sociedade classificadora também serão automaticamente cumpridos.

Anteriormente ao galpão principal, onde ocorre a fabricação, é estocada a maioria das peças, sendo elas peças de tubulação, chapas de aço e perfis de painéis. É a partir desse estágio que a construção propriamente dita começa. O primeiro passo ocorre no setor de corte de chapas, aqui as peças serão marcadas, e se necessário cortadas em dimensões pré-determinadas.

### **3.2.2 Construção dos painéis**

#### 3.2.2.1 Corte de chapas

O estaleiro possui três diferentes equipamentos para realizar o corte, todos comprados da empresa brasileira Oxipira. Os três equipamentos são da série Master, porém possuem características customizadas diferentes, o primeiro deles será chamado simbolicamente de Master 1, que possui capacidade tanto para o corte de plasma quanto para o oxicorte; por possuir melhores resultados em relação à performance e precisão, no geral, é utilizado somente o corte com plasma; sua principal característica que a difere das outras máquinas é sua capacidade de cortar espelhado; é utilizado em chapas que terão exatamente o mesmo corte, caso de alguns painéis que estarão em opostos da embarcação divididos pelo eixo de simetria. Vale ressaltar que a capacidade de perfurar dessa máquina (máximo de 70mm) é inferior às demais do estaleiro, porém sua cama de corte é superior, com 26x7m.

As duas outras máquinas (Master “2” e “3”) são do mesmo modelo, compradas em par apenas com o intuito de aumentar a produtividade do estaleiro. Também possuem capacidade para realizar o corte por plasma e por oxicorte, suas camas de corte têm 14x3m de dimensão. Elas são utilizadas em três casos diferentes: quando as chapas são não duplicadas; quando a espessura sobressai o limite da Master “1”; e quando a Master “1” já estiver sendo utilizada. Vale ressaltar que o limite de espessura para o corte nessas máquinas é de 160mm.

Após o corte, as chapas são levadas através de guias até a próxima etapa da submontagem. As guias do estaleiro possuem diferentes capacidades conforme a necessidade, aumentando sua capacidade proporcionalmente ao aumento do peso dos painéis e blocos, para a transição corte-soldagem, a guia possui capacidade de 10t. A parte técnica de como o corte é realizado neste estaleiro não será explicada neste capítulo devido à grande semelhança ao processo realizado no estaleiro “A”. Foi feita somente uma comparação que pode ser verificada no capítulo 4.1.

### 3.2.2.2 Conformação

Algumas chapas utilizadas na embarcação devem possuir uma determinada curvatura, nesses casos é necessário conformá-las. Anteriormente, neste estaleiro, essa etapa era realizada através de dois diferentes equipamentos e técnicas. Primeiramente, era utilizado um maçarico para aplicação de calor, e, posteriormente, uma prensa. Após o estaleiro passar por uma aliança com outra empresa, e tornar-se como ele é atualmente, foi comprada uma calandra que possui três cilindros rotativos, fabricada pela empresa Hausler modelo SPBM-hy6000-370, e o processo deixou de utilizar a aplicação de calor para adquirir uma curvatura inicial, passando a utilizar a técnica de calandragem. A calandra possui capacidade para conformar chapas de até 37mm e chapas de até 6m de largura. Para um conformado mais específico o procedimento não mudou, dando seguimento à utilização de uma prensa, no caso, fabricada pela empresa Nieland com o modelo SBP-375, que com uma potência de 22kW gera uma força de pressão de até 3750kN.

Ambos os equipamentos atuam em sequência e sua utilização, ou não, dependem do projeto de cada chapa, eles atuam da mesma maneira ao estaleiro “A”, a fim de não tornar o trabalho repetitivo. Assim como a etapa de corte, a etapa de conformação pelo estaleiro “B” não será aprofundada neste capítulo, pois existe uma pequena diferença em relação ao estaleiro “A”, diferença esta a ser explicada no capítulo 4.2.

### 3.2.2.3 Soldagem de chapas e perfis

Com um processo extremamente automatizado, as chapas de aço juntamente aos perfis irão passar por uma estação de soldagem e montagem dos futuros painéis. Essa estação está dividida em 5 diferentes células e foi fabricada pela empresa Finlandesa Pemamek Ltd.

(PEMA). A Figura 53 exemplifica uma estação de soldagem (diferente da do estaleiro “B”) da empresa Pema.

**Figura 53** Estação de soldagem da empresa Pema



Fonte: Pemamek (2018)

A primeira célula consiste em um equipamento automatizado de solda por arco submerso, as chapas são alocadas na parte inicial da estação através de uma grua, instalada no galpão de fabricação, onde, pelo meio de uma esteira, as chapas irão caminhar em direção ao ponto de soldagem. O alinhamento entre as chapas é realizado através de um braço robótico, que utiliza de imãs e pistões, o cordão de solda é realizado por outro braço robótico que introduz o fluxo e mergulha a tocha no fluxo para realizar a solda, o próprio braço recolhe o fluxo durante o processo.

Muitas vezes a soldagem necessita ser feita tanto longitudinalmente quanto transversalmente, para esses casos, após o ponto de soldagem, existe um pistão que levanta e gira a chapa 90 graus, para que a mesma retorne ao ponto de soldagem e possibilite a realização da solda transversal. Vale ressaltar que, nesta célula, existe um ponto onde funcionários do estaleiro, através de uma escada, podem descer abaixo do nível da célula e analisar a qualidade da solda na parte de baixo da chapa. Caso exista alguma imperfeição ou penetração insuficiente em algum ponto, o problema é corrigido nesta mesma etapa através dos equipamentos de soldagem manual MAG já instalados neste local, são no total oito equipamentos prontos para o uso.



A segunda célula tem como objetivo principal preparar a chapa para soldar perfis leves. Primeiramente é posicionado e alinhado um molde acima da chapa que levará os perfis, neste molde há espaços para posicionar os reforçadores de maneira que os mesmos se situem em sua posição exata. Então, através de um imã e um pistão, os perfis são aproximados da chapa, onde um braço robótico realiza ponteados longos, de cerca de dez centímetros, para que os perfis não se desloquem.

A terceira célula solda por definitivo esses perfis já ponteados, aqui podem ser soldados até seis perfis ao mesmo tempo, graças ao grande braço robótico com seis maçaricos de solda MAG, nesta célula existe apenas um braço robótico. Uma etapa que poderia levar até um dia em um estaleiro convencional é realizada em minutos.

A quarta e quinta célula formam a etapa final da construção dos painéis. Na primeira os perfis pesados são aproximados com o auxílio de um braço robótico e, então, ponteados para definir sua posição; para casos onde não há muito a ser soldado, é possível soldar de maneira manual através da solda MAG na própria unidade, existem oito equipamentos para soldagem manual já posicionados nesta célula.

Já em casos onde há muito a ser soldado, pode se optar pela utilização da quinta célula, onde a solda é feita de maneira totalmente automatizada. Primeiramente é feita uma leitura do painel e demarcados os pontos onde há necessidade de se soldar. Após definidos os parâmetros de soldagem, o processo é iniciado. Segundo funcionários do estaleiro, cerca de uma hora de soldagem nesta célula poderia economizar até um dia de soldagem na célula anterior.

Após as 5 células e o painel finalizado, existe uma área na própria estação de soldagem onde os grupos de controle de qualidade inspecionam a solda e, caso necessário, ordenam que sejam corrigidos pontos de baixa qualidade através de equipamentos de soldagem manual MAG. Daqui os painéis seguirão para o próximo galpão, onde ocorre a montagem dos blocos e edificação.

## 4. COMPARAÇÃO E RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos através de uma comparação dos processos envolvidos na construção de painéis navais. Ele estará dividido nos subcapítulos de corte, conformação e soldagem.

### 4.1 CORTE DE CHAPAS

Ambos os estaleiros realizam esta etapa através do corte por plasma em máquinas automatizadas com base em arquivos CNC, sendo a principal fonte para realizar essa comparação a diferença dos equipamentos utilizados. O estaleiro “A” possui apenas uma máquina, enquanto o estaleiro “B” possui três, sendo duas de um mesmo modelo.

A máquina utilizada pelo estaleiro “A” é a HyPerformance Plasma HPR260xd, da empresa Hypertherm, sua capacidade para cortes é de até 64mm de espessura para aço carbono, com uma cama de corte de 18x3m. Vale ressaltar que essa máquina realiza cortes apenas por meio do plasma.

No estaleiro “B” as máquinas Master “2” e “3” possuem capacidade de corte de até 70mm e sua cama de corte é de 14x3m. Apesar destes equipamentos serem capazes de, além de realizar o corte por plasma, também realizarem por oxicorte, o estaleiro as utiliza somente na função de corte por plasma. O maior diferencial de corte deste estaleiro é a máquina Master “1”, que apesar não conseguir cortar peças com mais de 70mm de espessura, possui uma cama de corte de 26x7m, com capacidade para cortar chapas espelhadas, dobrando a produtividade do equipamento.

A fim de facilitar a visualização da comparação entre os equipamentos, foi realizada uma tabela comparativa dos equipamentos, demonstrada no Quadro 1.



**Quadro 1** Comparativo entre os equipamentos de corte

	Estaleiro "A"	Estaleiro "B"	
Máquina utilizada	Hypertherm - HyPerformance Plasma HPR260xd	Master "1"	Master "2" e Master "3"
Espessura máxima de corte	64 mm	70 mm	160 mm
Dimensões da cama de corte	18x3m	26x7m	14x3m
Tipo de painel de controle	CNC Hypertherm	CNC Hypertherm	CNC Hypertherm
Técnicas de corte possíveis	Corte por plasma	Corte por plasma e oxicorte	Corte por plasma e oxicorte
Técnica de corte usualmente utilizada	Corte por plasma	Corte por plasma	Corte por plasma
Tipo de corte	Unitário	Unitário e espelhado	Unitário

Fonte: O autor (2018)

O procedimento de corte em si é o mesmo em ambos os estaleiros. As peças a serem cortadas são recebidas no formato CAD, e distribuídas em chapas de aço, o arquivo é convertido para o formato CNC e transferido ao painel de comando Hypertherm, onde são configurados os parâmetros de corte e o processo é iniciado. Em ambos os estaleiros as chapas provêm da área de estocagem de chapas através de uma grua instalada no galpão de fabricação, mesma grua que transporta as peças após o corte.

## 4.2 CONFORMAÇÃO

Esta etapa também é realizada de maneira muito semelhante em ambos estaleiros, apesar da conformação estar incluída durante a etapa de construção de blocos e edificação (talhas mecânicas, bombas hidráulicas), para o objetivo do trabalho será comparado sua utilização apenas para a produção de painéis curvos. Ambos os estaleiros utilizam apenas duas máquinas, uma calandra e uma prensa, com a diferença apenas da marca e modelo.

Anteriormente ao início do processo, verificamos uma organização muito similar em ambos os estaleiros. No projeto contratual, uma das seções correspondente ao plano de conformação especifica linhas nas chapas com marcação de ângulos de conformado, para alcançar a conformação final. Em teoria, basta alcançar esses níveis de conformação em cada uma das linhas, porém, como já verificado na metodologia do estaleiro "A", muitas vezes erros acontecem, alongando o tempo e as etapas de conformação.

Para a construção de blocos, ambos os estaleiros utilizam dois equipamentos diferentes, uma calandra, e uma prensa; em alguns casos, é necessário utilizar apenas a calandra, em outros, apenas a prensa, porém, em sua maioria, são utilizados ambos os equipamentos. Primeiramente a calandra para a obtenção de um conformado inicial e, posteriormente, a prensa, para conformar pontos específicos.

Para a calandragem, o estaleiro “A” utiliza a calandra hidráulica Sertom Metalforming Machinery EMO-60-20, as chapas utilizadas podem possuir largura máxima de 6,1m e espessura máxima de 20mm. Neste equipamento, o cilindro superior é movimentado verticalmente, e um dos cilindros inferiores horizontalmente para alocação da chapa. O estaleiro “B” utiliza a calandra Hausler modelo SPBM-hy6000-370, onde as chapas podem ter largura máxima de 6m e espessura de 37mm. No quesito movimentação dos cilindros, apenas há diferença de que ambos os inferiores podem movimentar-se horizontalmente para alocação da chapa, o que, na prática, não demonstra mudanças significativas.

A realização de prensa na chapa, após a calandragem, é a segunda e última etapa do processo de conformação. O estaleiro “A” utiliza a prensa hidráulica Hidromex, que, com uma potência de 50hp, é capaz de gerar uma pressão de até 300 toneladas. A prensa utilizada pelo estaleiro “B” é a Nieland modelo SBP-375, que possui design e funcionamento muito similar, sendo a diferença somente a capacidade de pressão gerada. Apesar da prensa Nieland possuir potência inferior, de 29,5hp, ela é capaz de gerar cerca de 376 toneladas de pressão, um pouco superior à do estaleiro “A”. Esse aumento é considerado consistente e proporcional ao acréscimo de tamanho das embarcações produzidas pelo estaleiro “B” em relação ao “A”.

Assim como no setor de corte, foi realizada uma tabela comparativa dos equipamentos, a fim de facilitar a visualização da comparação entre os mesmos (Quadro 2).

**Quadro 2** Comparativo entre os equipamentos de conformação

	Estaleiro "A"	Estaleiro "B"
Máquina utilizada para calandragem	Sertom Metalforming Machinery EMO-60-20	Hausler SPBM-hy6000-370
Tipo de sistema de pressão	Hidráulico	Hidráulico
Espessura máxima suportada	20mm	37mm
Largura máxima suportada	6,1m	6m
Movimentação dos cilindros inferiores	Apenas 1 cilindro horizontalmente	Ambos os cilindros horizontalmente
Máquina utilizada para prensa	Hidromex	Nieland SBP-375
Potência	50hp	29,5hp
Pressão máxima em toneladas	300t	376t

Fonte: O autor (2018)

### 4.3 SOLDAGEM DE CHAPAS E PERFIS

Como principal ponto de diferença entre os estaleiros, este tópico consiste em uma comparação entre um procedimento antigo e ultrapassado e um procedimento completamente automatizado, constituídos dos melhores equipamentos disponíveis no mercado, visando aumentar a rapidez e produtividade do processo.

Como visto anteriormente neste trabalho, para o caso de grandes painéis (painéis com mais de uma chapa de aço) primeiramente as chapas são unidas, para que, então, seus reforçadores sejam soldados, para painéis menores esta etapa de união de chapas não ocorre. Outro fator determinante desta etapa é o fato de que alguns painéis são constituídos somente de reforçadores leves, e outros possuem além dos leves, reforçadores pesados.

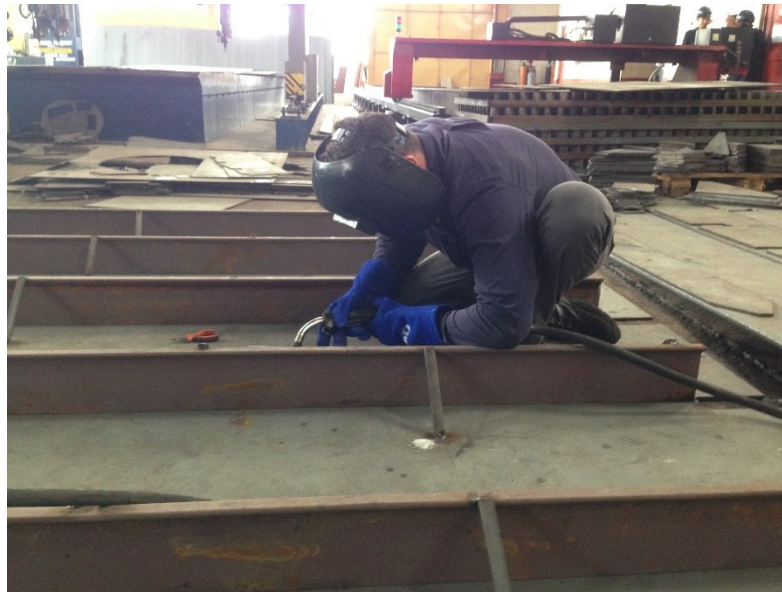
#### 4.3.1 Pequenos painéis

Para a construção de pequenos painéis, no estaleiro "A", a união dos perfis à chapa ocorre diretamente no chão. A chapa é transportada através de um guindaste, da área de estocagem de chapas para algum local próximo, onde exista espaço suficiente e a linha de produção não seja atrapalhada. No estaleiro "B", esses painéis são construídos na estação de

soldagem, porém, por não serem soldados a outras chapas, essa etapa é iniciada na segunda célula da estação. Para a chapa chegar até esta célula, ela é transportada através de um guindaste da área de estocagem de chapas, diretamente para a segunda célula de trabalho.

Antes de iniciar a soldagem dos perfis à chapa, é necessário alinhar e pontear esses reforçadores (leves). No estaleiro “A” são utilizados esquadros para garantir um ângulo de 90 graus entre o reforçador e a chapa, cada reforçador é preso a uma grua enquanto um funcionário do estaleiro realiza o alinhamento e outro solda um apoio entre a chapa e o reforçador, como demonstrado na Figura 54, afirmando parcialmente sua posição. Após este procedimento são soldados pequenos pontos (ponteados) entre o perfil e a chapa para assegurar sua posição, o procedimento é então repetido nos perfis subsequentes, são necessários três funcionários para realizar esta tarefa.

**Figura 54** Cinco apoios entre reforçadores e a chapa



Fonte: O autor (2016)

No estaleiro “B”, existe uma célula da estação de soldagem somente para esta etapa, primeiramente um molde da posição dos reforçadores é posicionado sob a chapa com uma grua, enquanto dois funcionários realizam o alinhamento do molde. Em seguida, através da mesma grua, são posicionados todos os reforçadores (leves), um a um, no molde, para que a esteira da estação mova o conjunto até o ponto onde o braço robótico atua, o próprio equipamento alinha automaticamente os perfis através de um conjunto de ímãs e pistões, para que então o braço robótico realize os pontos de solda.

Vale ressaltar que, no estaleiro “A”, os pontos de solda são realizados com o equipamento mais barato possível, com eletrodo revestido, e são literalmente pequenos pontos de solda, com cerca de um centímetro. No estaleiro “B”, o método utilizado pelo braço robótico é o MAG e os pontos de solda são alongados, com cerca de dez centímetros.

Finalmente só resta realizar a soldagem entre os elementos. No estaleiro “A”, a soldagem ocorre manualmente e depende do equipamento disponível e de ser uma embarcação da marinha ou não. Em embarcações da marinha, preferencialmente é utilizada a técnica MAG, porém, caso não haja nenhum equipamento disponível, também pode ser utilizada a técnica de eletrodo revestido, que é menos produtiva e gera resultados de menor qualidade. Para embarcações não pertencentes à marinha, a técnica utilizada depende da sociedade classificadora; durante o período de estágio, foi utilizada somente a soldagem MAG. No estaleiro “B”, esta operação é realizada na terceira célula da estação de soldagem, através de um grande braço robótico capaz de soldar até seis reforçadores ao mesmo tempo por meio da técnica MAG.

O maior diferencial desta soldagem é que, como no estaleiro “B”, o cordão de solda é realizado em conjunto aos subsequentes, e a chapa é pressionada à esteira da estação com pistões, não há possibilidade de deformação da chapa, tornando o processo direto e rápido, ao contrário do estaleiro “A”, onde é necessário dividir a soldagem por partes, focando em não introduzir muito calor a uma determinada área.

Em ambos os estaleiros, painéis compostos somente de reforçadores leves são finalizados neste ponto, onde, através das guias do estaleiro, eles são transferidos para o local de construção dos blocos. O estaleiro “A” realiza esta etapa no próprio galpão de fabricação, em camas de soldagem similares às utilizadas na confecção de painéis grandes, ou com reforçadores pesados, a única diferença é que essas camas possuem maior dimensão. O estaleiro “B” transfere as chapas para outro galpão, onde são montados os blocos e a edificação ocorre simultaneamente.

No estaleiro “A”, os painéis que, além dos reforçadores leves, possuem reforçadores pesados, são fabricados em camas de soldagem. Após finalizada a união dos perfis leves, o painel é transportado até a cama através de guias, onde, a fim de mitigar a deformação, o painel é pontado à cama. No estaleiro “B”, o seguimento ocorre na própria estação de soldagem, após finalizada a etapa de solda de reforçadores leves, o perfil percorreu três células, cabe à quarta e quinta a soldagem de perfis pesados.

No estaleiro “A”, as etapas de união desses novos perfis são muito semelhantes às de união de perfis leves. Primeiramente cada perfil é posicionado com o auxílio de uma grua,

enquanto dois funcionários realizam o alinhamento, para que um terceiro efetue os pontos de solda, o processo é repetido nos subseqüentes perfis. No estaleiro “B”, essa etapa ocorre na quarta célula, onde um braço robótico aproxima o perfil à sua posição ideal, pistões asseguram a posição e, então, outro braço robótico realiza o ponteadado.

O estaleiro “A” realiza a soldagem dos perfis pesados da mesma maneira que dos perfis leves, seguindo o mesmo protocolo de escolha do equipamento, com exceção de que, no estaleiro “A”, pelo fato de as chapas estarem soldadas a uma cama, é exigido um cuidado menor em relação à concentração de calor na peça, tendo maior liberdade na ordem com que se soldam os perfis. O estaleiro “B” possui duas opções para realizar a união propriamente dita:

- Primeira opção: Entre a quarta e quinta células, existe um espaço designado para a soldagem manual através da técnica MAG, são oito equipamentos já instalados, formando um processo mais produtivo em relação ao estaleiro “A”, devido à maior organização dos equipamentos. Esta opção é utilizada em casos em que há poucos reforçadores pesados, ou a quinta célula já está ocupada, sendo mais rápida a realização de cordões manualmente.
- Segunda opção: A utilização da quinta célula, que realiza a soldagem de maneira automatizada, em que, primeiramente, é feita uma leitura automática dos componentes a serem soldados, em seguida, são definidos os parâmetros, e então um braço robótico realiza os cordões de solda. Esta opção é mais vantajosa em casos em que existem muitos reforçadores pesados a serem soldados, um procedimento que poderia levar até mais de um dia de trabalho caso feito manualmente, poderia ser resumido a poucas horas nesta célula.

#### **4.3.2 Grandes painéis**

Para o caso de grandes painéis, primeiramente é necessário unir duas ou mais chapas. No estaleiro “A”, as chapas são unidas em uma cama de soldagem, elas são transportadas até a cama através de guias, para que, então, com o auxílio de funcionários do estaleiro, seja realizado um alinhamento manual extremamente preciso entre as chapas. No estaleiro “B”, as chapas são transportadas até a primeira célula da estação de soldagem, onde é realizado um alinhamento superficial entre as mesmas.

No estaleiro “A”, após realizar o alinhamento entre as chapas, com a maior precisão possível, é necessário prepará-las para sua união. Primeiramente as chapas são ponteadadas à cama de soldagem e, então, são soldadas pontes abaixo das chapas (Figura 55), com o intuito

de assegurar a posição de alinhamento. Vale ressaltar que o ponteado entre as chapas e a cama de soldagem e as pontes entre as chapas são realizados através da técnica de eletrodo revestido. O estaleiro “B” não realiza esta etapa.

**Figura 55** Pontes soldadas sob as chapas a serem unidas



Fonte: O autor (2016)

Após preparadas as chapas, resta realizar a união das mesmas. O estaleiro “A” realiza esta etapa através da técnica de arco submerso, em que é necessário ajustar as configurações do trator de soldagem, alinhar o arame ao centro da união entre as chapas e então posicionar e alinhar o trilho do trator durante seu percurso. Também é necessário soldar uma pequena placa às chapas para que o trator possa realizar o cordão do início ao fim da união. É um procedimento de muito preparo, porém, após iniciada a soldagem, é rapidamente finalizada.

O estaleiro “B” realiza essa etapa na primeira célula da estação de soldagem. Tudo é realizado de maneira automatizada, as chapas percorrem a esteira até chegar ao ponto em que a união é realizada. O alinhamento é realizado através do próprio braço robótico, que utiliza de ímãs e pistões para aproximar e alinhar as chapas. O cordão de solda é realizado através da técnica de arco submerso, onde o braço robótico introduz o fluxo, mergulha a tocha no fluxo, realiza a solda e recolhe o fluxo, através de apenas um ciclo linear. É um procedimento de pouco preparo que é rapidamente finalizado.

Quando, além da união transversal de chapas, há união longitudinal, por exemplo, em casos em que o painel é composto de 4 chapas de aço, esta soldagem também é realizada neste momento. O estaleiro “A” apenas transfere o trator de soldagem para a posição longitudinal e repete o procedimento de soldagem descrito anteriormente. O estaleiro “B”, por possuir um braço robótico que se movimenta apenas transversalmente, necessita girar essas chapas em 90 graus com seu eixo; para realizar este procedimento, as chapas percorrem alguns metros em direção à seguinte célula através da esteira da estação, até chegar a um ponto onde um pistão eleva e gira a chapa exatos 90 graus, para que, então, a chapa retorne ao ponto de soldagem e repita o procedimento descrito no parágrafo anterior.

Antes de passar à próxima etapa, é necessário realizar uma análise e possível correção da parte superior e inferior do cordão de solda. O estaleiro “A” realiza essa análise com duas diferentes opções. Caso o cordão esteja com profundidade insuficiente ou qualidade muito baixa, o mesmo é limpo e outro cordão é realizado acima desse através do próprio arco submerso. Caso seja um ponto específico, esse ponto é limpo e corrigido através da técnica MAG. O estaleiro “B” realiza esta etapa logo após a união das chapas; após cerca de um metro percorrido na esteira, existe um acesso por fora da estação de soldagem, onde os soldadores podem caminhar abaixo da união das chapas e, caso necessário, realizam correções na parte inferior (ou superior) do cordão. Vale ressaltar que existem oito equipamentos de soldagem MAG neste ponto, instalados somente com o intuito de corrigir falhas geradas nesta etapa.

Após a soldagem entre as chapas do futuro painel, o restante da operação é o mesmo que para pequenos painéis, com exceção de que, no estaleiro “A”, os painéis são realizados desde o início em camas de soldagem, não passando pela etapa de soldagem no chão; e no estaleiro “B”, a chapa é movida para a segunda célula da estação através da esteira, não uma grua.

Para finalizar a comparação de soldagem para a formação de perfis, também foi realizada uma tabela comparativa entre os estaleiros, mostrada no Quadro 3.



**Quadro 3** Comparativo para a soldagem dos painéis

	Estaleiro "A"	Estaleiro "B"
Técnica utilizada para união de chapas	Arco submerso	Arco submerso
Automatização da união de chapas	Semiautomática	Automática
Técnica para união de chapas a perfis leves	-Eletrodo Revestido -MAG	MAG
Automatização da união de chapas a perfis leves	Manual	Automática
Número de cordões soldados ao mesmo tempo	1 cordão	Até 6 cordões
Técnica para união de chapas a perfis pesados	-Eletrodo Revestido -MAG	MAG
Automatização da união de chapas a perfis pesados	Manual	-Manual -Automática
Local utilizado para a soldagem	Camas de soldagem	Estação de soldagem PEMA

Fonte: O autor (2018)

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, podemos verificar com clareza a diferença tecnológica entre os estaleiros. Muitas vezes existe uma melhora da tecnologia de estaleiros que constroem pequenas embarcações para estaleiros de grandes embarcações. Chapas, perfis e blocos muito grandes necessitam de equipamentos mais tecnológicos para realizar suas funções de maneira fluente, porém a diferença entre o tamanho de embarcações entre o estaleiro “A” e “B” é pequena, não justificando essa grande diferença tecnológica.

Como realizado anteriormente em todo o trabalho, as conclusões também serão divididas nos pontos de corte de chapas, conformação e formação dos painéis planos, de maneira a focar nos objetivos do trabalho. Por último será feita uma conclusão geral sobre os estaleiros e recomendações para futuros trabalhos na área.

O corte é realizado através de máquinas CNC que utilizam a energia do plasma para cortar. A chapa é posicionada na cama de corte e o braço robótico realiza o mapeamento da chapa. Um arquivo do tipo CNC, gerado anteriormente através de um software CAD, contém as informações referentes a pontos de corte e marcação da chapa. O corte e marcação são realizados pelo maçarico de plasma do braço robótico. Após definidos os parâmetros de corte tudo ocorre de maneira automatizada.

Neste setor, podemos concluir que há uma diferença insignificante entre os estaleiros. Apesar de o estaleiro “B” possuir máquinas de corte que realizam tanto o corte por plasma quanto o oxicorte, as máquinas usualmente operam através do plasma, devido a sua maior precisão e resultados de melhor qualidade. Outro fator que diferencia ambos os estaleiros nesse ponto é a espessura máxima de corte, justificado pelo motivo de o estaleiro “B” construir embarcações um pouco maiores. Deve ser ressaltado que ambos estaleiros realizam esta etapa de maneira eficaz, com um resultado de ótima qualidade.

Por último podemos notar a diferença numérica. Enquanto o estaleiro “A” pode cortar apenas uma chapa por vez, o estaleiro “B” pode cortar até quatro, duas de maneira espelhada no equipamento Master “1” e outras duas nos equipamentos Master “2” e “3”. O motivo é a diferença produtiva dos estaleiros, como o estaleiro “B” possui uma linha automatizada de

construção de painéis, a linha produtiva flui com maior rapidez, fato que não poderia ser diferente no fluxo de peças cortadas.

A conformação sem dúvidas é o processo que mais se assemelha em ambos estaleiros. Através de uma técnica de primeiramente calandrar a chapa, dando um conformado igual em todo seu comprimento e, em seguida, pressionar pontos específicos na máquina de prensa, para finalizar o conformado requerido. Ambos os estaleiros deixam a desejar no quesito tecnológico.

Os equipamentos utilizados pelos estaleiros são praticamente iguais, com capacidades extremamente semelhantes, é um processo lento e que, segundo Tango, Morinobu e Suzuki (2011) depende muito da capacidade de cada trabalhador, são pouquíssimos funcionários capazes de realizar esse procedimento. No estaleiro “A” haviam apenas três aptos a operar as máquinas, a ausência dos mesmos acarretaria em um obrigatório atraso na linha produtiva. Como sugestão para o setor de conformação, aconselho uma automatização urgente, tendo em vista que no estaleiro “A”, apesar do grande tempo gasto nesse setor, haviam diversos problemas, atrasando a construção em várias ocasiões.

O setor de soldagem dos painéis é, sem dúvida, onde mais podemos verificar diferenças. Para a construção dos painéis planos, é necessário unir chapas de aço a perfis. Alguns painéis são compostos apenas de perfis leves, e outros possuem leves e pesados, dependendo do projeto. Para casos onde o painel possui mais de uma chapa de aço, a união entre as chapas ocorre através da técnica de arco submerso. Os perfis podem ser unidos através de diferentes técnicas de soldagem, no estaleiro “A”, as opções são as de MIG e eletrodo revestido, no estaleiro “B”, é utilizada apenas a técnica MIG.

O estaleiro “A” possui um processo lento e manual, enquanto o estaleiro “B” possui um processo inteiramente automatizado, o que torna o processo imensamente mais produtivo, podendo diminuir o número de horas-homem gastas em mais de 80%. (KOLICH; STORCH; FAFANDJEL, 2017).

Com uma estação de soldagem altamente tecnológica, o estaleiro “B” não deixa a desejar em nenhum quesito nesta etapa, possui um processo rápido, eficaz e eficiente, considerado como o coração do estaleiro. Esta estação de soldagem obriga todo o resto do estaleiro a produzir o mais rápido possível. No estaleiro “A”, temos o exato inverso, um setor que obriga todo o resto do estaleiro a produzir lentamente, por se tratar de um estaleiro da marinha, uma produção mais lenta é praticamente esperada, porém, a automatização desse processo poderia mudar totalmente a produção deste estaleiro. Sem dúvidas, essa modificação obrigaria o segundo equipamento de corte do estaleiro “A” a voltar ao funcionamento, já que foi desativado por motivos de não necessidade de uso.

Para finalizar, podemos nitidamente concluir que há uma grande importância na eficácia e eficiência do procedimento de construção de painéis, procedimento esse que impacta em toda cadeia produtiva de construção de uma embarcação naval. Para futuros trabalhos, sugiro um aprofundamento especificamente no estudo de automatização da linha de conformação, e também uma análise da diferença de tempo gasto entre uma linha automatizada de construção de painéis, contra uma não automatizada.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, Misael H. S. do. **O poder pelo mar: a indústria de construção naval militar no Brasil a partir da política desenvolvimentista de Juscelino Kubitschek (1956 -1961)**. Dissertação (mestrado) – FGV - Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil, Programa de Pós-Graduação em História, Política e Bens Culturais. 2013.
- ARNOLD, J.R. Tony; CHAPMAN, Stephen N.; CLIVE, Lloyd M.. **Introduction to Materials Management**. 6. ed. Columbus: Pearson Prentice Hall, 2007. 515 p.
- ASSIS, Luiz Felipe et al. **Simulação de processos de construção naval para análise de estratégias alternativas de edificação-simultânea**. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 24., 2012, Rio de Janeiro: Sobena, 2012. p. 1 - 9. Disponível em: <[http://labsen.oceanica.ufrj.br/arq\\_publicacoes/simulao-de-processos-de-construo-naval-para-anlise-de-estratgias-alternativas-de-edificao-simultnea.pdf](http://labsen.oceanica.ufrj.br/arq_publicacoes/simulao-de-processos-de-construo-naval-para-anlise-de-estratgias-alternativas-de-edificao-simultnea.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2018.
- AUGUSTO, Prof. Dr. Oscar Brito. **Especialização em Engenharia Naval: Módulo 4: Análise Estrutural de Navios**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007. 142 p.
- BOON, Bart. Arrangement and Structural Component Design. In: LAMB, Thomas (Ed.). **Ship Design and Construction Vol. I**. Jersey City: The Society Of Naval Architects, 2003. Cap. 17. p. 56.
- CARMICHAEL, A. W.. **PRACTICAL SHIP PRODUCTION**. New York: Mcgraw-hill Book Company, Inc., 1919
- DIAS JÚNIOR, Jair da Silva. **PROCESSOS CONSTRUTIVOS NA INDUSTRIA NAVAL: A CONSTRUÇÃO POR BLOCOS**. 2012. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica Industrial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, 2012.
- EYRES, D. J.. **Ship Construction**. 6. ed. Oxford: Butterworth-heinemann, 2007
- FONSECA, Maurílio Magalhães. **ARTE NAVAL: Volume I**. 6. ed. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2002. 902 p.
- FORTES, Cleber. **Apostila de Eletrodos Revestidos**. Disponível em: <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1\\_apostilaeletrodosrevestidos\\_ok.pdf](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf)>. Acesso em: 09 out. 2016.
- GEARY, Don; MILLER, Rex. **Welding**. 2. ed. Stuttgart: Mcgraw-hill Companies, 2011.
- GRUPO CBO. **Oceana Estaleiro**. Disponível em: <<http://www.grupocbo.com.br/oceana-estaleiro/>>. Acesso em: 27 set. 2018.
- HYPERTHERM. **Plasma technology**. Disponível em: <<https://www.hypertherm.com/en-US/learn/cutting-education/plasma-technology/>>. Acesso em: 06 set. 2018.

JESUS, Claudiana Guedes de. **Retomada da indústria de construção naval brasileira: Reestruturação e trabalho**. 2013. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Política Científica e Tecnológica, Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/286903/1/Jesus\\_ClaudianaGuedesde\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/286903/1/Jesus_ClaudianaGuedesde_D.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2018.

KIM, Chang-sei; HONG, Keum-shik; HAN, Yong-sub. Welding Robot Applications in Shipbuilding Industry: Off-Line Programming, Virtual Reality Simulation, and Open Architecture. In: LOW, Kin-huat (Ed.). **Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applications**. Mammendorf: Piv Pro Literatur Verlag Robert Mayer-scholz, 2007. Cap. 27. p. 537-558.

KIM, Min Young et al. Visual Sensing and Recognition of Welding Environment for Intelligent Shipyard Welding Robots. In: 2000 IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS (IROS 2000), 3., 2000, Takamatsu. **Industrial Applications**. Takamatsu: Ieee, 2000. p. 2159 - 2165.

KOLICH, Damir; STORCH, Richard L.; FAFANDJEL, Niksa. Lean Methodology to Transform Shipbuilding Panel Assembly. **Journal Of Ship Production And Design**. Jersey City, p. 1-10. fev. 2017.

KOLICH, Damir; STORCH, Richard L.; FAFANDJEL, Niksa. Lean Transformation of Built-Up Panel Assembly in Shipbuilding using a Value Stream Mapping Methodology. **Sname Maritime Conference**. Bellevue, p. 1-9. nov. 2016.

LAMB, Thomas. **ENGINEERING FOR SHIP PRODUCTION**. Ann Arbor: Department Of Transportation Maritime Administration, 1986. 466 p.

LAMB, Thomas (Ed.). **Ship Design and Construction Vol. I**. Jersey City: The Society Of Naval Architects, 2003. 883 p.

LANCASTER, J. F.. **Metallurgy of Welding**. 3. ed. Londres: Allen & Unwin, 1980. 254 p.

LEE, Jang Hyun et al. Springback adjustment for multi-point forming of thick plates in shipbuilding. **Computer-aided Design**. Inchon, p. 1001-1012. nov. 2010.

LIMA, Erasmo G.. CORTE A PLASMA. **Revista da Soldagem: Ensino ABC-ABS**, v. , n. 9, p.18-26, fev. 2009. Trimestralmente.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **SOLDAGEM: FUNDAMENTOS E TECNOLOGIA**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

MICKEVICIENE, Rima. Global shipbuilding competition: trends and challenges for Europe. **INTECH**. World's largest Science, Technology e Medicine open access book publisher. Cap. 11. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/the-economic-geography-of-globalization/global-shipbuilding-competition-trends-and-challenges-for-europe>>. Acesso em: 10 set. 2017.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V.; SANTOS, Dagoberto B.. **Introdução à Metalurgia da Soldagem Paulo J**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais,

2012. Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

Naval Surface Warfare Center. **Plasma Processes of Cutting and Welding**. Bethesda, 1976.

OLIVEIRA, Vagner Andrade de. **PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE UM ESTALEIRO NÁUTICO**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <[http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/332/3/CT\\_PPGEM\\_M\\_Oliveira,VagnerAndrade\\_de\\_2011.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/332/3/CT_PPGEM_M_Oliveira,VagnerAndrade_de_2011.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2017.

PEMAMEK. **HIGHLY ADVANCED PEMA PANEL LINE BRINGS SAFETY AND PRECISE QUALITY TO IRVING'S SHIPYARD**. Disponível em: <<https://pemamek.com/case/highly-advanced-pema-panel-line-brings-safety-and-precise-quality-to-irvings-shipyard/>>. Acesso em: 25 out. 2018.

PETROIANU, Larissa Prates Guimarães. **ANÁLISE DE MELHORIAS EM UM ESTALEIRO TÍPICO BRASILEIRO ATRAVÉS DE PRINCÍPIOS DO LEAN PRODUCTION**. 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[http://labsen.oceanica.ufrj.br/arq\\_publicacoes/anlise-de-melhorias-em-um-estaleiro-tpico-brasileiro-atravs-de-principios-do-lean-production.pdf](http://labsen.oceanica.ufrj.br/arq_publicacoes/anlise-de-melhorias-em-um-estaleiro-tpico-brasileiro-atravs-de-principios-do-lean-production.pdf)>. Acesso em: 25 out. 2017.

PIMENTA, Salvador Walter. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS PROCESSOS DE CORTE PLASMA E JATO DE ÁGUA PARA CHAPA DE AÇO INOXIDÁVEL DE 1" UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO DE MÁQUINAS ESPECIAIS**. 2013. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Soldagem, Escola de Engenharia de Mauá, São Caetano do Sul, 2013. Disponível em: <<http://maua.br/files/monografias/completo-estudo-comparativo-entre-processos-corte-plasma-jato-agua-182337.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

SAMAD, Muhammad Abdus; HOSSAIN, Muhammed Rifat; ASRAFUZZAMAN, Md.. Analysis of Performance by Overall Equipment Effectiveness of the CNC Cutting Section of a Shipyard. **Arpn Journal Of Science And Technology**. Bangladesh, p. 1091-1096. dez. 2012.

SOUZA, Cassiano Marins de. **TÉCNICAS AVANÇADAS EM PLANEJAMENTO E CONTROLE DA CONSTRUÇÃO NAVAL**. 2009. 303 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[http://labsen.oceanica.ufrj.br/arq\\_publicacoes/tnicas-avanadas-em-planejamento-e-controle-da-construo-naval.pdf](http://labsen.oceanica.ufrj.br/arq_publicacoes/tnicas-avanadas-em-planejamento-e-controle-da-construo-naval.pdf)>. Acesso em: 09 out. 2017.

STUURMAN, Arie. The building of a sea-ship. In: VAN DOKKUM, Klaas. **Ship Knowledge: A Modern Encyclopedia**. Enkhuizen: Dokmar, 2003. Cap. 4. p. 68-81.

TANGO, Yoshihiko; MORINOBU, Ishiyama; SUZUKI, Hiroyuki. "IHIMU- a" A Fully Automated Steel Plate Bending System for Shipbuilding. **Ihi Engineering Review**. Tokyo, p. 6-11. out. 2011. Disponível em: <[https://www.ihico.jp/var/ezwebin\\_site/storage/original/application/554c09e1ee5ac7c9eaf1b904d4e8d83d.pdf](https://www.ihico.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/554c09e1ee5ac7c9eaf1b904d4e8d83d.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2018.



VICTOR. **Welding, Cutting, and Heating Guide: Set-up and Safe Operating Procedures.** Denton: Thermadyne Industries, 2009. Disponível em: <<https://www.esabna.com/shared/documents/litdownloads/56-3260.pdf>>. Acesso em: 11 set.

WEI, Yan. **Automatic Generation of Assembly Sequence for the Planning of Outfitting Processes in Shipbuilding.**2012. 207 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mechanical, Maritime And Materials Engineering, Wuhan University Of Technology, Xiangyang, 2012. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A44bd6b59-c42b-44e4-a509-ba0538b5d596>>. Acesso em: 25 set. 2018.

WATSON, D.G.M. **Practical ship design.** Oxford: Elsevier Science Ltd, 1998. 531 p.