

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE

CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

TIAGO ELIEZER DE OLIVEIRA

**A INFLUÊNCIA DA PRODUTIVIDADE E DO PREÇO DO AÇO NO CUSTO DE
CONSTRUÇÃO DE NAVIOS MERCANTES DE GRANDE PORTE**

Joinville

2021

TIAGO ELIEZER DE OLIVEIRA

**A INFLUÊNCIA DA PRODUTIVIDADE E DO PREÇO DO AÇO NO CUSTO DE
CONSTRUÇÃO DE NAVIOS MERCANTES DE GRANDE PORTE**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no curso de graduação em Engenharia Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Pontin Tancredi

Joinville

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Oliveira, Tiago Eliezer de

A influência da produtividade e do preço do aço no custo de construção de navios mercantes de grande porte / Tiago Eliezer de Oliveira ; orientador, Thiago Pontin Tancredi , 2021.
57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville,
Graduação em Engenharia Naval, Joinville, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Naval. 2. Produtividade. 3. Construção Naval. 4. Estimativa de custos. I. , Thiago Pontin Tancredi. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Naval. III. Título.

Tiago Eliezer de Oliveira

A influência da produtividade e do preço do aço no custo de construção de navios mercantes de grande porte

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Naval

Joinville, 07 de Maio de 2021.

Prof. Viviane Lilian Soethe, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Thiago Pontin Tancredi, Dr.
Orientador
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcos Mendes de Oliveira Pinto, Dr.
Avaliador
Instituição Universidade de São Paulo

Prof. Ricardo Aurélio Quinhoes Pinto, Dr.
Avaliador
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

A elaboração do trabalho de conclusão de curso é naturalmente um momento de necessária introspecção. Por sorte, não estive sozinho, pude ter ao meu lado minha parceira de manhãs, tardes e noites de estudo. Dedico este trabalho à minha gatinha Mulan pela companhia durante esse período.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo o carinho durante essa jornada, sem esse apoio, nada disso seria possível. A minha mãe Miria e meu pai Eliezer pelo exemplo de amor, união e por estarem sempre disponíveis quando mais precisei. Também agradeço a minha irmã Taisa, pela companhia e apoio.

Agradeço aos colegas do R&D Cooling Solutions pelo suporte durante este período, ao time de projetos que faço parte: Rafael Monteiro e Rafael Barbosa por todos os conselhos e pela compreensão nos momentos que precisei me ausentar. Em especial, agradeço ao meu chefe Gustavo Moreira, pelo incentivo e pela oportunidade de dedicar o tempo necessário para a conclusão dessa etapa.

Agradeço também a minha namorada, Fabiana Rafaela, por ser minha melhor amiga, minha companheira em todos os momentos e principalmente por acreditar que eu conseguiria quando eu já não acreditava.

Gostaria de agradecer aos meus amigos, que souberam entender quando precisei me distanciar e mesmo assim sempre forneceram apoio. Em especial ao Paulo Hornburg, pela parceria durante todos esses anos.

Por fim, agradeço ao professor Thiago Pontin Tancredi, por sua orientação, dedicação e pelos conselhos que foram fundamentais para o resultado deste trabalho. Gostaria de dizer também que é por causa de professores como ele que todo o esforço vale a pena, foi uma honra ter sido seu orientando neste trabalho.

RESUMO

A indústria da construção naval é caracterizada pela competitividade, exigindo que estaleiros busquem constantes melhorias de produtividade para manterem-se competitivos ou alcancem uma maior participação no setor. É nesse cenário que este trabalho apresenta uma análise do impacto que a produtividade e o preço do aço exercem no custo de construção de navios mercantes de grande porte. Através de extensa revisão bibliográfica, foram obtidos dados históricos do custo de aço e informações relacionadas a índices de produtividade, tanto no contexto nacional, quanto de alguns dos principais construtores navais do mundo: China, Coreia do Sul e Japão. A fim de melhor compreender a realidade da indústria naval brasileira, avaliou-se a influência do câmbio na competitividade internacional e no planejamento de longo prazo de estaleiros nacionais. Através de um estudo de caso, discutiu-se a composição de custos da construção naval, bem como os impactos da curva de aprendizado e do nível tecnológico do estaleiro nesses custos. Os resultados comprovam que as oscilações no preço do aço, na produtividade e no câmbio têm grande impacto no custo final de um navio, tornando a tarefa de precificação, planejamento e controle financeiro; um grande desafio de gestão, principalmente considerando o longo ciclo de produção e a demanda cíclica característica desse setor da indústria. Esse desafio é ainda maior para os estaleiros brasileiros, dado que a variação cambial amplifica consideravelmente a já oscilante variação de custos inerente à construção naval.

Palavras-chaves: Construção Naval. Estaleiro. Estimativa de custos. Preço do Aço. Produtividade.

ABSTRACT

The shipbuilding industry is characterized by competitiveness, demanding shipyards to constantly seek productivity improvements to remain competitive or accomplish a higher participation in the sector. It is in this scenario this work come up with an analysis of the impact that productivity and the price of steel have on the cost of building large merchant ships. Through an extensive bibliographic review, historical data on the cost of steel and information related to productivity indexes were obtained, both in the national context and in some of the main shipbuilders in the world: China, South Korea and Japan. To understand the reality of the Brazilian shipbuilding industry, the influence of the exchange rate on international competitiveness and on the long-term planning of national shipyards was evaluated. Through a case study, the composition of shipbuilding costs was discussed, as well as the impacts of the learning curve and the technological level of the shipyard on these costs. The results prove that variation in steel prices, productivity and exchange rates have a major impact on the final cost of a ship, making the task of pricing, planning and financial control a major challenge for the management of the shipyard, especially considering the long cycle production and cyclical demand characteristic of this industry sector. This problem is even more serious for Brazilian shipyards, given that the exchange variation considerably amplifies the already oscillating costs inherent to shipbuilding.

Keywords: Shipbuilding. Shipyards. Cost Estimating. Steel Price. Productivity.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – Fluxograma, técnicas e ferramentas de trabalho.....	13
Figura 2 - Evolução e definição de custos durante o projeto.....	14
Figura 3 - Histórico e previsão do consumo de aço no mercado mundial.....	18
Figura 4 - Custo de mão de obra (USD/HH) em estaleiros de diferentes países em 2008 ...	20
Figura 5 - Classificação dos níveis tecnológicos de estaleiros.....	21
Figura 6 - Evolução do custo da mão de obra e da produtividade no Brasil.....	26
Figura 7 - Exemplo de curva de aprendizado na construção naval.....	29
Figura 8 - Distribuição de produtividade dos estaleiros por região do Brasil.....	32
Figura 9 - Distribuição de produtividade (HH/t) por tipo de embarcação.....	32
Figura 10 – Estimativas referentes ao preço de aquisição de novos petroleiros.....	35
Figura 11 - Variação do custo do aço ao longo dos anos.....	37
Figura 12 - Estimativa de custo de aço na construção de um navio Suezmax.....	37
Figura 13 – Influência do câmbio e variação no ULC em estaleiros nacionais.....	40
Figura 14 – Custo de mão de obra na construção de um navio petroleiro Suezmax.....	40
Figura 15 - Estimativa de efeito da curva de aprendizagem.....	42
Figura 16 - Estimativa de custo de mão de obra com curva de aprendizado de 85%.....	43
Tabela 1 - Despesa e impacto das fases de projeto no custo de construção.....	14
Tabela 2 - Estrutura de custo de embarcações na China, Coreia e Japão (%).....	15
Tabela 3 – Componentes de custo propostas por diferentes autores.....	16
Tabela 4 – Modelos empíricos para a estimativa do custo de construção de um navio.....	16
Tabela 5 – Detalhamento do modelo empírico Benford (1966).....	17
Tabela 6 - Mão de obra necessária para a construção de um navio Suezmax.....	19
Tabela 7 - Detalhamento dos níveis tecnológicos de estaleiros.....	22
Tabela 8 – Possíveis parâmetros para medir a produção anual de um estaleiro.....	23
Tabela 9 - Impacto dos parâmetros na produtividade.....	28
Tabela 10 - Variação do tempo e do custo de produção com o aprendizado.....	30
Tabela 11 - Média e quantidade de embarcações para as classificações.....	32
Tabela 12 - Características de um navio petroleiro Suezmax típico.....	34
Tabela 13 - Estimativas de peso para o navio petroleiro Suezmax.....	35
Tabela 14 - Estimativas de custo para o navio petroleiro Suezmax.....	35
Tabela 15 - Participação do custo do aço no preço de um navio petroleiro Suezmax.....	38
Tabela 16 - Produtividade para igualar os custos de mão de obra de Brasil e Coreia.....	39
Tabela 17 - Valores de ULC (USD/CGT) para as propostas de produtividade.....	41
Tabela 18 - Estimativa de custo de mão de obra para os diferentes cenários.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Geral.....	12
1.1.2 Específicos	12
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 ESTRUTURA DE CUSTOS.....	14
2.2 MODELOS EMPÍRICOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DE CUSTOS	15
2.3 CUSTO DO AÇO.....	17
2.4 CUSTO DE MÃO DE OBRA.....	19
2.5 FATORES COM IMPACTO NO CUSTO DE CONSTRUÇÃO	21
2.5.1 Nível tecnológico do estaleiro	21
2.5.2 Produtividade.....	22
2.5.3 Erros nos identificadores de produtividade observados na revisão bibliográfica ..	27
2.5.4 Curva de aprendizado.....	27
3. DESENVOLVIMENTO	34
3.1 NAVIO ANALISADO.....	34
3.2 ESTIMATIVA DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO	34
3.3 ANÁLISE DE IMPACTO DOS FATORES.....	36
3.3.1 Impacto do preço do aço.....	36
3.3.2 Impacto da produtividade.....	39
3.3.3 Curva de aprendizado.....	42
5. CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS	46
ANEXO A.....	53
ANEXO B.....	54

1. INTRODUÇÃO

A construção de navios pode ser considerada uma atividade de alta complexidade, pois mesmo os navios mais simples, apresentam inúmeros desafios, nas mais diversas áreas do conhecimento. Tradicionalmente, a construção de uma embarcação é dividida em painéis e blocos, o que permite uma maior padronização, além de um maior controle e uma maior qualidade dos processos de fabricação¹. Se por um lado essa divisão aumenta a produtividade e reduz o tempo de edificação na carreira/dique, por outro, aumenta a dificuldade de gerenciamento das operações (SOUZA, 2009).

É importante observar que a construção naval é uma indústria global que se caracteriza por produzir bens de capital de alto valor agregado, fabricados individualmente e que possuem longos ciclos de produção e de uso.

A produção sob encomenda visa atender uma necessidade específica de um dado cliente. Dessa forma, na maioria das vezes tem-se uma embarcação diferente daquela produzida anteriormente e inexistente estoque (IPEA, 2014).

Assim, os estaleiros, sejam eles focados em reparos ou em novas construções, lidam com demandas cujas especificações variam a cada novo projeto. Essa variabilidade implica em uma alta dificuldade para precificar contratos. Considerando as baixas margens de lucro e o pouco tempo disponível para elaborar propostas, a definição do preço de um novo trabalho pode resultar em significativos prejuízos às empresas.

Se por um lado, orçamentos elevados, invariavelmente, afastam potenciais clientes, orçamentos deficitários geram prejuízo financeiro ao final do trabalho. Ambas as hipóteses são prejudiciais às empresas que, ou permanecem ociosas, ou trabalham com prejuízo. Nesse cenário, a existência de um meio rápido e preciso para estimar os custos de construção de um navio, é um recurso vital para a operação de estaleiros navais (LAMB, 2004).

De acordo com Queiroz et al (2015), a indústria de construção naval (ICN) tem grande potencial para ampliar o desenvolvimento socioeconômico de um país, como grande geradora de empregos, catalisando outros setores da indústria e fomentando a atividade de diversas empresas prestadoras de serviço.

¹ Destaca-se o processo de soldagem, que ao ser realizado em ambiente controlado, oferece maior eficiência e qualidade.

Segundo Mickeviciene (2011), a produtividade é fator determinante para a competitividade dos estaleiros, sendo influenciada pela tecnologia, competência de gestão, organização do trabalho, nível de habilidade dos trabalhadores e motivação. Sendo que, entre esses fatores, o nível de tecnologia é um dos mais impactantes no custo, especialmente para as grandes empresas.

De acordo com Jiang e Strandenes (2011), com o aumento da globalização econômica, as indústrias que não conseguem acompanhar a dinâmica do mercado nacional e internacional, acabam perdendo competitividade e, conseqüentemente, se retiram do mercado.

Assim, são muitas as variáveis que podem dificultar uma estimativa de custos. Alguns parâmetros são simples de serem conhecidos, já outros estão atrelados a fatores de difícil previsibilidade. Por fim, destaca-se que a coleta de dados sobre produtividade é tarefa difícil e com pouca informação pública (JIANG e STRANDENES 2011).

Nesse contexto, este trabalho discute a estrutura de custos de uma embarcação e alguns dos fatores que influenciam, em especial, o custo de construção de um navio. Em virtude da dificuldade óbvia em se obter tais dados, são utilizados dados da literatura sobre a produtividade e os efeitos da curva de aprendizado, além de dados econômicos relacionados ao custo do aço.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise dos principais fatores que impactam no custo de construção de navios, descrevendo e quantificando o potencial de cada fator na estrutura de custos de uma embarcação.

1.1.2 Específicos

Para viabilizar a realização do objetivo geral, propõem-se:

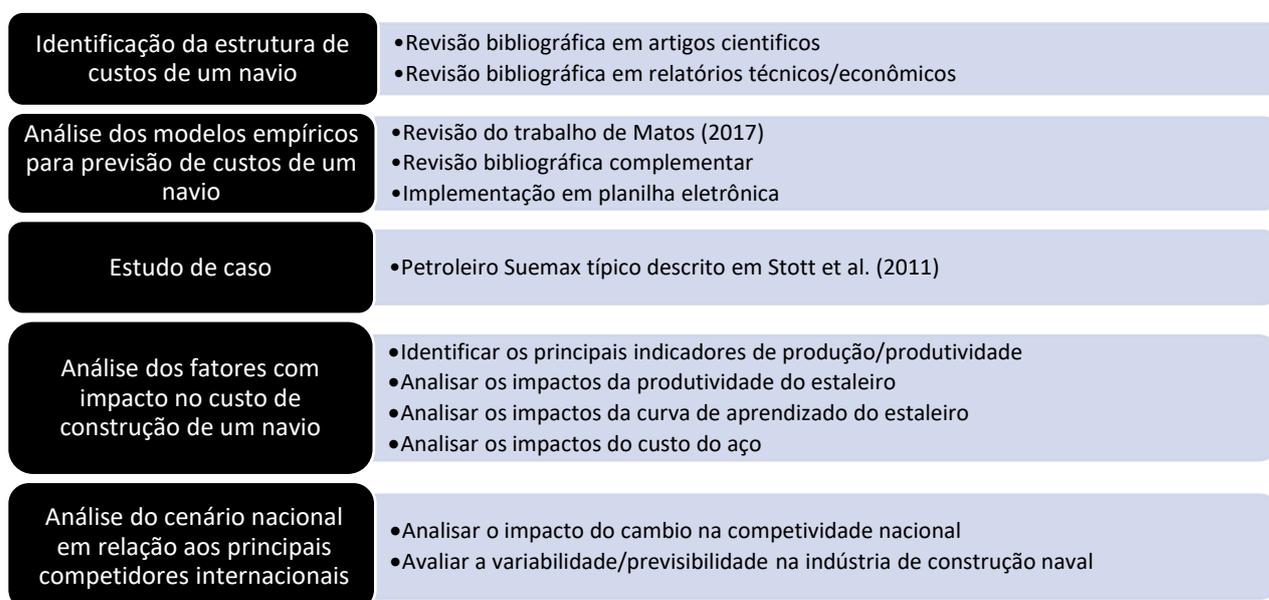
- Identificar e caracterizar os fatores com interferência no custo de construção de navios;
- Identificar e caracterizar os indicadores de produtividade utilizados na indústria naval;
- Analisar os dados presentes na literatura sobre produtividade em estaleiros navais;
- Analisar os modelos empíricos disponíveis na literatura para a estimativa do custo de construção de navios;

- Comparar o custo e a produtividade da indústria naval brasileira com possíveis concorrentes internacionais;
- Analisar os impactos da produtividade do estaleiro no custo de construção de navios;
- Analisar os impactos da curva de aprendizado no custo de construção de navios;
- Analisar os impactos do custo do aço no custo de construção de navios.

1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Em se tratando de um trabalho eminentemente de revisão bibliográfica e análise de dados, apresenta-se na Figura 1 o fluxograma da pesquisa, bem como as técnicas e ferramentas utilizadas.

Figura 1 – Fluxograma, técnicas e ferramentas de trabalho



Fonte: O autor (2021).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura desta dissertação pode ser dividida em dois capítulos:

- Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: apresenta uma revisão bibliográfica atualizada e os conceitos teóricos necessários para a compreensão do desenvolvimento realizado;
- Capítulo 3 – Desenvolvimento: por meio de um estudo de caso, apresenta uma discussão sobre o impacto da produtividade dos estaleiros, da curva de aprendizado e do custo do aço, no custo de construção de embarcações.

Por fim, resumo, introdução e conclusão completam o texto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESTRUTURA DE CUSTOS

Durante o projeto de um navio, engenheiros e estaleiros realizam diversas tomadas de decisão, nas quais, muitas vezes, é preciso priorizar uma dada característica da embarcação em detrimento de outra.

Segundo Michalski (2004), as etapas iniciais de projeto têm significativo impacto na tecnologia de produção, nos materiais, nos tipos de equipamentos e nos parâmetros de produção. No entanto, embora o projeto represente cerca de 10% do custo total do navio, essa fase determina 85% dos custos de construção da embarcação (Tabela 1).

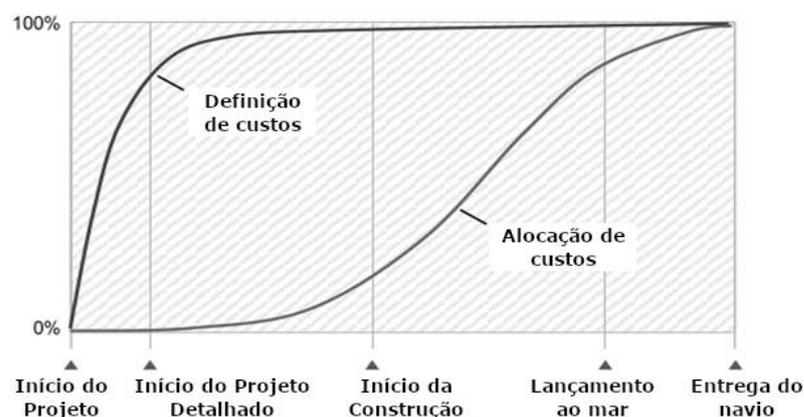
Tabela 1 - Despesa e impacto das fases de projeto no custo de construção

Etapa de Construção	Custo da Etapa	Impacto no custo total de construção
Fase preliminar	3%	60%
Outras etapas	7%	25%
Construção do navio	90%	15%

Fonte: Michalski (2004).

De acordo com Roy (2003), uma decisão errada nas fases iniciais de um projeto implica em um aumento significativo no custo de desenvolvimento, pois modificações no produto e alterações no processo tornam-se mais caras a cada nova fase do projeto (Figura 2). Com isso, conhecer os custos de produção, visando um orçamento assertivo ainda nas fases iniciais do projeto, é um recurso importante para contribuir com a competitividade de estaleiros na concretização dos requisitos do cliente.

Figura 2 - Evolução e definição de custos durante o projeto



Fonte: Traduzido de Fischer e Holbach (2010).

De acordo com Dores et al (2012), a competência em gestão e montagem é outro fator associado a ganhos de produtividade e à redução de custos, uma vez que impacta no planejamento/programação da produção e na utilização de sistemas de informação.

Em seu clássico estudo, Jiang e Strandenes (2011) mostram estimativas da participação do custo da mão de obra, dos equipamentos e do aço, quando uma embarcação é construída na China, na Coreia do Sul ou no Japão. Nesse mesmo sentido, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) coletou informações de diversas fontes sobre a divisão de custos na construção naval nacional e internacional, identificando os valores máximos, mínimos e médios estimados por diversos autores. Por fim, ABIMAQ (2011) relata que, no Brasil, o custo de mão de obra pode chegar à 40% do custo de construção de um navio. Os dados desses estudos são sintetizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Estrutura de custo de embarcações na China, Coreia e Japão (%)

	China *	Coreia do Sul *	Japão *	Média Brasil **	Média Mundo ***
Mão de obra	10	19	22	40	37
Aço	30	27	26	30	28
Equipamentos	60	54	52	30	40

*** A média IPEA inclui dados da construção naval nacional e internacional

Fontes: * Jiang e Strandenes (2011), ** ABIMAQ (2011) e *** IPEA (2014).

2.2 MODELOS EMPÍRICOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DE CUSTOS

Uma estimativa de custo eficaz pode ser especialmente difícil nas fases iniciais de um projeto, onde apenas uma pequena parte das informações está disponível. Em muitos casos, os contratos são assinados antes mesmo que o projeto detalhado esteja concluído, podendo levar a uma estimativa de custos com baixo grau de precisão (SHETELIG, 2013).

Sendo o processo de estimativa de custos uma atividade complexa, usualmente recorre-se a experiências anteriores de pessoas ou empresas, adaptando-as para eventuais diferenças na estrutura do estaleiro. Como explica Matos (2017) apud Stonecypher (2009), embora possa parecer um método pouco racional, essa estratégia é bastante assertiva para embarcações cujo histórico de construção é conhecido e documentado pelo estaleiro.

Mas, pensando no caso de novos projetos, diversos autores propõem modelos empíricos para estimar o custo de construção de um navio, os quais utilizam diferentes estruturas de custo, cujas parcelas mais usuais são enumeradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Componentes de custo propostas por diferentes autores

Descrição	Símbolo
Custo total	C_t
Custo de aquisição do aço	C_s
Custo de aço processado (insumo + mão de obra)	C_{st}
Custo de engenharia do casco	C_e
Custo da instalação propulsora	C_m
Custo da instalação propulsora instalada	C_{ms}
Custo de equipamentos e <i>outfitting</i>	C_o
Custo de equipamentos e <i>outfitting</i> instalados	C_{os}
Custo total de materiais e insumos	C_{mat}
Custo de mão de obra para processar o aço	L_s
Custo de mão de obra para a engenharia do casco	L_e
Custo de mão de obra para equipamentos e <i>outfitting</i>	L_o
Custo de mão de obra referente a instalação propulsora	L_m
Custo total de mão de obra	L_t

Fonte: O autor (2021).

Segundo Benford (1966), o custo de engenharia refere-se aos sistemas não relacionados com a propulsão (maquinário do leme, geradores, bombas, sistema de ventilação e refrigeração) enquanto o custo de equipamentos e *outfitting* inclui outras categorias, tais como: tubulações, elétricos, decoração, equipamentos de combate a incêndio, dutos de ventilação e ar-condicionado, ancoras etc. Atualmente, muitos autores não fazem distinção entre essas parcelas e, por isso, os modelos mais atuais fazem referência apenas ao custo de equipamentos e *outfitting*.

Dentre os modelos empíricos destinados a estimativa do custo de construção de um navio, destacam-se aqueles enumerados na Tabela 4. É importante observar que, embora cada modelo possua características próprias e diferentes estruturas de custos, todos fazem uso de coeficientes empíricos destinados a considerar tanto o custo de mão de obra, quanto o custo dos insumos. É justamente a validade e precisão de tais coeficientes que o presente trabalho tenta avaliar.

Tabela 4 – Modelos empíricos para a estimativa do custo de construção de um navio

Modelo Proposto	Fonte
$C_t = C_s + C_o + C_e + C_m + L_s + L_o + L_e + L_m$	Benford (1966)
$C_t = L_t + C_{mat}$	Carreyette (1977)
$C_t = C_{st} + C_{os} + C_{ms}$	Papanikolaou (2014)

Fonte: O autor (2021).

Considerando as possibilidades disponíveis na literatura, optou-se por utilizar o método proposto por Benford (1966), o qual é detalhado na Tabela 5. Embora esse seja um dos modelos

mais antigos, sua escolha deve-se a separação da estimativa de custo em parcelas que vão de acordo com a proposição deste trabalho. Ou seja, é possível obter estimativas de custos divididas em: custo de aço, custo de engenharia do casco, custo de equipamentos e *outfitting*, custo da instalação propulsora e custo de mão de obra.

Tabela 5 – Detalhamento do modelo empírico Benford (1966)

Descrição	Símbolo	Equação
Custo total de construção do navio	C_t	$C_t = C_s + C_o + C_e + C_m + C_{mdo}$
Custo de equipamentos e <i>outfitting</i>	C_o	$C_o = 1080 * W_o$
Custo da instalação propulsora **	C_m	$C_m = 14500 * W_m$
Custo de engenharia do casco	C_e	$C_e = 2970 * W_e$
Custo de aquisição do aço	C_s	$C_s = 242 * W_s$
Custo de mão de obra	C_{mdo}	$C_{mdo} = L_s + L_o + L_e + L_m$
Custo de mão de obra com aço **	L_s	$L_s = 2,25 * C_s$
Custo de mão de obra com engenharia do casco **	L_e	$L_e = 0,65 * C_e$
Custo de mão de obra com <i>outfitting</i> **	L_o	$L_o = 0,75 * C_o$
Custo de mão de obra referente a instalação propulsora **	L_m	$L_m = 0,25 * C_m$
Peso da instalação propulsora em toneladas longas *	W_m ***	$W_m = 215 \left(\frac{BHP}{1000}\right)^{0,72}$
Peso de <i>outfitting</i> em toneladas longas *	W_o ***	$W_o = 2412 * CNX^{0,825}$
Peso de engenharia do casco em toneladas longas *	W_e ***	$W_e = 1196 * CNX^{0,825}$
Peso de aço em toneladas longas *	W_s ***	$W_s = 8550 * CNX^{0,9} * C_1 * C_2 * C_3$
Número Cúbico [m ³]	CNX	$CNX = \frac{CN}{1000}$
Coefficiente C ₁	C_1	$C_1 = 0,675 + \frac{Cb}{2}$
Coefficiente C ₂	C_2	$C_2 = 1 + 0,36 * \frac{Le}{L}$
Coefficiente C ₃	C_3	$C_3 = 0,006 * \left(\frac{L}{D} - 8,3\right)^{1,8} + 0,939$
Potência do motor principal	BHP	-
Comprimento do navio [m]	L	-
Pontal do navio [m]	D	-
Comprimento da superestrutura [m]	Le	-
Coefficiente de bloco	Cb	-

* Uma tonelada longa equivale a 1,016 toneladas métricas

** Equações extraídas diretamente de Bastos (2017)

*** Equações extraídas de Benford (1976)

Fonte: O autor (2021).

2.3 CUSTO DO AÇO

Em razão do volume utilizado, o custo do aço é fator crítico no custo de um navio. As variações nesse setor são determinantes para a indústria naval, pois o preço dessa commodities é responsável por uma parcela significativa dos custos de uma embarcação (ECORYS, 2009).

A Transpetro estima que cerca de 30% do custo total de construção de um navio depende diretamente do custo do aço. Trata-se, portanto, de um item fundamental na cadeia produtiva

da indústria naval (FATOR BRASIL, 2009). Ainda segundo Ecorys (2009), em se tratando de commodities, três aspectos precisam ser monitorados:

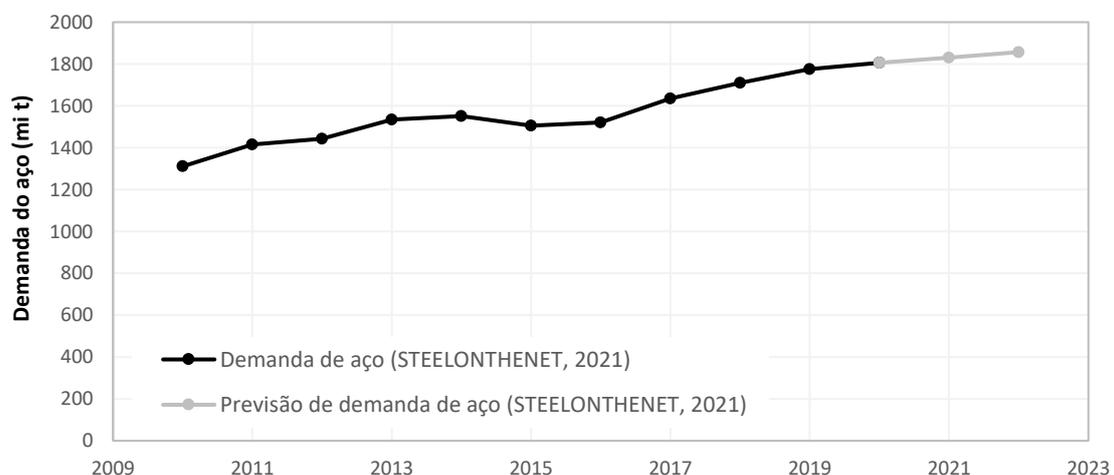
- Fornecimento de aço
- Demanda de aço
- Evolução de preço do aço

Assim, é preciso considerar que três forças impactam nesse custo, pois, em razão da escala da demanda, a oferta de certos tipos de aço (sobretudo chapas grossas e bobinas) é atendida por um número limitado de fornecedores.

Primeiramente, o preço do aço é afetado por fortes pressões advindas do crescimento no comércio internacional. Adicionalmente, movimentos cíclicos nas encomendas de segmentos intensivos no consumo desse insumo (sobretudo indústria de construção civil, indústria mecânica, indústria de transportes e indústria de construção naval) regulam a demanda mundial. Por fim, o preço do minério de ferro no mercado internacional pressiona o custo de fabricação das chapas de aço. Em conjunto, essas forças interagem, influenciando os preços dos diversos tipos de aço empregados na indústria de construção naval (IPEA, 2014).

De acordo com Matos (2017), diversos fatores podem influenciar esse preço, incluindo desastres naturais, guerras, valor do dólar e o cenário global da economia. Mas é justamente uma das regras econômicas básicas (oferta e demanda) que representa o fator mais importante dessa dinâmica. Segundo Steelonthenet (2021), a despeito de qualquer crise, observou-se um aumento na demanda mundial por aço nos últimos anos (Figura 3).

Figura 3 - Histórico e previsão do consumo de aço no mercado mundial



Fonte: O autor (2021).

Ainda sobre a oferta e demanda de aço, IPEA (2014) apud De Paula (2007) aponta dois aspectos que dificultam a interação entre a ICN e a indústria siderúrgica: o volume demandado e as especificações rígidas para os produtos. Sobre isso IPEA (2014) cita Favarin et al (2010): “a construção naval de grande porte enseja um grande número de especificações para o aço que utiliza, o que limita a apropriação de economias de escala no atendimento das encomendas realizadas pelos estaleiros e dificulta a programação da siderúrgica”.

2.4 CUSTO DE MÃO DE OBRA

Segundo Dores et al. (2012), no Brasil, o custo de mão de obra representa de 15% a 20% dos custos totais de construção de navios e varia em função da posição do estaleiro na curva de aprendizado e do nível tecnológico do estaleiro.

De acordo com Baitello (2012), a ICN é uma atividade intensiva no uso de mão de obra, exigindo profissionais de diferentes especialidades (soldador de estruturas, soldador de tubulação, montador, pintor, mecânico, eletricista etc.). O resultado é uma grande demanda por mão de obra qualificada, que, em muitos casos, não está disponível nas regiões onde os estaleiros são instalados.

Na Tabela 6, Stupello et al. (2008) detalham a composição do uso da mão de obra em homem-hora (HH) referente à construção de um navio petroleiro Suezmax de 350 metros. Ainda sobre a construção de navios petroleiros, Stupello et al. (2008) estimam que as atividades ligadas a estrutura, tubulações e pintura correspondem a cerca de 80% do HH exigido na construção.

Tabela 6 - Mão de obra necessária para a construção de um navio Suezmax

Dimensão	Valor	Atividade	Qtd. Horas	% Total
Comprimento total	350 m	Estrutura	1215000	49%
Comprimento de linha d'água	250,7 m	Tubulação	500000	20%
Boca	48,3 m	Pintura	240000	10%
Pontal	25,2 m	Acessórios	170000	7%
Calado	16,8 m	Máquinas	125000	5%
Deslocamento (DWT)	132000 t	Apoio	115000	5%
		Elétrica e instrumentação	105000	4%
		Acabamento	31000	1%
		Total	2500000	100%

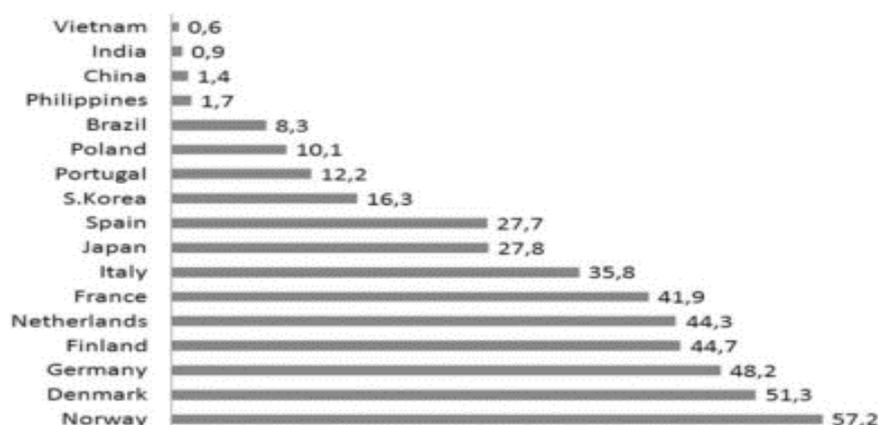
Fonte: Adaptado de Stupello et al (2008).

Analisando os dados da Tabela 3, IPEA (2014) conclui que a promoção de mecanismos que aumentem a eficiência das atividades ligadas a estrutura, tubulações e pintura pode

contribuir significativamente com a redução do custo total de mão de obra associado a construção de uma embarcação.

Em relação ao cenário internacional, Mickeviciene (2011) mostra que o custo de mão de obra no Brasil é inferior ao coreano, japonês e europeu, porém superior ao chinês (Figura 4). Como será visto no próximo capítulo, o custo de mão de obra brasileiro (USD/HH) permite que os estaleiros nacionais trabalhem com um nível tecnológico intermediário, de forma que o custo total de mão de obra (USD/CGT) seja equivalente ao dos principais concorrentes mundiais.

Figura 4 - Custo de mão de obra (USD/HH) em estaleiros de diferentes países em 2008



Fonte: Mickeviciene (2011).

Confirmando o estudo de Mickeviciene (2011), Favarin (2011) indica que o custo da mão de obra da indústria de construção naval brasileira varia de 8 a 10 USD/HH, enquanto na Coreia do Sul esse valor fica entre 13 e 17 USD/HH. Ainda segundo o autor, o setor naval é tradicionalmente intensivo em trabalho e os custos de mão de obra respondem por uma parcela expressiva do custo total de construção.

No entanto, como alerta Jiang e Strandenes (2011), para definir os custos de mão de obra, é importante considerar a produtividade do trabalho e não apenas o valor do salário. Segundo IPEA (2014), os estaleiros procuram aumentar sua eficiência e reduzir a quantidade de HH requerida na construção. Dessa forma, os incrementos nos níveis de produtividade são vitais para melhorar a competitividade, pois têm impacto direto nas despesas com mão de obra.

2.5 FATORES COM IMPACTO NO CUSTO DE CONSTRUÇÃO

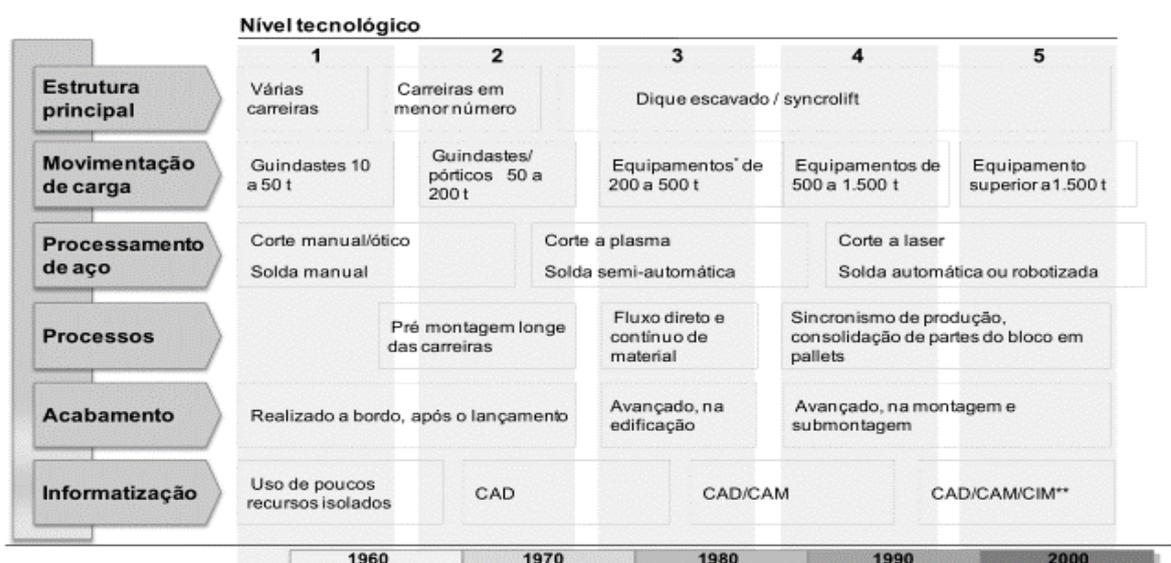
2.5.1 Nível tecnológico do estaleiro

Embora possam ser notadas melhorias pontuais no projeto de grandes embarcações, tais melhorias são marginais quando comparadas, por exemplo, aos avanços apresentados pela indústria automotiva a cada ano. Por isso, Dores et al (2012) afirmam que a indústria naval é caracterizada por um lento processo de inovação de produtos, sendo mais propensa a inovações nos processos.

Observa-se que a evolução dos processos produtivos nos estaleiros resulta, principalmente, da introdução de sistemas de gestão, da automação industrial, da utilização de equipamentos de movimentação de carga e da redução do tempo de fabricação. A depender do grau de evolução desses processos, os estaleiros podem ser classificados em diferentes níveis tecnológicos (FAVARIN, 2011).

Essa forma de classificação surgiu como uma padronização proposta por FMI (2005) a partir de estudos de competitividade feitos com dados referentes à diversos estaleiros no mundo. Na Figura 5, Favarin (2011) sintetiza os aspectos mais importantes que definem o nível tecnológico de um estaleiro. No entanto, existem diferentes propostas que diferem em um ou outro aspecto dessa classificação. Observa-se no Anexo D, que, por exemplo, a classificação proposta por CEGN (2007) guarda grande consistência com a proposta de Favarin (2011).

Figura 5 - Classificação dos níveis tecnológicos de estaleiros



Fonte: Favarin (2011) apud FMI (2007).

Tradicionalmente são definidos cinco níveis de desenvolvimento tecnológico (ou gerações) nas quais um estaleiro pode ser classificado. De acordo com Dória (2017), os cinco níveis podem ser detalhados segundo as características mostradas na Tabela 7.

Tabela 7 - Detalhamento dos níveis tecnológicos de estaleiros

Nível	Detalhamento
1	Remonta à estaleiros do início da década de 60, os quais utilizavam várias carreiras simultaneamente, guindastes de baixa capacidade e um baixo nível de mecanização. Nesses casos o acabamento (<i>outfitting</i>) era realizado a bordo, após o lançamento. Os sistemas operacionais eram simples e implementados manualmente.
2	Costuma ser associado a tecnologia empregada no final da década de 60 e início da 70, sendo caracterizado pela existência de menos carreiras ou diques, guindastes de maior capacidade e um maior nível de mecanização. É nessa geração que é introduzida a construção por blocos, com oficinas de pré-montagem afastadas das carreiras.
3	Surgido em estaleiros da década de 80, são introduzidos os sistemas de informação que permitem maior controle gerencial (recursos, processos, projetos e finanças); além do conceito de acabamento avançado dos blocos. Nessa geração os estaleiros possuem tipicamente um único dique, ou área de edificação, com guindastes de alta capacidade, alto grau de mecanização na montagem de blocos, fabricação de blocos de até 500 t, redução do tempo e dos locais de edificação; além de possuírem um extensivo uso de computadores em todas as áreas, embora ainda com sistemas não integrados. Por fim, esses estaleiros introduziram tecnologias avançadas no processamento do aço e fabricação da estrutura, além de terem uma organização orientada ao processo produtivo.
4	Os estaleiros continuam a avançar tecnologicamente ao longo da década de 80, sendo caracterizados por um único dique, com boa proteção ambiental, ciclos curtos de produção, alta produtividade, extensiva prática de acabamento avançado e alto grau de integração estrutura-acabamento. É nessa geração que a organização se volta para o produto e os conceitos da tecnologia de grupo são introduzidos na construção naval. Destaca-se que é na quarta geração que ocorre a automação da montagem de blocos utilizando múltiplas linhas de processos alocadas em um único galpão industrial. Tal estrutura passa a permitir a fabricação de blocos ainda maiores (até 1500 t), os quais são fabricados já com acabamento avançado, apesar de ainda existir uma separação das oficinas de aço e de acabamento. É justamente nesse nível que se enquadram hoje a maioria dos estaleiros no mundo.
5	Reuni as tecnologias mais avançadas disponíveis no final da década de 90, sendo caracterizado pelo desenvolvimento da automação e da robótica em todas as áreas e pela integração dos sistemas operacionais, com o uso efetivo do CAD/CAM/CIM. Além disso, essa geração consolida a filosofia de produção modular, atingindo altos níveis de padronização de componentes intermediários, mesmo para navios diferentes. Por fim, os estaleiros de quinta geração aumentam as especificações quanto a precisão e ao controle dimensional dos processos de corte, solda, conformação e pintura. É interessante observar que tais processos passam a exigir maiores níveis de qualificação dos recursos humanos.

Fonte: O autor (2021).

2.5.2 Produtividade

A produtividade pode ser definida como a relação entre o volume de produção entregue e os insumos necessários para a produção, sendo possível utilizar indicadores parciais de

desempenho relacionando o volume produzido e os recursos utilizados pelo estaleiro (PETKOVIC e SHINOBARA, 2015).

Quando se fala de custos envolvidos na construção de navios, certamente os salários e as despesas com mão de obra têm significativa importância. No entanto, uma análise realista precisa considerar também os índices de produtividade da hora trabalhada em cada atividade.

De acordo com Pires et al (2009), três atributos são determinantes para definir o grau de competitividade de um estaleiro: custo, tempo e qualidade. Assim, o desempenho de um estaleiro pode ser medido por indicadores de produtividade, tempo de produção e qualidade. Nesse caso, Baitello (2012) ressalta que, entre esses parâmetros, a produtividade é aquele que apresenta a maior variação, sendo frequentemente utilizado como indicador relacionado ao custo da construção naval.

No entanto, Jiang e Strandenes (2011) alertam que a coleta de dados sobre a produtividade de estaleiros é uma tarefa difícil, pois existem poucas informações abertas ao público. Essa pouca documentação ainda é agravada se consideramos que a produtividade pode variar de estaleiro para estaleiro, mesmo dentro um único país, dificultando a análise e generalização dos indicadores.

Para completar, Baitello (2012) mostra que não existe uma unidade padrão para medir o volume da produção de um estaleiro, pois existem diversas medidas associadas ao porte de um navio. Buscando desmistificar e clarear constantes confusões vistas nos mais diversos textos sobre o assunto, na Tabela 8 são descritos os principais parâmetros associados ao porte de um navio.

Tabela 8 – Possíveis parâmetros para medir a produção anual de um estaleiro

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Explicação e discussão
Deslocamento	Δ	t	Mede o peso de tudo que existe a bordo do navio. Por ser um parâmetro importante para o projeto, mas pouco relevante para estaleiros, portos e armadores, é uma informação difícil de ser obtida.
Peso morto ou Deadweight	DWT	t	Mede essencialmente ² a capacidade de carga de um navio. Por ser um número fundamental para portos e armadores, é facilmente disponibilizado. No entanto, é um número que não reflete adequadamente o porte de navios de cruzeiro, RoRo, gazeiros etc.

² A rigor, o peso morto ou *Deadweight* corresponde ao peso de carga, de suprimentos, de consumíveis, da tripulação e seus pertences.

Peso leve ou Lightweight	LWT	t	Mede o peso de aço, da instalação propulsora, dos equipamentos e <i>outfitting</i> . Embora seja uma medida diretamente relacionável ao custo de construção, é uma medida difícil de ser obtida, pois é de pouco interesse de portos e armadores.
Peso de aço	Ws	t	Mede somente o peso de aço a bordo. É sem dúvida a medida mais difícil de ser obtida, pois exigiria que cada bloco fosse pesado juntamente com todo o material usado na soldagem.
Número cúbico	Nc	m ³	Mede o volume do paralelogramo no qual o casco do navio está contido. Para navios bojudos representa o máximo espaço interno do casco.
Arqueação bruta ou Tonelagem bruta	GT	-	Mede o volume efetivamente disponibilizado para alocação de carga/passageiros no interior do casco. Por ser a principal medida usada na cobrança de taxas e impostos, é uma informação de fácil acesso.
Arqueação/Tonelagem bruta corrigida	CGT	-	É uma medida do porte do navio que considera a complexidade da fabricação/montagem de cada tipo de embarcação.

Fontes: O autor (2021).

Embora não exista consenso, muitos trabalhos propõem o uso da CGT³ como parâmetro para medir o volume da produção de um estaleiro. Nesse caso, o porte de um navio é definido como o volume interno da embarcação medido em GT⁴, elevado à uma potência definida em função da complexidade de construção de cada tipo de embarcação. Conforme exemplifica Matos (2017), um navio tanque de 15 mil GT demanda tanta mão de obra (HH) quanto um navio de cruzeiro de 5 mil GT. Portanto, verifica-se que cada 1 mil GT do navio de cruzeiro equivale a produção de 3 mil GT do navio tanque.

É importante observar que ao longo do tempo existiram propostas nas quais o CGT era obtido a partir do DWT ou Δ do navio. Mas, no entanto, o procedimento para o cálculo do CGT foi padronizado por OECD (2007), conforme pode ser visto no anexo A.

A justificativa para o cálculo do CGT a partir do GT reside justamente no fato de que, uma vez que o GT é uma informação imprescindível para o cálculo de taxas e impostos, essa é uma informação de fácil acesso, facilitando, por isso, a estimativa precisa do CGT.

No entanto, é importante destacar que o cálculo do GT também já foi um procedimento bastante impreciso. Originalmente esse valor era definido com base no número de tonéis⁵ que

³ Do inglês *Compensated Gross Tonnage* ou Tonelagem Bruta Compensada.

⁴ Do inglês *Gross Tonnage* ou Tonelagem Bruta.

⁵ Daí a origem da unidade *tonns* que ainda hoje pode ser vista em alguns textos antigos.

o comandante conseguia alojar no interior do navio (VASUDEVAN, 2010). Evidentemente esse procedimento era bastante subjetivo e repleto de imprecisões. Por essa razão, IMO (1969) estabeleceu um procedimento normatizado para o cálculo padronizado do GT de um navio, que inclusive passou a ser uma grandeza adimensional, conforme pode ser visto no Anexo E.

Uma vez que esse parâmetro considera tanto o tamanho como o tipo do navio, torna-se possível comparar o volume de produção de estaleiros que fabricam diferentes tipos de navios. Pois, segundo Pires et al. (2009), quando a CGT é utilizada como unidade de medida do volume de produção, as diferenças na carga de trabalho para construir diferentes navios já são consideradas. Dessa forma, quando indicadores de produtividade como HH/CGT são usados no lugar de indicadores como HH/DWT, tanto o tipo, quanto o tamanho do navio, já são considerados.

No entanto, Baitello (2012) alerta que a produtividade global é praticamente inviável de ser utilizada como indicador de desempenho da construção naval, dada a dificuldade associada ao cálculo desse indicador. Por essa razão, o autor recomenda a utilização de indicadores parciais de desempenho, que permitem uma avaliação mais precisa da parcela da produtividade que interessa ao processo decisório.

Existem vários indicadores de produtividades parciais que podem ser utilizados na ICN. No entanto, uma vez que a maior fonte de variação no custo de construção é observada na estimativa do custo de mão de obra, o índice de produtividade parcial mais utilizado é o esforço produtivo da mão de obra (HH/CGT), o qual corresponde ao inverso da produtividade da mão de obra (CGT/HH).

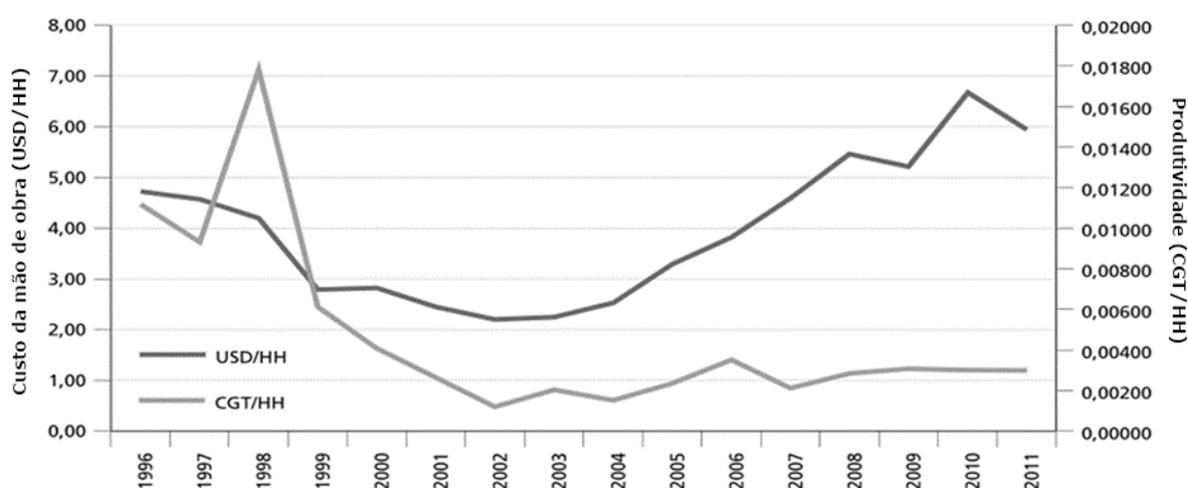
Existem diversos fatores que podem influenciar o esforço produtivo utilizado para construir uma embarcação. Conforme exemplifica Baitello (2012), uma solda reprovada na inspeção irá demandar mais tempo, uma vez que será necessário remover a solda reprovada, reposicionar as peças, além de executar e inspecionar a nova solda. Além disso, devido ao retrabalho, existe o risco de deformações na chapa de aço, as quais irão demandar mais tempo e esforço para serem corrigidas.

Uma vez que a produtividade (CGT/HH) e o esforço produtivo (HH/CGT) podem ser indicadores de produção do estaleiro, eles também podem ser usados na comparação entre estaleiros. Essa comparação permite posicionar o estaleiro perante seus concorrentes e identificar as áreas com maior potencial de melhorias (BAITELLO, 2012).

De acordo com Favarin (2011), o custo de mão de obra em USD/CGT pode ser calculado como o produto entre o esforço produtivo (HH/CGT) e o preço da mão de obra (USD/HH). Assim, quanto maior o preço da mão de obra, maior a produtividade requerida para um estaleiro alcançar o mesmo custo por CGT processada.

Na Figura 6 é mostrada a evolução dos índices de produtividade na indústria naval brasileira entre 1996 e 2011. Segundo IPEA (2014), a partir de 2009, a produtividade se estabilizou em valores próximos a 0,003 CGT/HH, o que corresponde a 20% dos níveis de produtividade alcançados na China e apenas 4% dos níveis de produtividade da Coreia do Sul.

Figura 6 - Evolução do custo da mão de obra e da produtividade no Brasil



Fonte: Adaptado de IPEA (2014).

Ainda sobre a Figura 6, destaca-se que não se vislumbra motivo evidente para a anomalia observada nos dados referentes a 1998 registrados por IPEA (2014). Sobre isso, o autor indica apenas que existiu um recorde no número de entregas naquele ano, o que pode ter pressionado estaleiros, impulsionando a produtividade. No entanto, recomenda-se que trabalhos futuros foquem esforços para explicar esse estranho pico de produtividade observado nos estaleiros brasileiros em 1998.

Como aponta Jiang e Strandenes (2011), o custo do trabalho normalmente é medido em moeda local, mas, para efeito de comparações internacionais, torna-se interessante converter esse valor para dólares americanos (USD). Porém, é importante observar que nessa abordagem, o custo da mão de obra passa a ser influenciado também por variações cambiais (IPEA, 2014).

2.5.3 Erros nos identificadores de produtividade observados na revisão bibliográfica

Durante a extensa revisão bibliográfica realizada, percebeu-se alguns pontos de divergência que merecem atenção. Em grande parte, essas inconsistências decorrem do uso de indicadores de produção e/ou produtividade que apresentam definições incorretas, desatualizadas ou fora de padrão.

No estudo de IPEA (2014), o cálculo do CGT é definido como: “a CGT de uma embarcação é calculada multiplicando o consumo de aço efetivo ou previsto (medido em tonelada bruta, por exemplo) por um coeficiente específico”. Porém, conforme descrito na seção anterior, após 2007 padronizou-se o uso do GT para o cálculo do CGT de um navio. No entanto, na Tabela 11 de IPEA (2014) a confusão entre os conceitos é reafirmada quando o autor chama de *tonnage*, o peso de aço de um navio.

Já no estudo apresentado por ENEGEP (2014) é dito que Oliveira et al (2014) detalha uma metodologia para definir o indicador de desempenho como “outra metodologia usada é o Gross Tonnage (GT), onde o peso bruto da embarcação é rateado pelos recursos humanos utilizados (HH/t), neste caso o peso da embarcação é a principal variável da produção”.

No entanto, como descrito por Stopford (2007), em IMO (1969) o cálculo do GT foi padronizado, sendo um número adimensional definido a partir do volume de todos os espaços fechados do casco, podendo apresentar grandes diferenças quanto ao peso da embarcação, especialmente nos casos de navios com elevada borda livre.

Esses exemplos mostram que, mesmo trabalhos recentes, continuam a usar referências e modelos antigos para os cálculos de produção e produtividade da ICN, dificultando a análise e padronização dos estudos referentes ao tema.

2.5.4 Curva de aprendizado

Lamb e Hellesoy (2002) analisaram uma amostra de estaleiros e determinaram a porcentagem do aumento de produtividade associada a cada parâmetro estudado (Tabela 9). Dentre os parâmetros analisados, verificou-se que aquele que mais influenciou positivamente a produtividade do estaleiro foi a adoção de melhores práticas, respondendo por quase metade do aumento da produtividade obtido.

Tabela 9 - Impacto dos parâmetros na produtividade

Parâmetro	Impacto
Melhores práticas de produção (ações focadas na produtividade)	41%
Duplo propósito (focar a produção em um único tipo de navio)	30%
Funcionários totais / Funcionários de produção	11%
Integração vertical (não terceirizar a produção de sub componentes)	11%
Funcionários totais	6%
Número de navios entregues / Número de tipos de navios	1%

Fonte: Traduzido de Lamb e Hellesoy (2002).

Como a adoção de melhores práticas é um fator determinante para o aumento da produtividade, é possível entender que, conforme o estaleiro se adapta ao produto, menor é o tempo e o custo produtivo. Assim, o esforço produtivo diminui conforme o estaleiro consolida suas práticas e ganha experiência. Esse fenômeno, chamado de curva de aprendizado, é resultado da capacidade humana de aprender e da capacidade do coletivo de se organizar mais eficientemente com o passar do tempo (BAITELLO, 2012).

A definição de curva de aprendizado é uma das técnicas utilizadas nas indústrias de alta tecnologia para projetar a evolução do esforço produtivo quando as unidades são consideradas iguais e a produção ocorre em sequências padronizadas (STEWART et al., 1995).

Segundo Dores et al (2012), identificar possíveis similaridades nos produtos intermediários, mesmo quando os produtos acabados não são padronizados, pode viabilizar um aumento de eficiência devido ao aumento da escala e da repetibilidade da produção.

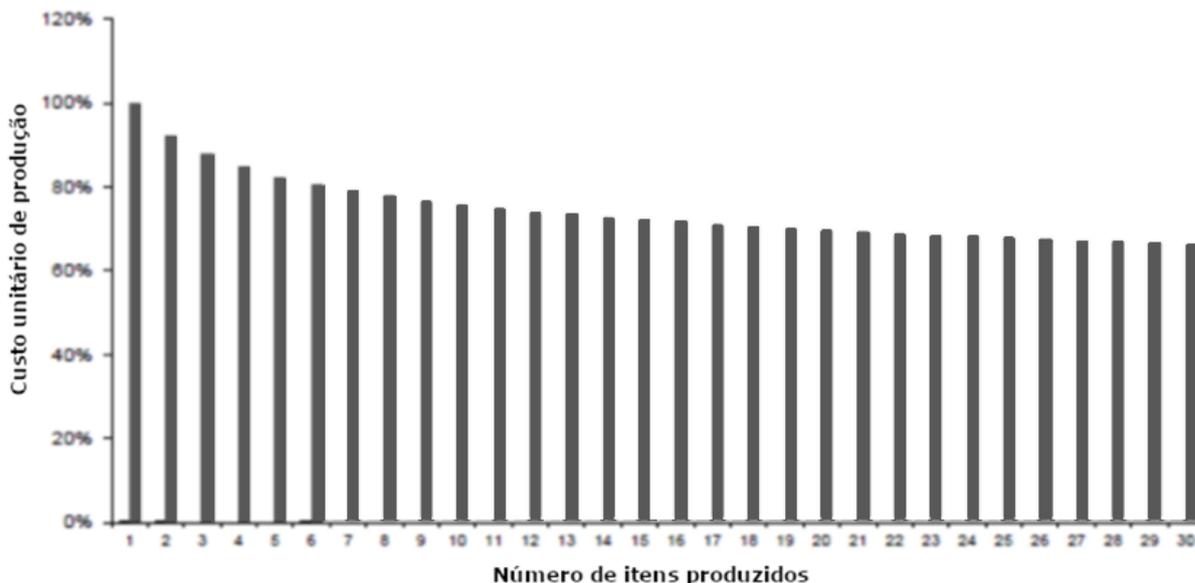
Assim, os custos de construção de navios são fortemente impactados pelos efeitos da curva de aprendizado do estaleiro. Portanto, durante a fase de planejamento/orçamento da construção, caso exista uma expectativa de redução nos custos de produção à medida que o estaleiro se adapta ao navio construído, é importante que o conceito de curvas de aprendizado esteja incluído na estimativa de custo (TEPLITZ, 2014).

Os primeiros estudos sobre curvas de aprendizagem foram desenvolvidos pelo engenheiro americano Theodore Wright em 1936, o qual desenvolveu, a partir de estudos realizados no processo de montagem de aviões, um método capaz de avaliar o desempenho dos trabalhadores submetidos a tarefas repetitivas (KRELING et al., 2019).

Segundo Sokri e Ghanmi (2017), uma curva de aprendizado é caracterizada pela taxa em que o custo unitário é reduzido por meio da experiência e aprendizado (Figura 7). No mesmo sentido, Lamb (2004) diz que as curvas de aprendizado são resultado de melhorias constantes

ocorridas a cada vez que a produção é duplicada e, por isso, é mais facilmente aplicável em grandes lotes de produção, fabricados em intervalos relativamente curtos.

Figura 7 - Exemplo de curva de aprendizado na construção naval



Fonte: Australian Submarine Corporation (2015).

O entendimento de que a repetição do trabalho resulta em uma mesma redução percentual no tempo de produção a cada vez que a produção é duplicada, permitiu que o ganho de produtividade resultante da curva de aprendizado pudesse ser previsto e utilizado no planejamento e na elaboração de novos orçamentos (TEPLITZ, 2014).

No entanto, Teplitz (2014) alerta que estimar a taxa de melhora no início de um ciclo de produção é uma tarefa difícil, pois a experiência do estaleiro e de seus operadores não é conhecida, dificultando a determinação da declividade da curva de aprendizado.

Na construção naval observam-se dois tipos de aprendizado: um aprendizado organizacional e um aprendizado de produto. A melhora no aprendizado organizacional significa um aumento na produtividade dos processos e práticas do estaleiro, sendo transferível para outros projetos. No entanto, uma melhora no aprendizado de produto refere-se especificamente ao navio construído, não sendo transferível a outros tipos de embarcações (BAITELLO, 2012).

Nesse sentido, Stewart et al. (1995) afirmam que a taxa de melhoria e a inclinação da curva de aprendizado não estão ligadas apenas ao desempenho e a experiência do operador, e sim relacionadas a combinação do aprendizado do trabalhador com as melhorias nos métodos de fabricação e gerenciamento do estaleiro.

Se o trabalhador é experiente, ele provavelmente demandará um tempo menor na primeira vez que executar a tarefa, mas terá uma menor taxa de aprendizado, resultando em uma menor declividade da curva de aprendizado. Para o caso de um trabalhador inexperiente, o tempo inicial será maior, porém existirá uma maior taxa de aprendizado e, portanto, uma maior declividade na curva de aprendizado. Por outro lado, se o estaleiro for recém implantado, mesmo um trabalhador experiente poderá ter dificuldades em realizar a tarefa, ao passo que um trabalhador inexperiente pode ser eficiente diante de uma estrutura produtiva já consolidada.

De acordo com Oliveira et al (2013), o histórico da produção industrial sul coreano e japonês mostrou uma curva de aprendizado com declividade de 70%. No entanto, na indústria naval essa taxa geralmente está entre 80 e 85% (STEWART et al., 1995), significando uma redução no tempo de produção de 15 a 20% a cada duplicação de produção.

Em um exemplo publicado por Sokri e Ghanmi (2017) sobre o custo e o número de horas necessárias para a produção de cinco navios militares (Tabela 10), observou-se que o primeiro navio precisou de cerca de 550 mil horas para ser produzido, enquanto o quinto navio precisou de apenas 341 mil horas para ser finalizado.

Tabela 10 - Variação do tempo e do custo de produção com o aprendizado

Número do navio construído	HH	Custo de Produção (CAD\$)
1	550500	16515
2	450500	15515
3	400500	12015
4	370500	11115
5	341000	10230

Fonte: Traduzido de Sokri e Ghanmi (2017).

Segundo Stump (2002), a curva de aprendizado da indústria aeronáutica apresenta uma declividade de 85%, enquanto na construção naval essa declividade varia de 80 a 85%, em virtude do maior uso de mão de obra, quando comparada a indústria aeronáutica. Nesse sentido o autor concluiu que o potencial de aprendizado é nulo para atividades completamente automatizadas e pode chegar a 70% para atividades completamente manuais.

Segundo Stroecke et al. (2013), deve-se a Wright (1936) a formulação da regra conhecida como “Curva de 80%”, a qual defini que cada vez que a produção é duplicada,

percebe-se uma redução de 20% no tempo necessário para a realização da tarefa⁶. Essa regra pode ser generalizada na forma da Equação 1.

$$y = C_1 x^b \quad 1$$

Onde y representa o tempo necessário para a repetição x da atividade, enquanto C_1 define o tempo requerido para a primeira execução. O parâmetro b indica a velocidade de aprendizado e se mantém entre 0 e -1, sendo que quanto mais próximo de -1, maior é o aprendizado (STROIEKE et al. 2013).

De acordo com Kreling et al. (2019), o percentual de aprendizado representa a diminuição do tempo devido a repetição de uma tarefa e normalmente varia entre 10% e 20%. Por convenção, as curvas de aprendizagem são conhecidas pelo complemento da taxa de diminuição. Por exemplo, uma curva de 85% indica um decréscimo de 15% à medida que o número de repetições dobra. Portanto, uma curva de 100% não apresenta nenhuma alteração no tempo de realização de uma tarefa, independentemente do número de repetições.

Sokri e Ghanmi (2017) apresentam um método para estimar os efeitos da taxa de aprendizado, expressando o coeficiente b da Equação 1 a partir da taxa de declividade u associada a uma dada curva de aprendizado (Equação 2).

$$u = 2^b \quad 2$$

2.5.4 Variação da produtividade por região e tipo de navio

Oliveira et al (2014) apresentou um estudo sobre a produtividade naval brasileira, no qual foi proposto uma classificação de níveis de produtividade (Tabela 11). Nesse estudo foram analisadas 116 embarcações entregues no período de 2009 a 2013, das quais apenas 54% apresentaram uma produtividade ótima/boa durante a construção.

⁶ A rigor, Stroeike et al (2013) fala em redução de custos. Pois, segundo Conley (1970), o aprendizado pode otimizar processos, reduzir estoques, reduzir fluxos e melhorar os projetos. Na mesma linha, Grosse et al. (2015) diz que “com o correto adequamento (sic) de postos de trabalho, a experiência e a aptidão do funcionário para desempenhar a função, impacta diretamente no que se diz a respeito de custos industriais, pois com a experiência, aptidão no desempenho da função, reduz “perda” de tempo na produção e realiza a tarefa com mais agilidade e sem desperdícios. Quando utilizados modelos matemáticos como de Wright e Stanford, torna-se possível, uma maior redução de custos, pois obteve-se norteamto de tomadas de decisões mais precisos, otimizando tempo e custo”.

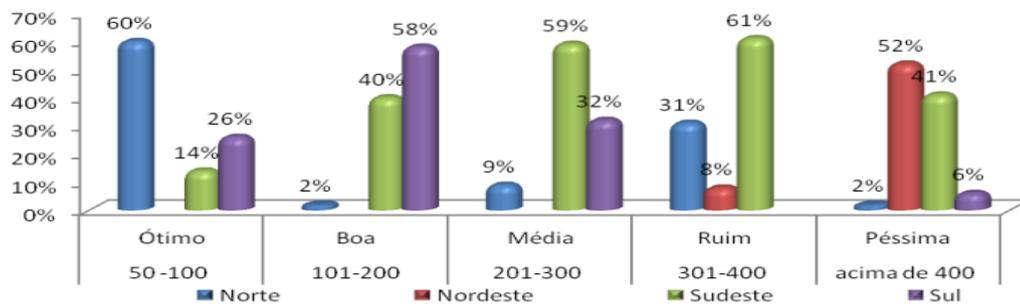
Tabela 11 - Média e quantidade de embarcações para as classificações

Produtividade				
HH/Ton	Classificação	Média	Quantidade	Percentual
0 - 100	Ótima	78,7	26	24,0 %
101 - 200	Boa	145,3	36	29,8 %
201 - 300	Média	245,96	19	15,7 %
301 - 400	Ruim	335,36	13	10,7 %
Acima de 400	Péssima	879,26	22	19,8 %

Fonte: Oliveira et al (2014).

De acordo com Oliveira et al. (2014), se forem considerados os níveis de produtividade por região do país (Figura 8), observa-se que a região norte possui 60% das embarcações construídas na faixa ótima de produtividade. A região sul também aparece com bons índices, obtendo 58% das construções na faixa boa de produtividade.

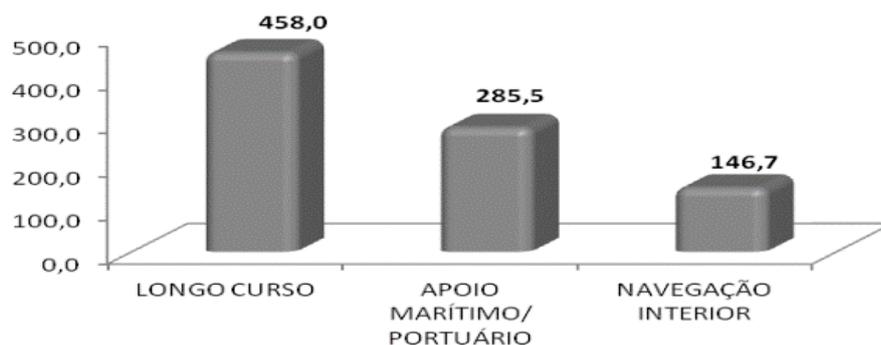
Figura 8 - Distribuição de produtividade dos estaleiros por região do Brasil



Fonte: Oliveira et al (2014)

As 116 embarcações consideradas no estudo de Oliveira et al. (2014), podem ser classificadas em três categorias: longo curso, apoio marítimo/portuário e navegação interior. Na Figura 9 são mostradas as médias de produtividade quando as embarcações são classificadas por tipo. Percebe-se que as embarcações de maior porte exigem um dispêndio maior com mão de obra por tonelada.

Figura 9 - Distribuição de produtividade (HH/t) por tipo de embarcação



Fonte: Oliveira et al (2014).

Analisando os dados referentes a distribuição de produtividade por região do Brasil e por tipo de embarcação, fica evidente a falta de homogeneidade nos índices de produtividade. Esses resultados comprovam a afirmação de Jiang e Strandenes (2011) de que a produtividade pode variar de estaleiro para estaleiro dentro do mesmo país, além de variar também conforme o porte do estaleiro.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 NAVIO ANALISADO

Para consolidar as análises deste capítulo, foi realizado um estudo de caso envolvendo um navio petroleiro típico da classe Suezmax⁷, cujos dados foram propostos por Stott et al. (2011) e são sintetizados na Tabela 12.

Tabela 12 - Características de um navio petroleiro Suezmax típico

Informação	Valor	Fonte
Comprimento total (L)	274 m	(STOTT et al., 2011)
Boca (B)	48 m	(STOTT et al., 2011)
Calado (T)	17 m	(STOTT et al., 2011)
Pontal (D)	23,2 m	(STOTT et al., 2011)
Velocidade	15,5 nós	(STOTT et al., 2011)
Deslocamento (Δ)	183150 t	(STOTT et al., 2011)
Cb	0,79	(STOTT et al., 2011)
Peso morto (DWT)	158000 t	(STOTT et al., 2011)
Peso leve (LWT)	25150 t	Δ - DWT
Arqueação bruta (GT)	81500	(STOTT et al., 2011)
Peso de aço	20500 t	(STOTT et al., 2011)
Potência instalada (BHP) *	19203 HP	(MINERVA MARINE, 2021)

* Estimada com base em Minerva Marine (2021) para um navio petroleiro Suezmax de dimensões consideravelmente próximas a da tabela, conforme pode ser visto no Anexo F.

Fonte: O autor (2021).

Destaca-se que a escolha dessa embarcação para a condução das análises deve-se unicamente ao fato dela ser representativa da indústria da construção naval, especialmente no cenário internacional. Além disso, a existência de estimativas claras sobre o peso de aço do casco favorece análises mais assertivas quanto ao custo de construção da embarcação.

3.2 ESTIMATIVA DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO

Com base nos dados da Tabela 12 e no procedimento mostrado no Anexo A, é possível determinar o CGT referente ao navio em estudo utilizando-se a Equação 3.

$$CGT = A * GT^B$$

3

⁷ Classificação relacionada ao porte do navio. Os petroleiros dessa classe atendem as limitações de passagem existentes no canal de Suez. Segundo Lamb (2004), os petroleiros da classe Suezmax tipicamente possuem DWT próximo a 150000 t.

Para navios petroleiros, os valores dos coeficientes A e B podem ser obtidos utilizando-se o método definido por OECD (2007), e valem 48 e 0,57 respectivamente. Dessa forma o valor calculado para o CGT é de 30241.

Considerando o modelo proposto por Benford (1966), o qual foi detalhado na Tabela 5, é possível calcular tanto os pesos (Tabela 13) quanto os custos (Tabela 14) estimados para a construção de um petroleiro Suezmax típico.

Tabela 13 - Estimativas de peso para o navio petroleiro Suezmax

Pesos	Estimativa Benford (1966)	Valor Stott et al. (2011)
Peso de aço	25970 t	20500 t
Peso de equipamento e <i>outfitting</i>	6151 t	-
Peso de engenharia do casco	3050 t	-
Peso da instalação propulsora	1833 t	-
Peso leve total	37004 t	25150 t

Fontes: O autor (2021).

Tabela 14 - Estimativas de custo para o navio petroleiro Suezmax

Custo estimado usando Benford (1966)	Relação	Valor (USD \$)
Custo de aço	242 * W_s	6,284 milhões
Custo de equipamento e <i>outfitting</i>	1080 * W_o	6,643 milhões
Custo de engenharia do casco	2970 * W_{ec}	9,058 milhões
Custo máquinas de propulsão	14500 * W_m	26,590 milhões
Custo de mão de obra		31,659 milhões
Custo total		80,237 milhões

Fontes: O autor (2021).

Ao confrontar o custo de construção estimado utilizando-se o modelo proposto por Benford (1966) com o preço médio apresentado por Bastos (2017) para um navio petroleiro Suezmax típico (Figura 10), observa-se uma variação de cerca de 30%.

Figura 10 – Estimativas referentes ao preço de aquisição de novos petroleiros

Classe	Deadweight (t)	Preço de Aquisição (USD)
Product tanker	10000 – 60000	\$43 M
Panamax	60000 – 80000	
Aframax	80000 – 120000	\$60,7 M
Suezmax	120000 – 200000	
VLCC	200000 – 320000	\$120 M
ULCC	320000 – 550000	

Fonte: Bastos (2017) apud United Nations Conference on Trade and Development (2006).

Para que o estaleiro possa converter o custo de construção do navio em preço de venda, Benford (1966) propõe o seguinte procedimento:

$$\text{Preço do navio} = C_{\text{lucro}} * C_{\text{serie}} * C_{\text{mundo}} * \text{Custo de construção} \quad 4$$

Onde o coeficiente C_{serie} refere-se a eventual redução de custos caso sejam produzidas várias unidades do mesmo navio. Nesse caso, Benford (1966) sugere o valor de 0,871 para esse coeficiente. É interessante observar que, na abordagem de Benford (1966), o coeficiente C_{lucro} sugerido é de 1,05, indicando uma margem de lucro de 5% a qual deve, inclusive, acomodar os custos rotineiros e operacionais do estaleiro.

Por fim, Benford (1966) sugere que, para acomodar diferenças nas legislações tributárias, nos cenários econômicos e sociais, além de eventuais subsídios governamentais, deve-se utilizar um valor de 0,5 para o coeficiente C_{mundo} , quando se analisam construções ocorridas em estaleiros fora dos Estados Unidos. Embora tal valor pudesse ser realista nos anos 60, hoje esse coeficiente varia em cada cenário analisado.

Considerando um lucro de 5% e um coeficiente C_{mundo} de 0,7, o preço estimado pelo modelo de Benford (1966) para a construção de uma unidade do navio em estudo chega a USD\$ 58,9 milhões, se aproximando bastante do preço médio proposto por Bastos (2017) para a aquisição de um novo navio petroleiro Suezmax. É evidente que tal aproximação depende da definição do valor de C_{mundo} , sendo justamente esse o foco de discussão deste trabalho.

Por fim, para que o armador consiga estimar o total de recurso financeiro que deverá aportar para adquirir um novo navio, Benford (1966) propõe:

$$\text{Custo para o Armador} = C_{\text{extra}} * \text{Preço do navio} \quad 5$$

Onde o coeficiente C_{extra} refere-se aos custos extras, tais como: vistorias, classificação, inspeção etc. Embora Benford (1966) sugira o valor de 1,1 para esse coeficiente, entende-se que essas são despesas que fogem ao escopo deste trabalho.

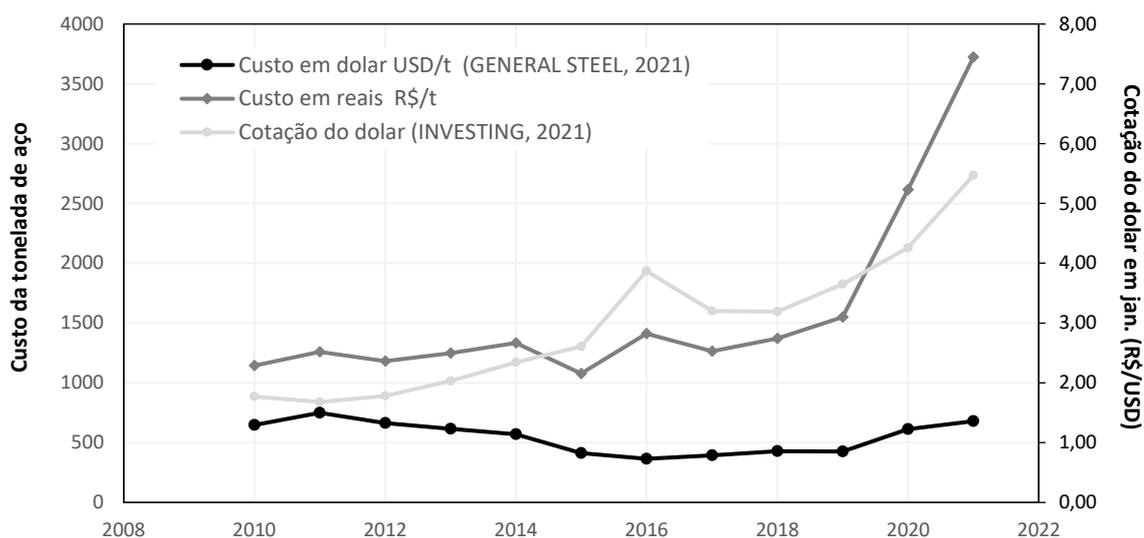
3.3 ANÁLISE DE IMPACTO DOS FATORES

3.3.1 Impacto do preço do aço

Conforme já mencionado, o preço do aço é um importante fator para a indústria naval, pois trata-se da matéria prima com maior relevância no custo de construção de uma embarcação mercante de grande porte (ECORYS, 2009).

Observando a Figura 11, cujos dados estão no apêndice A, constata-se que o preço do aço no mercado internacional passou por grandes variações nos últimos anos.

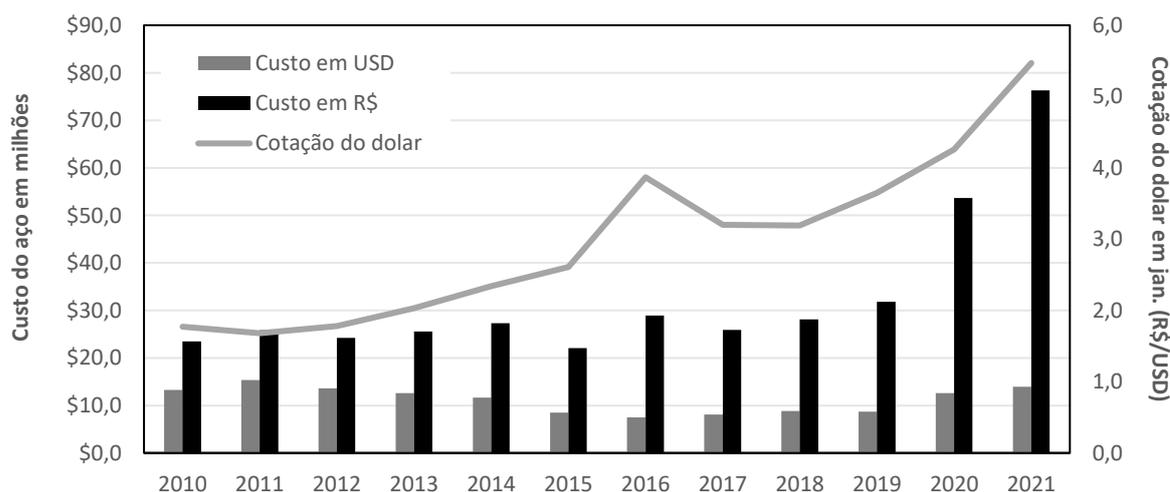
Figura 11 - Variação do custo do aço ao longo dos anos



Fonte: O autor (2021).

Considerando a quantidade de aço necessária para a construção de um navio, é possível avaliar o impacto da variação do custo desse insumo no custo da embarcação. Usando o peso de aço de aproximadamente 20500 t⁸ referente ao navio cujo dados são mostrados na Tabela 12, pode-se calcular a variação do custo do aço ao longo dos anos (Figura 12).

Figura 12 - Estimativa de custo de aço na construção de um navio Suezmax



Fonte: O autor (2021).

É perceptível que o custo do aço oscilou na última década, interferindo fortemente nos valores envolvidos no custo de construção de um navio. Segundo Jiang e Strandenes (2008) o

⁸ A rigor, segundo Stott et al. (2011), esse valor refere-se ao “*net steel weight*” ou seja, entende-se que se trata do peso em aço efetivamente usado no navio, desconsiderando os retalhos descartados na construção. É evidente que o custo do aço efetivamente pago às siderúrgicas será maior. No entanto, tal diferença não é relevante para as análises apresentadas.

preço da tonelada de aço em dólares aumentou significativamente desde 2000, principalmente entre 2006 e 2008. Esse comportamento pode ser atribuído ao aumento dos preços do minério de ferro e ao aumento da demanda, causado principalmente pelo rápido crescimento da China.

Ainda analisando a Figura 12, é possível perceber que uma estimativa de custo de aço para o mercado nacional feita em reais, é menos previsível que a estimativa feita em dólares, em função da variação cambial. Por exemplo, um orçamento feito em 2013, considerando o custo do aço de 614,6 USD/t e o mesmo orçamento feito em 2014 com o aço a 570 USD/t, resulta em uma redução de aproximadamente 8%. No entanto, no mesmo período, observa-se um aumento de cerca de 11% no custo de aço em reais.

Considerando que o custo aproximado de um navio petroleiro Suezmax é de 60,7 milhões de dólares (

Figura 10), é possível avaliar o impacto da variação do custo do aço na estrutura de custo de uma embarcação ao longo dos anos.

Tabela 15 - Participação do custo do aço no preço de um navio petroleiro Suezmax

Ano	Preço do navio fixo			Preço do navio corrigido pelo custo do aço	
	Custo do Aço (USD)	Preço do navio (USD)	% do Custo Aço / Preço do Navio	Preço do navio (USD)	% do Custo Aço / Preço do Navio
2010	\$13.257.350	\$60.700.000	21.84%	\$62.739.118	21.13%
2011	\$15.36.8645	\$60.700.000	25.32%	\$64.850.413	23.70%
2012	\$13.597.650	\$60.700.000	22.40%	\$63.079.418	21.56%
2013	\$12.599.300	\$60.700.000	20.76%	\$62.081.068	20.29%
2014	\$11.685.000	\$60.700.000	19.25%	\$61.166.768	19.10%
2015	\$8.466.500	\$60.700.000	13.95%	\$57.948.268	14.61%
2016	\$7.482.500	\$60.700.000	12.33%	\$56.964.268	13.14%
2017	\$8.097.500	\$60.700.000	13.34%	\$57.579.268	14.06%
2018	\$8.815.000	\$60.700.000	14.52%	\$58.296.768	15.12%
2019	\$8.712.500	\$60.700.000	14.35%	\$58.194.268	14.97%
2020	\$12.587.000	\$60.700.000	20.74%	\$62.068.768	20.28%
2021	\$13.949.840	\$60.700.000	22.98%	\$63.431.608	21.99%
Média	\$11.218.232	\$60.700.000	18.48%	\$60.700.000	18.33%
Desvio	\$2.727.418	\$0,00	4.49%	\$2.727.418	3.68%

Fonte: O autor (2021).

Para os valores apresentados, tem-se a média de 11,2 milhões de dólares para o custo de aço, o que representa aproximadamente 18,5% do preço médio de um novo navio. Se for considerada uma margem de lucro de 5% e um índice de retalhos de 15%, esse valor se

aproxima de 25% do custo de construção do navio, tal como previsto na revisão bibliográfica mostrada na Tabela 2.

3.3.2 Impacto da produtividade

Conforme mostrado na Tabela 16, a produtividade média dos estaleiros coreanos é de 25 HH/CGT, o que resulta em um custo total de 325 a 425 USD/CGT, a depender do salário considerado. Para manter a competitividade, o Brasil precisaria atingir valores de produtividade entre 32 e 50 HH/CGT (Tabela 16), o que requer estaleiros de nível tecnológico próximo a 4 (FAVARIN, 2011).

Tabela 16 - Produtividade para igualar os custos de mão de obra de Brasil e Coreia

Parâmetro	Coreia do Sul	Brasil
Esforço produtivo atual (HH/CGT)	25	333
Custo mínimo da mão de obra (USD/HH)	13	8
Custo máximo da mão de obra (USD/HH)	17	10
Custo mínimo por CGT (USD/CGT)	325	2664
Custo máximo por CGT (USD/CGT)	425	3330
Aumento de produtividade para alcançar custo mínimo Coreano	-	10.2x
Aumento de produtividade para alcançar custo máximo Coreano	-	6.3x
Esforço produtivo que o Brasil necessitaria para alcançar custo mínimo Coreano	-	32.5
Esforço produtivo que o Brasil necessitaria para alcançar custo máximo Coreano	-	53.2

Fonte: O autor (2021).

Analisando-se os dados da Tabela 16, é possível observar que a produtividade dos estaleiros nacionais teria que aumentar de 6 a 10 vezes para alcançar o mesmo custo de mão de obra sul coreano.

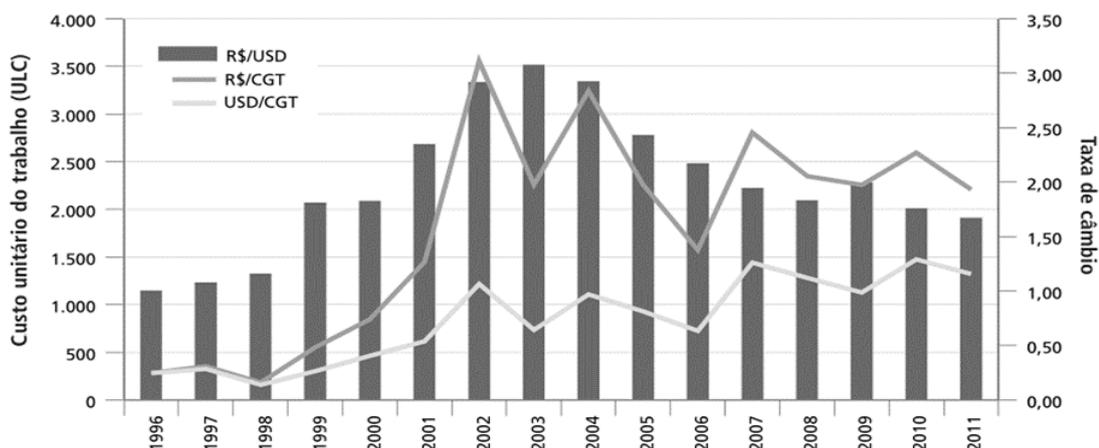
Para avaliar o impacto da produtividade no custo de construção de um navio pode-se utilizar o método proposto por Jiang e Strandenes (2011), no qual define-se o custo unitário de trabalho (ULC) como a razão entre o salário médio, em dólares, por homem hora (USD/HH), e a produtividade em CGT/HH (Equação 6).

$$ULC_{iz} = \frac{USD_{iz}/HH_{iz}}{CGT_{iz}/HH_{iz}} = \frac{USD_{iz}}{CGT_{iz}} \quad 6$$

Na Figura 13 é mostrado um estudo de IPEA (2014) referente a variação do ULC na construção de navios-tanque e plataformas *offshore* dos estaleiros brasileiros entre 1996 e 2011. É importante observar que até 2002 ocorreu um aumento do custo unitário de trabalho tanto em reais (R\$/CGT) quanto em dólares (USD/CGT), indicando uma maior remuneração da mão de

obra. No entanto, a partir de 2002 o custo unitário de trabalho em dólares seguiu a tendência de aumento no valor médio⁹, enquanto o custo unitário de trabalho medido em reais apresenta uma redução; indicando um descompasso¹⁰ com o cenário da construção naval internacional.

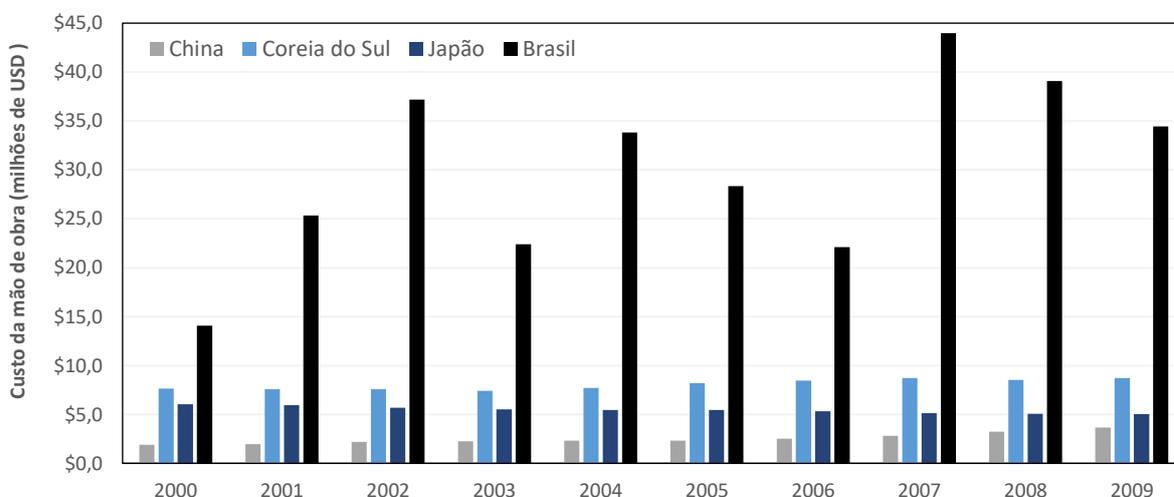
Figura 13 – Influência do câmbio e variação no ULC em estaleiros nacionais



Fonte: Adaptado de IPEA (2014).

Usando os dados de ULC de IPEA (2014) para o cenário nacional (Anexo B) e de Jiang e Strandenes (2011) para a China, Coreia do Sul e Japão (Anexo C), é possível estimar os custos de mão de obra para a construção do navio em estudo, tanto em um estaleiro nacional, quanto em um estaleiro chinês, coreano ou japonês (Figura 14).

Figura 14 – Custo de mão de obra na construção de um navio petroleiro Suezmax



⁹ Seria interessante analisar se esse aumento representa um ganho real ou apenas uma correção associada a inflação. No entanto, tal análise foge ao escopo deste trabalho e permanece como sugestão para trabalhos futuros.

¹⁰ Seria interessante analisar as causas desse descompasso, indicando se esse comportamento se deve a uma crise do setor, a uma retração econômica do país ou a uma redução na valoração do HH nacional em comparação ao cenário internacional, buscando recompor a competitividade dos estaleiros nacionais frente a maior produtividade observada no cenário internacional.

Fonte: O autor (2021).

Observando a Figura 14, é perceptível a diferença no custo de mão de obra da ICN nacional. Apesar do salário pago no Brasil ser menor que na Coreia do Sul, em virtude da produtividade, o custo de mão de obra de um estaleiro brasileiro foi cerca de 84% maior no ano 2000 e 404% maior no ano de 2007.

Segundo IPEA (2014), na média, o ULC praticado no Brasil é onze vezes maior que o praticado na China e cinco vezes maior que o praticado na Coreia do Sul.

Para aumentar a competitividade internacional, o Brasil precisa alcançar maiores níveis de produtividade. De acordo com Favarin (2011), para definir o nível tecnológico ideal de um estaleiro no Brasil, deve-se considerar a equivalência de custos com o *benchmark* na indústria: a Coreia do Sul, onde o esforço produtivo médio nos estaleiros é de 25 HH/CGT.

Na Tabela 17 é mostrado um estudo sobre o ULC para algumas propostas de produtividade. As taxas de produtividade consideradas são valores alcançados no Brasil, China, Coreia do Sul e Japão, os dados de produtividade de China, Coreia e Japão foram retirados do estudo feito por Jiang e Stranden (2011), já os valores alcançados no Brasil foram divulgados pelo IPEA (2014). Para os valores de salário são considerados os valores propostos por Favarin (2011), como 8 a 10 USD/HH.

Tabela 17 - Valores de ULC (USD/CGT) para as propostas de produtividade

ULC (USD/CGT)	Produtividade Média (CGT/HH)			
Salários Brasileiros (USD/HH)	0,016 (China)	0,074 (Coreia do Sul)	0,121 (Japão)	0,003 (Brasil)
8	500,0	108,1	66,1	2666,7
9	562,5	121,6	74,4	3000,0
10	625,0	135,1	82,6	3333,3

Fonte: O autor (2021)

Considerando o navio em estudo, é possível entender o impacto da produtividade e do salário do estaleiro nos custos referentes a mão de obra. Na Tabela 18 é possível observar os custos de mão de obra para o navio em estudo considerando os valores de salário pagos no Brasil e as principais taxas de produtividade observadas no mundo.

Com a ajuda da Tabela 18, é fácil perceber que a taxa de produtividade tem grande interferência no custo de mão de obra. Comparando o cenário de produtividade da indústria naval brasileira em 2009 e os cenários de produtividade dos países asiáticos, é possível verificar

que mesmo com valores de salário menores em relação a outros grandes países, obter bons valores de produtividade é essencial para a redução do custo de mão de obra da ICN.

Tabela 18 - Estimativa de custo de mão de obra para os diferentes cenários

USD em milhões	Produtividade Média (CGT/HH)			
	0,016 (China)	0,074 (Coreia do Sul)	0,121 (Japão)	0,003 (Brasil)
Salários Brasileiros (USD/HH)				
8	15,1	3,3	2,0	80,6
9	17,0	3,7	2,3	90,7
10	18,9	4,1	2,5	100,8

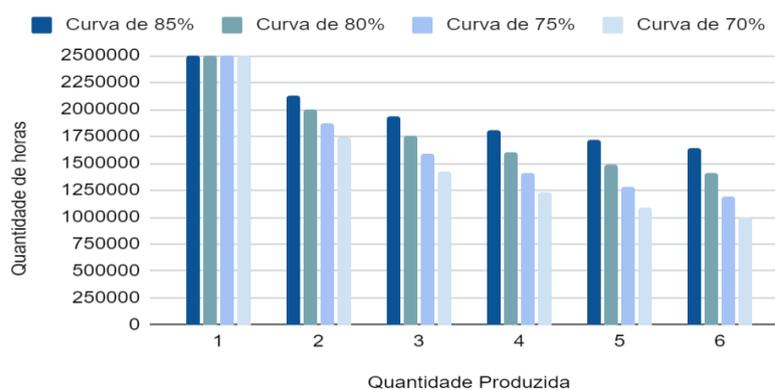
Fonte: O autor (2021)

3.3.3 Curva de aprendizado

Conforme discutido na revisão bibliográfica, é importante avaliar o aprendizado do empregado ao longo dos ciclos de produção de um estaleiro. Utilizando a formulação apresentada por Sokri e Ghanmi (2017) e descrita na seção 2.5.4, é possível estimar a variação do custo e do tempo de produção ao longo da construção de uma série de cascos.

Para exemplificar esse comportamento, na Figura 15 são mostrados os efeitos de curvas de aprendizado com diferentes declividades no tempo exigido para a fabricação do navio em estudo, o qual, segundo Stupello et al. (2008), requer 2500000 horas para ser construído.

Figura 15 - Estimativa de efeito da curva de aprendizagem



Fonte: O autor (2021)

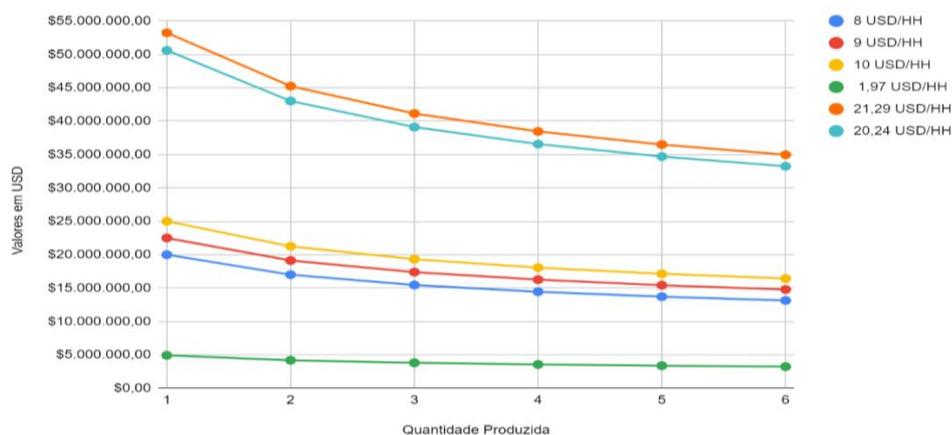
Segundo Dores et al. (2012), na ICN brasileira a curva de aprendizado apresenta uma declividade média de 85%, enquanto nos países asiáticos observam-se curvas de aprendizado com declividades próximas à 70%.

A partir da estimativa de horas necessárias para a construção do navio, é possível analisar o impacto que as curvas de aprendizado exercem no custo de mão de obra. Utilizando as curvas de aprendizado e as médias de salários pagos na construção naval, é possível realizar uma nova estimativa de custo que considera os impactos da curva de aprendizado do estaleiro.

Para esse estudo considerou-se os valores de mão de obra propostos por Favarin (2011), ou seja, um salário entre 8 USD/HH à 10 USD/HH, além dos valores de mão de obra propostos por Jiang e Strandenes (2011) para salários pagos na China, Coreia e Japão em 2011, ou seja, 1,97 USD/HH, 21,29 USD/HH e 20,24 USD/HH respectivamente.

No gráfico a seguir são mostradas as variações do custo de mão de obra para uma curva de aprendizado com declividade de 85%. Os gráficos com as estimativas de 70%, 75% e 80%, encontram-se disponíveis no apêndice B.

Figura 16 - Estimativa de custo de mão de obra com curva de aprendizado de 85%



Fonte: O autor (2021)

Analisando a Figura 16 é possível perceber que, para estaleiros com bons níveis de aprendizado e experiência, os resultados do efeito da curva de aprendizado são importantes e podem ajudar os estaleiros a se manterem competitivos no mercado nacional e internacional.

5. CONCLUSÕES

Seguindo o objetivo proposto, apresentou-se neste trabalho uma discussão sobre as componentes de maior relevância no custo de construção de uma embarcação mercante de grande porte. A seguir, passou-se a examinar os fatores impactantes em cada uma dessas componentes, tanto no cenário nacional, quanto internacional.

A revisão bibliográfica mostrou que o custo do aço e da mão de obra representam, em média, quase a metade do custo de construção de um navio, sendo que essa porcentagem é fortemente influenciada tanto por fatores internos ao estaleiro (nível tecnológico, curva de aprendizado e produtividade) quanto por fatores externos ao estaleiro (taxa cambial, custo de mão de obra e preço internacional do aço).

No desenvolvimento, analisou-se a variação do preço de aço ao longo dos anos, tanto em dólar quanto em real, evidenciando a interferência desse mercado no custo de construção de uma embarcação. Sendo a ICN grande consumidora desse insumo, toda variação nesse setor pode causar grande impacto no orçamento realizado pelo estaleiro.

Além das oscilações no preço do aço que podem ocorrer por diversos fatores, no caso brasileiro, os estaleiros sofrem, também, uma grande influência do câmbio. Pois o custo do aço tem menor previsibilidade, absorvendo diretamente a mudança cambial.

A seguir analisou-se o impacto da produtividade no custo de construção. Inicialmente observou-se que, mesmo trabalhos recentes, usam referências e modelos antigos para os cálculos do volume de produção e da produtividade da ICN, dificultando a análise e a padronização dos estudos referentes ao tema. Por essa razão, apresentou-se uma descrição cuidadosa e tecnicamente precisa dos principais indicadores de volume de produção associados à construção de navios.

Utilizando dados disponíveis na literatura, foram calculados os custos unitários de mão de obra considerando diferentes valores de salário e produtividade, os quais referem-se as realidades observadas em estaleiros no Brasil, China, Coreia do Sul e Japão. A partir desses valores, avaliou-se o custo de mão de obra para a construção de um navio petroleiro Suezmax típico, considerando cada um dos cenários analisados.

Os resultados mostraram que, em virtude da produtividade, mesmo com um salário menor, o custo de mão de obra brasileiro para construir um navio chega a ser 400% maior do que o custo de mão de obra de um estaleiro sul coreano.

Considerando os resultados, entende-se a busca constante dos estaleiros por melhores índices de produtividade, visando manterem-se competitivos na ICN. Os dados evidenciaram a vulnerabilidade do estaleiro às alterações no custo de matéria prima. Tendo poucas alternativas para conter essas despesas, justifica-se o constante monitoramento dos índices de produtividade, visando identificar oportunidades de melhorias.

Com uma boa gestão dos índices de produtividade e do monitoramento da cadeia de processos, os estaleiros podem tirar proveito das experiências acumuladas, aumentando a declividade da curva de aprendizado.

A revisão bibliográfica mostrou que os estaleiros brasileiros tendem a ter uma curva de aprendizado com declividade da ordem de 85%, enquanto estaleiros asiáticos chegam a apresentar 70% de declividade. Por isso, ainda que o custo inicial de construção de uma série de navios seja o mesmo, ao longo do tempo, em virtude da maior taxa de aprendizado, os estaleiros nacionais perdem competitividade no cenário internacional.

Por fim, os resultados mostraram que a produtividade pode variar de estaleiro para estaleiro mesmo dentro de um único país, além de variar também conforme o porte do estaleiro e das embarcações que constrói.

Segundo Oliveira et al. (2013), muitos estaleiros já faliram em virtude da incapacidade de manter seu orçamento baseado na oferta original. Tal situação pode ser compreendida quando são considerados os diversos fatores analisados neste trabalho. Para a indústria brasileira esse tipo de oscilação pode ser ainda mais difícil de ser absorvida, principalmente se forem considerados os longos períodos de produção e a possibilidade de contratos com longa previsão de entrega.

Além das recomendações para trabalhos futuros realizadas ao longo do texto, sugere-se também expandir a análise para as despesas com equipamentos e seu impacto no custo total de construção.

REFERÊNCIAS

ABIMAQ - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. **A nacionalização racional das navieças: a importância da inovação na cadeia de suprimentos**. São Paulo: ABIMAQ, 2011.

AUSTRALIAN SUBMARINE CORPORATION. **A Sustainable Australian Naval Industry**. ASC. 2013.

BAITELLO, André. **Avaliação do Aprendizado na Produtividade de um Estaleiro: uma Abordagem Através da Dinâmica de Sistemas**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012

BASTOS, Igor Vieira. **ANÁLISE ECONÔMICA E OPERACIONAL DE UM PETROLEIRO SUEZMAX**. 2017. 73 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

BENFORD, H. **On the rational selection of ship size**. Michigan. Department of Naval Architecture and Marine Engineering, 1966.

BENFORD, H. **Marine Tecnology: The practical application of economics to Merchant ship desing**. 3 ed. Michigan. Department of Naval Architecture and Marine Engineering, 1976.

CARREYETTE, J. **Preliminary ship cost estimation**. Naval Architect, n. 4, 1978.

CEGN - CENTRO DE ESTUDOS EM GESTÃO NAVAL. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007

CRAGGS, J; BLOOR, D; TANNER, B; BULLEN, H. Methodology used to calculated naval compensated gross tonnage factors. **Journal of Ship Production**, v. 19, n. 01, p. 22-28, 1 fev 2003. The Society of Naval Architects and Marine Enginners.

CONLEY, P. **Experience Curves as a planning tool**. IEE Spectrum, v. 7, n. 6, p. 63-68, 1970.

DE PAULA, G. M. **Separação por classes de sistemas e vantagem competitiva em cada classe: siderurgia**. São Paulo: CEGN, 2007.

DORES, P. B; LAGE, E. S; PROCESI, L, D. A retomada da indústria naval brasileira. **BNDES 60 anos: perspectivas setoriais**. Rio de Janeiro. BNDES, 2012.

DÓRIA, Marden Vergetti Cardoso. **Modelo de previsão do impacto socioeconômico da indústria naval brasileira: os casos de estaleiros na Bahia e Alagoas**. 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

ECORYS. **Study on the competitiveness of the European shipbuilding**. Rotterdam: Ecorys, 2009.

FAVARIN, Júlio Vicente Rinaldi; PINTO, Marcos Mendes de Oliveira; ANDERSON, Valdir Lopes; BARACAT, Leonardo Mois. **Competitividade da indústria naval brasileira**. In. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIARIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, – Sobena, 2010, Rio de Janeiro

FAVARIN, Júlio Vicente Rinaldi. **Metodologia de formulação de estratégia de produção para estaleiros brasileiros**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FATOR BRASIL. Transpetro defende a competição, não o monopólio privado. Fator Brasil, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=66594. Acesso em: 10 mar. 2021

FMI - FIRST MARINE INTERNATIONAL. Findings for the Global Shipbuilding Industrial Base. 2005

FMI - FIRST MARINE INTERNATIONAL. Findings for the Global Shipbuilding Industrial Base. Part 2. Mid-tier shipyards. 2007

FISHER, Jan. O.; HOLBACH, Gerd. **Cost management in Shipbuilding**: planning, analyzing and controlling product cost. Berlin: GKP Publishing, 2011.

FOCUS ECONOMICS. **Steel Price History Data**. 2021. Disponível em: <https://focus-economics.com/commodities/base-metals/steel>. Acesso em: 05 mar. 2021

GENERAL STEEL BUILDINGS. **Steel Price Forecast**. 2021. Disponível em: <https://gensteel.com/steel-building-prices/forecast>. Acesso em: 15 abr. 2021

GROSSE, E. H; GLOCK, C. H; MULLER, S. **Production economics and the learning curve: a meta-analysis**. Production Economics, v. 170, p. 401-412, 2015.

INVESTING. **USD/BRL**: dados históricos. 2021. Disponível em: <https://br.investing.com/currencies/usd-brl-historical-data>. Acesso em: 15 abr. 2021.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Competitividade e tributação na indústria de construção naval brasileira: peso dos tributos sobre preço de navio petroleiro e plataforma offshore**. Brasília, 2014.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Estrutura de custos, tributação e competitividade na indústria de construção naval: Comparando Coreia do Sul, China e Brasil**. Brasília, 2014.

IMO - INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **International Convention on Tonnage Measurement of Ships**. Londres, 1969.

JIANG, L.; STRANDENES, S. P. **Assessing the cost competitiveness of China's shipbuilding industry**. (Working Paper, n. 111). University of Southern Denmark, Department of Sociology, Environmental and Business Economics.

KRELING, João Paulo Dutra; OZÓRIO, Arthur Kreling; FERREIRA, José Ângelo. **APLICAÇÃO DA CURVA DE APRENDIZAGEM NA PREVISÃO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO. Gestão da Produção em Foco: uma abordagem holística**, 2019. Editora Conhecimento Livre

LAMB, Thomas et al. (Ed.). **Ship design and construction**. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2004.

LAMB, Thomas; HELLESOY, Aasmund. A Shipbuilding Productivity Predictor. **Journal of Ship Production**, v. 18, n 02, p 79-85, 1 maio 2002. The Society of Naval Architects and Marine Engineers

MATOS, Juan Carlos. **Modelo empírico para a estimativa dos custos de construção de um navio de cruzeiro**. 2017. 94 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Naval, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

MICHALSKI, Jan, P. Parametric method of preliminar prediction of the ship Building costs. **Polish Maritime Research**. Gdansk, 2004. p. 16-19.

MICKEVICIENE, Rima. **Global shipbuilding competition: trends and challenges for Europe**. In: Piotr Pachura (ed.) *The Economics Geography of Globalization*, Intertechopen, 2011.

MINERVA MARINE. **Suezmax**. 2021. Disponível em <https://minervamarine.com/fleet/suezmax>. Acesso em: 10 abr. 2021

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Compensated Gross Ton (CGT) system**. Paris: OECD, 2007.

OLIVEIRA, M. L. M. C; AMARO, R. G; MOSER, D. D. N.; MELO, E. S. D. **Produtividade Naval: um estudo empírico da indústria brasileira**. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 08 a 11 de outubro de 2013, Salvador.

OLIVEIRA, M. L. M. C; ANDRADE, G. B., SILVA, J.; MOSER, D. D. N.; MELO, E. S. D. **Produtividade Naval: um estudo empírico da indústria brasileira II**. In: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 07 a 10 de outubro de 2014, Curitiba.

PAPANIKOLAOU, Apostolos. **Ship Design: methodologies of preliminary design**. Atenas: Springer, 2014.

PETKOVIC, M; SHINOBARA, A. Monitoramento da Produtividade na Construção Naval. 2015

PIRES, Floriano C. M.; LAMB, Thomas; SOUZA, Cassiano M. Shipbuilding performance benchmarking. **International journal of business performance management**. V. 11, n. 3, p. 216-235, jan, 2009.

QUEIROZ, Adriane Angélica Farias Santos; PEREIRA, Luis Henrique; PEREIRA, Susana Carla Farias. Análise de práticas na indústria naval: contribuições para a construção de redes de suprimentos. **Anais**, Simpoi, 2010.

ROY, Rajkumar. Cost Engineering: why, what and how? **Decision Engineering Report Series**. Cranfield University, Cranfield, 2003.

SHETELIG, Haakon. **Shipbuilding cost estimation: parametric approach**. 2013. 47 f. Dissertação (Mestrado) – Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2013.

SOKRI, Abderrahmane; GHANMI, Ahmed. Cost risk analysis and learning curve in the military shipbuilding sector. **International Journal Of Data Analysis Techniques And Strategies**, v. 9, n. 4, p. 300, 2017. Inderscience Publishers.

SOUZA, Cassiano Marins de. **TÉCNICAS AVANÇADAS EM PLANEJAMENTO E CONTROLE DA CONSTRUÇÃO NAVAL**. 2009. 290 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

STEEL ON THE NET. **2020 World Steel Demand**. 2021. Disponível em: <https://steelonthenet.com/consumption>. Acesso em: 20 jan. 2021

STEWART, Rodney D; WYSKIDA, Richard M; JOHANNES, James D. Cost Estimators`s Reference Manual (2nd edition). **New Dimensions in Engineering**. 1995

STONECYPHER, L. **Methods of shipbuilding costs analysis**. Bright Hub Engineering, 2009.

STOPFORD, Martin. **Maritime Economics**. 2. ed. Londres: Routledge, 2003. 526 p

STOTT, P; WRIGHT P. N. H; BAKALEES, A. **Typical ship principal dimensions**. Newcastle University School of Marine Science and Technology, Newcastle, 2011.

STUMP, E. All About Learning Curves, 2002.

STUPELLO, Bruno; ANDERSON, Valdir Lopes; GALLARDO, Alfonso Pires; PINTO, Marcos Mendes de Oliveira. Definição da estrutura analítica de um navio petroleiro SUEZMAX em função dos ativos disponíveis no estaleiro. **Anais**. Rio de Janeiro: SOBENA, 2008.

STROIEKE, Renato E.; FOGLIATTO, Flavio S.; ANZANELLO, Michel J. **Estado da arte nas aplicações de curvas de aprendizado**. Gest. Prod, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 681-694, 2013.

TEPLITZ, Charles J. **Learning curves in project cost estimates**. *In*: Naval Postgraduate School, 14 ago. 2014. Monterey. Disponível em: <https://nps.edu/web/nps-video-portal/-/xueqocqarxeboxvqf3xm9cay7wm5nzc>. Acesso em: 28 jan. 2021.

TRADING ECONOMICS. **Steel 2016-2021 Data**. 2021. Disponível em: <https://tradingeconomics.com/commodities/steel>. Acesso em: 15 abr. 2021

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. **Review of maritime transport**. 2006.

VASUDEVAN, Aji. Tonnage Measurement of Ships: historical evolution, current issues and proposals for the way forward. 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Maritime Safety and Environmental Administration, World Maritime University, Malmo, 2010.

WRIGHT, T. P. Factors affecting the cost of airplanes. **Journal of the Aeronautical Sciences**, v. 3, n. 4, p. 122-128, 1936.

ANEXO A

Tabela A – Coeficientes e cálculo de CGT

COMPENSATED GROSS TON SYSTEM – REVISED 1 JANUARY 2007

USER GUIDE

i) The formula to be used in the calculation of cgt is: $cgt = A * gt^B$

where: gt is the declared gross tonnage of the vessel;

A is the factor in Table 1 which represent the influence of ship type;

B is the factor in Table 1 which represents the influence of ship size.³

TABLE 1: A and B factors for cgt calculations

Ship type	A	B
Oil tankers (double hull)	48	0.57
Chemical tankers	84	0.55
Bulk carriers	29	0.61
Combined carriers	33	0.62
General cargo ships	27	0.64
Reefers	27	0.68
Full container	19	0.68
Ro ro vessels	32	0.63
Car carriers	15	0.70
LPG carriers	62	0.57
LNG carriers	32	0.68
Ferries	20	0.71
Passenger ships	49	0.67
Fishing vessels	24	0.71
NCCV	46	0.62

Fonte: OECD (2007)

ANEXO B

Tabela B – Valores de ULC para a indústria naval brasileira

Ano	Brasil
	Custo unitário de mão de obra (USD/CGT)
1996	284,5
1997	330,2
1998	158,7
1999	306,8
2000	465,4
2001	837,9
2002	1229,6
2003	741,0
2004	1118,7
2005	937,2
2006	731,5
2007	1454,5
2008	1292,5
2009	1138,8
2010	1489,6
2011	1333,8

Fonte: IPEA (2014)

ANEXO C

Tabela C – Valores de salário médio e produtividade divulgados por Jiang e Strandenes

Ano	China		Coréia do Sul		Japão	
	Salário (\$/hh)	Produtividade (CGT/hh)	Salário (\$/hh)	Produtividade (CGT/hh)	Salário (\$/hh)	Produtividade (CGT/hh)
2000	0,570	0,009	11,380	0,045	14,170	0,071
2001	0,640	0,010	12,090	0,048	14,650	0,077
2002	0,770	0,011	12,880	0,051	15,490	0,082
2003	0,860	0,011	13,380	0,055	16,010	0,088
2004	0,930	0,012	14,740	0,058	16,880	0,093
2005	0,990	0,013	16,530	0,061	17,870	0,099
2006	1,150	0,014	17,960	0,064	18,480	0,105
2007	1,350	0,015	19,440	0,067	18,740	0,110
2008	1,650	0,015	19,940	0,071	19,460	0,116
2009	1,970	0,016	21,290	0,074	20,240	0,121

Fonte: Jiang e Strandenes (2011)

ANEXO D

Figura D – Classificação dos níveis tecnológicos de estaleiros

Elemento	Nível Tecnológico				
	1	2	3	4	5
Estrutura principal	• Carreira longitudinal ou lateral		• Dique escavado		
Movimentação de carga	• Guindastes 10 a 50t	• Guindastes/pórticos 50 a 200t	• Equipamentos* 200 a 500t	• Equipamentos 500 a 1.500t	• Equipamentos superior a 1.500t
Processamento de aço	• Corte manual/ótico • Solda manual		• Corte a plasma • Solda semi-automática		• Corte a laser** • Solda robotizada
Informatização		• CAD	• CAD/CAM • MRP	• CAD/CAM/CIM*** • ERP	
Data dos primeiros estaleiros	1960	1970	1980	1990	

*São incluídos guindastes, pórticos, cabreas e sistema conjunto de trilhos+guindastes
 **Apesar de não aplicável a chapas de maior espessura, considerada o estado das artes da tecnologia de corte
 ***CAD- Computer Aided Design; CAM – Computer Aided Manufacturing; CIM- Computer Integrated Manufacturing

Fonte: Oliveira et al (2013) apud CEGN (2007)

ANEXO E

Figura E – Procedimento para cálculo do GT

Regulation 3

Gross tonnage

The gross tonnage (GT) of a ship shall be determined by the following formula:

$$GT = K_1V$$

where: V = Total volume of all enclosed spaces of the ship in cubic metres,

$K_1 = 0.2 + 0.02\log_{10}V$ (or as tabulated in Appendix 2).

Fonte: IMO (1969)

ANEXO F

Tabela F – Dimensoes do navio petroleiro Minerva Kalypso

Navio Suezmax Minerva Kalypso	
Comprimento total (L)	274,2 m
Boca (B)	48 m
Calado (T)	17,1 m
Peso morto (DWT)	159051
Arqueação bruta (GT)	81361
Potencia instalada (BHP)	19203

Fonte: Minerva Marine (2021)

APÊNDICE A

Tabela A.1 – Valores do preço do aço

Ano	Preço do aço (USD/t)	Fonte
2010	646,7	General Steel
2011	749,6	General Steel
2012	663,3	General Steel
2013	614,6	General Steel
2014	570	General Steel
2015	413	General Steel
2016	519,9	Focus-economics
2017	619,9	Focus-economics
2018	430	Focus-economics
2019	603,5	Focus-economics
2020	570	Trading economics
2021	770	Trading economics

Fonte: General Steel (2017), Focus-economics (2021), Trading economics (2021)

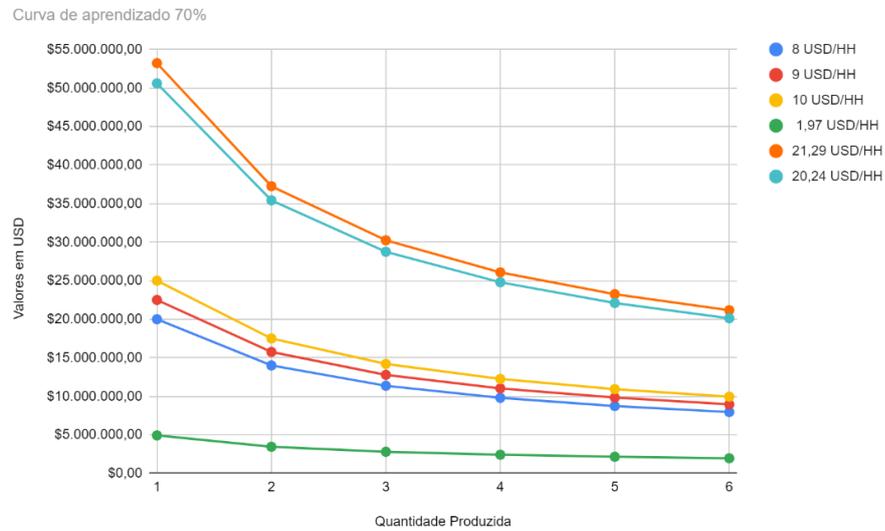
Tabela A.2 – Cotação do dólar

Ano	USD/BRL
2010	1,88
2011	1,66
2012	1,74
2013	1,99
2014	2,41
2015	2,68
2016	3,99
2017	3,15
2018	3,18
2019	3,64
2020	4,28
2021	5,46

Fonte: Investing (2021)

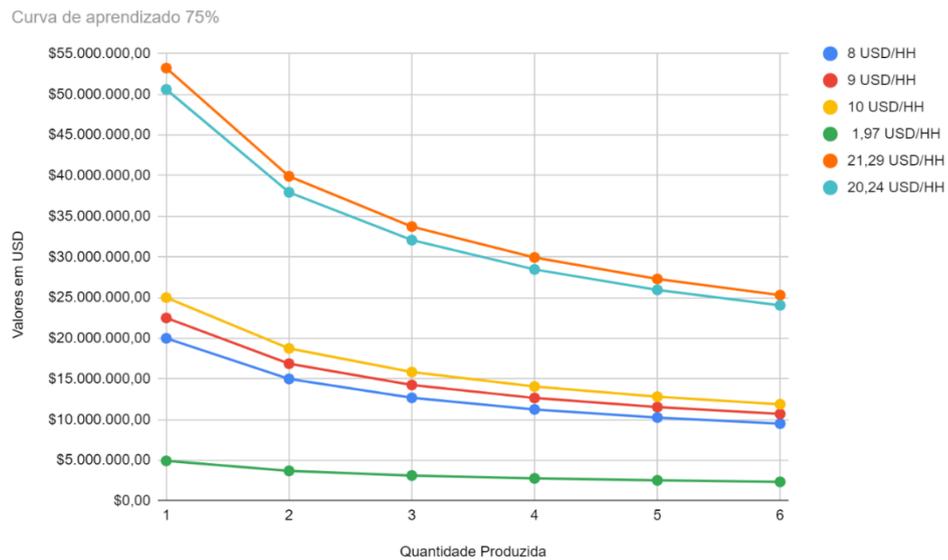
APÊNDICE B

Figura B.1 - Estimativa de custo de mão de obra com curva de aprendizado de 70%



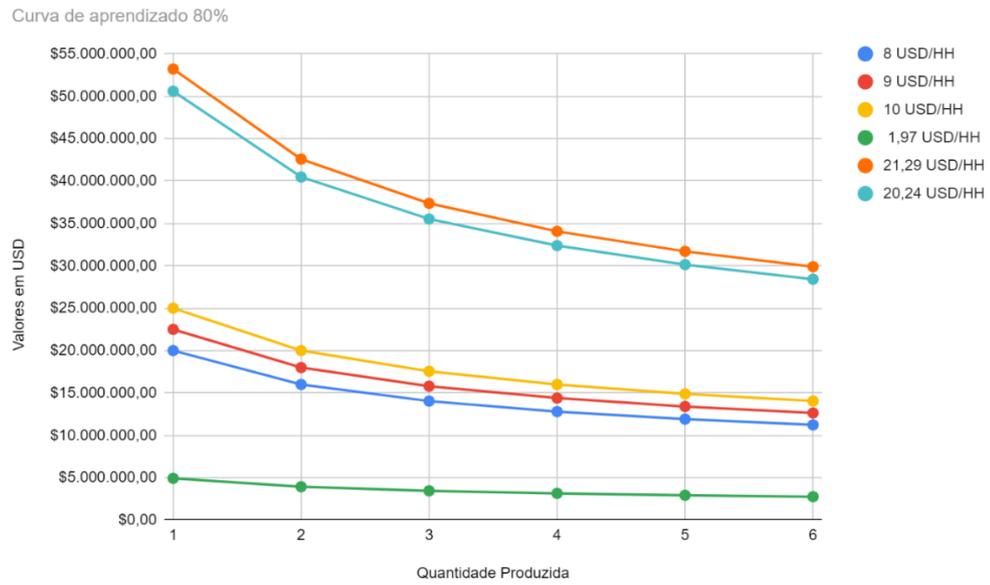
Fonte: O autor (2021)

Figura B.2 - Estimativa de mão de obra com curva de aprendizado de 75%



Fonte: O autor (2021)

Figura B.3 - Estimativa de mão de obra com curva de aprendizado de 80%



Fonte: O autor (2021)