



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



VINÍCIUS VERÍSSIMO DE SÁ MADEIRA

**ESTUDO DE FERRAMENTAS UTILIZADAS NA RETIRADA DE
BIOINCRUSTAÇÃO EM NAVIOS GRANELEIROS**

OURO PRETO - MG
2021

VINÍCIUS VERÍSSIMO DE SÁ MADEIRA

vinicius.madeira@aluno.ufop.edu.br

**ESTUDO DE FERRAMENTAS UTILIZADAS NA RETIRADA DE
BIOINCRUSTAÇÃO EM NAVIOS GRANELEIROS**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: Dr. Paulo Henrique Vieira Magalhães

**OURO PRETO – MG
2021**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M181e Madeira, Vinicius Verissimo de Sa .

Estudo de ferramentas utilizadas na retirada de bioincrustação em navios graneleiros. [manuscrito] / Vinicius Verissimo de Sa Madeira. - 2021.

67 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Vieira Magalhães.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Bioincrustação. 2. Limpeza de Cascos. 3. Robótica. 4. Navios Graneleiros. I. Magalhães, Paulo Henrique Vieira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Vinícius Veríssimo de Sá Madeira

ESTUDO DE FERRAMENTAS UTILIZADAS NA RETIRADA DE BIOINCRUSTAÇÃO EM CASCOS DE NAVIOS GRANELEIROS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 10 de dezembro de 2021

Membros da banca

Prof. Dr. Paulo Henrique Vieira Magalhães - Orientador(a) Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Ana Leticia Pilz de Castro - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. MSc. Sávio Sade Tayer - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Dr. Paulo Henrique Vieira Magalhães, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/12/2021



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Henrique Vieira Magalhaes, CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**, em 17/12/2021, às 21:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0260811** e o código CRC **7A27A44A**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.013392/2021-05

SEI nº 0260811

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3559-1533 - www.ufop.br

AGRADECIMENTO

Agradeço em primeiro lugar à Deus e ao meu Anjo da Guarda, que sempre me guiaram e protegeram.

Aos meus pais, Nilo e Márcia, pela confiança, conselhos e por me apoiarem em todas as decisões da minha vida.

À minha irmã, Isadora, por todo apoio, incentivo e por me ensinar sobre o amor verdadeiro.

À Nágilla pelo amor, paciência e companheirismo.

Ao Levi, pelos conselhos e parceria.

Aos professores do Curso de Engenharia Mecânica por suas importantes contribuições para minha carreira profissional.

Ao meu orientador Paulo Magalhães e minha coorientadora Ana Letícia pelo apoio, conselhos, incentivo e orientação neste trabalho.

A vida republicana de Ouro Preto e todas as amizades que pude fazer durante essa jornada em busca do conhecimento.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”.

Cora Coralina

RESUMO

MADEIRA, Vinícius Veríssimo de Sá: **Estudo de ferramentas utilizadas na retirada de bioincrustação em navios graneleiros**, 2021. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

Os ecossistemas marinhos são abundantes e diversos, eles têm sido largamente explorados em razão da crescente demanda mundial pelo transporte marítimo em razão dos seus diversos benefícios. Com essa alta demanda de movimentação de embarcações por todo o mundo, surge uma das variáveis mais discutidas atualmente, a incrustação em casco de navios e as maneiras nas quais isso pode ser combatido. As cracas aderidas ao casco dos navios são as responsáveis por aumentar o arrasto hidrodinâmico das embarcações, ou seja, com o aumento do arrasto tem-se um maior consumo de combustível, sendo que esse é uma enorme fonte de gastos para todas as empresas que trabalham com navegação. Nesse contexto, várias empresas ao redor do mundo desenvolveram sistemas capazes de remover a incrustação no casco dos navios, criando sistemas manuais, semiautônomos e autônomos. Diante disso, o presente trabalho é de natureza bibliográfica, quantitativa e descritiva. O objetivo principal deste estudo é analisar as diferentes ferramentas de limpeza de casco de navios graneleiros, bem como seus desempenhos, levando em consideração alguns critérios como seu método de operação. Inicialmente é apresentada uma abordagem teórica sobre os tipos de incrustação e de ferramentas de limpeza. A partir do levantamento das principais ferramentas utilizadas em navios graneleiros, foram realizadas análises comparativas da capacidade desses sistemas de limpeza levando em consideração critérios como tamanho do sistema, modo de operação, capacidade de limpeza e o custo. Desta maneira, foi possível definir a melhor ferramenta de limpeza para casco de navios graneleiros. De acordo com todos os critérios aplicados e análises realizadas, a melhor ferramenta de limpeza para casco de navios graneleiros foi a *HullWiper* produzida em Dubai, nos Emirados Árabes. A ferramenta *HullWiper* possui a maior capacidade de limpeza diante das ferramentas analisadas, além disso, o seu robusto sistema de limpeza permite uma grande adaptação em vários ecossistemas. Apesar do custo de aquisição elevado, o fabricante possui bases em vários países, o que permite a grande faixa de operação.

Palavras-chave: Bioincrustação. Limpeza de Cascos. Robótica. Navios Graneleiros.

ABSTRACT

MADEIRA, Vinícius Veríssimo de Sá: **Study of tools used in the removal of biofouling on bulk carriers**, 2021. (Graduation in Mechanical Engineering). Universidade Federal de Ouro Preto.

Marine ecosystems are abundant and diverse, they have been widely exploited due to the increasing worldwide demand for maritime transport due to its diverse benefits. With this intense demand for moving ships around the world, one of the most discussed variables currently arises, incrustation on ships' hulls and the ways in which this can be avoided. Barnacles adhered to the hull of ships are responsible for increasing the hydrodynamic drag of vessels, that is, with the increase in drag, there is a more excessive consumption of fuel, which is a huge source of expenses for all companies that work with navigation. In this context, several companies around the world have developed systems capable of removing scale from the hull of ships, creating manual, semi-autonomous and autonomous systems. Therefore, the present work is bibliographical, quantitative and descriptive in nature. The main objective of this study is to analyze the different tools for cleaning the hull of bulk carriers, as well as their performance, taking into account some criteria like their method of operation. Initially, a theoretical approach on the types of scale and cleaning tools is presented. From the survey of the main tools used in bulk carriers, the comparative analyzes of the capacity of these cleaning systems were carried out, taking into account criteria such as system size, mode of operation, cleaning capacity and cost. In this way, it was possible to define the best cleaning tool for the hull of bulk carriers. According to all the criteria applied and the analyzes carried out, the best cleaning tool for the hull of bulk carriers was the HullWiper produced in Dubai, in the United Arab Emirates. The HullWiper tool has the greatest cleaning capacity compared to the analyzed tools, in addition, its robust cleaning system allows a great adaptation in various ecosystems. Despite the high acquisition cost, the manufacturer has bases in several countries, which allows for a wide range of operations.

Key-words: Biofouling. Hoof Cleaning. Robotics. Bulk Ships.

LISTA DE SIMBOLOS

ROVs – *Remotely Operated Vehicles*

MHC – *Magnetic Hull Crawler*

IMU – *Inertial Measurement Unit*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de bioincrustação suave - lodo.....	5
Figura 2: Exemplo de bioincrustação suave - limo.	6
Figura 3: Exemplo de bioincrustação dura - cracas.....	6
Figura 4: Exemplo de bioincrustação dura - vermes Tubulares.	7
Figura 5: Exemplo de bioincrustação dura - depósitos de calcário.	8
Figura 6: Exemplo de bioincrustação composta.....	9
Figura 7: Propulsor de um navio graneleiro.	10
Figura 8: Bulbo de navio.	11
Figura 9: Navio dentro da área de docagem.	12
Figura 10: Entrada da caixa de mar sendo inspecionada.....	13
Figura 11: Eixo de propulsão de um navio.....	14
Figura 12: Bioincrustação sendo removida manualmente através de raspadores.	16
Figura 13: Exemplos de ferramentas manuais para limpeza de cascos de navios.....	17
Figura 14: Exemplos de carrinhos de escovas operados por mergulhadores para limpeza de casco.	18
Figura 15: Exemplo de ROV utilizado para limpeza de grandes embarcações..	19
Figura 16: Ferramenta <i>Envirocart</i> equipada com escovas rotativas.....	20
Figura 17: Ferramenta de limpeza equipada com lâminas rotativas.	21
Figura 18: Ferramenta de limpeza em utilização.....	21
Figura 19: Caixa para limpeza de ânodo.	22
Figura 20: Exemplo de incrustação sendo removida com jatos de alta pressão.....	23
Figura 21: Exemplos de equipamentos de limpeza por jato cavitacional.....	25
Figura 22: Materiais e Métodos.....	28
Figura 23: Robô <i>Fleet Cleaner</i>	32
Figura 24: <i>Fleet Cleaner</i> aderido ao casco de um navio.	34
Figura 25: <i>Fleet Cleaner</i> realizando a limpeza do casco de um navio.....	35

Figura 26: Representação do <i>GreenSea Robotic Hull Cleaner</i> em fase de projeto.....	36
Figura 27: <i>GreenSea Robotic Hull Cleaner</i> realizando a limpeza de casco de um navio.....	38
Figura 28: Software de controle avançado do <i>GreenSea Robotic Hull Cleaner</i>	39
Figura 29: Representação final do projeto do <i>HullBUG</i>	39
Figura 30: <i>HullBUG</i> sendo inserido no mar para executar a operação de limpeza.....	41
Figura 31: <i>HullWiper</i> inserido no mar a caminho da superfície de limpeza.	42
Figura 32: Barco de apoio a operação do robô.....	44
Figura 33: <i>HullWiper</i> sendo controlado por controle remoto.....	45
Figura 34: <i>HullWiper</i> em operação de limpeza.	45
Figura 35: <i>Magnetic Hull Crawler</i> realizando inspeção.	46
Figura 36: Software presente no <i>MHC</i> mostrando faixa de inspeção.	48
Figura 37: <i>MHC</i> executando operação de limpeza em casco de navio.	49
Figura 38: <i>RovingBAT</i> em operação.....	50
Figura 39: Tela do software de controle do robô.....	52
Figura 40: Estação de controle do <i>RovingBAT</i>	53
Figura 41: Gráfico comparando as áreas ocupadas por cada robô.	54
Figura 42: Capacidade de limpeza das ferramentas.	56
Figura 43: Custo das ferramentas de limpeza.....	57
Figura 44: Navio graneleiro de transporte de minério, Valemax.	58
Figura 45 : Representação da linha de água em um navio.	58
Figura 46: Métodos de fixação das ferramentas no casco..	59
Figura 47: Comparação da área ocupada vs Capacidade de limpeza das ferramentas.....	61
Figura 48: Comparação do modo de operação das ferramentas de limpeza.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis e Indicadores	29
Tabela 2: Sistemas de limpeza, fabricantes e países de origem.	31
Tabela 3: Especificações técnicas <i>Fleet Cleaner</i>	32
Tabela 4: Especificações técnicas <i>GreenSea Robotic Hull Cleaner</i>	36
Tabela 5: Especificações técnicas <i>HullBUG</i>	40
Tabela 6: Especificações técnicas <i>HullWiper</i>	42
Tabela 7: Especificações técnicas <i>Magnetic Hull Crawler</i>	46
Tabela 8: Especificações técnicas <i>RovingBAT</i>	50
Tabela 9: Ferramentas e seus modos de operação.	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Classificação dos níveis de incrustação.....	4
2.1.1	Tipos e categorias de Bioincrustação	4
2.2	Superfícies críticas de bioincrustação.....	9
2.2.1	Propulsores	9
2.2.2	Bulbo	10
2.2.3	Superfícies de rolamento de docagem.....	11
2.2.4	Caixas de mar	12
2.2.5	Eixos de propulsão	13
2.3	Ferramentas de limpeza de cascos de navios.....	14
2.3.1	Tecnologias manuais	15
2.3.2	Tecnologias Mecânicas.....	16
3	METODOLOGIA.....	26
3.1	Tipos de pesquisa.....	26
3.2	Materiais e Métodos	27
3.3	Variáveis e Indicadores	28
3.4	Coleta de Dados.....	29
3.5	Tabulações de Dados	29
3.6	Considerações Finais	30
4	RESULTADOS	31
4.1	Delimitação do Trabalho	31
4.2	Especificações dos sistemas de limpeza.....	31
4.2.1	Fleet Cleaner.....	32

4.2.2	GreenSea Robotic Hull Cleaner	35
4.2.3	HullBUG (Hull Bio-inspired Underwater Grooming).....	39
4.2.4	HullWiper	42
4.2.5	Magnetic Hull Crawler	46
4.2.6	RovingBAT	49
4.3	Tamanho do Sistema de limpeza	53
4.4	Modo de operação	54
4.5	Capacidade de limpeza	55
4.6	Custo de Aquisição	56
4.7	Material e área útil do casco	57
5	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS.....	61
5.1	CONCLUSÃO.....	63
5.2	RECOMENDAÇÕES.....	64
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

A navegação desempenha um papel fundamental no cenário mundial econômico, sendo utilizada desde a época do descobrimento. Como na época em questão, era a única tecnologia conhecida para exploração de novos lugares, foi muito difundida para a comercialização de especiarias e exploração de novas terras, levando trabalhadores e trazendo riquezas das colônias. (INTERNATIONAL MARINE COATINGS, 2015).

Atualmente, apesar dos inúmeros meios de transportes existentes, a navegação continua sendo muito explorada por diversos países e grandes empresas ao redor do mundo, sendo porta de entrada e saída para exportações e importações. A possibilidade de se alavancar essas atividades, bem como acelerar a economia de um país sem pensar em investimentos na navegação é praticamente remota. Atrélado aos avanços tecnológicos na área, ainda é possível encontrar um problema muito grave relacionado a bioincrustação em navios de grande porte, podendo ocasionar diversos problemas, como por exemplo, o gasto exacerbado de combustível, levando em consideração que a força de arrasto será maior quando comparado ao navio não incrustado. (INTERNATIONAL MARINE COATINGS, 2015).

As cracas, responsáveis por causar os danos supracitados, são crustáceos incrustantes de substratos duros, sejam eles naturais, por exemplo, recifes de corais ou artificiais (deques e embarcações). Segundo Davis *et al.* (1989), algumas espécies possuem ampla distribuição geográfica e ampla tolerância ambiental e têm sido consideradas como espécies exóticas e invasoras por todos os continentes (FARRAPEIRA, 2010). No Brasil, por exemplo, existem cerca de 53 (cinquenta e três) espécies identificadas somente na região Nordeste, e outras ainda não foram propriamente identificadas e catalogadas (Farrapeira, 2010).

Apesar dos problemas causados, as cracas são consideradas boas espécies de estudos de monitoramento, já que a maioria é amplamente conhecida e monitorada, além disso, são ótimos bioindicadores de qualidade da água, pois algumas espécies são sensíveis as variações das condições ambientais, e sua distribuição generalizada permite comparações entre diferentes continentes (FARRAPEIRA, 2010).

De acordo com Vrouwenvelder *et al.* (2010), a capacidade de incrustar e as conchas, combinadas com a dispersão larval planctônica na maioria das espécies (via água de lastro), fornecem às cracas ferramentas adaptativas para invadir e incrustar em diversos ambientes. A

capacidade de se aderir química e fisicamente das cracas dificulta a manutenção das embarcações e, portanto, têm gerado altos custos, incluindo limpeza de cascos dos navios por equipes de mergulhadores.

Assim, a incrustação das cracas em navios tem sido frequentemente reportada como uma das principais dificuldades em diminuir o atrito no casco dos navios (KIM *et al.*, 2009).

Atualmente, existem metodologias de controle da bioincrustação de organismos, como tintas anti-incrustante e a limpeza do casco por mergulhadores. Ainda existe, como tecnologia emergente o uso de robôs para limpeza, assim como o uso de ultrassom para prevenir a bioincrustação de organismos nos cascos de embarcações, considerando a necessidade emergente de redução da incrustação em cascos de navios, pergunta-se:

Quais são os melhores e mais avançados sistemas de limpeza que fazem a retirada de bioincrustação dos cascos de navios graneleiros?

1.2 Justificativa

A navegação do transporte de minério aos portos dos consumidores representa cerca de 50% do custo do minério. O combustível dos navios representa cerca de 60% da matriz energética.

As incrustações no casco podem implicar em um aumento de 20% na resistência à propulsão quando o navio está próximo a docagem. Em decorrência, serão grandes os impactos em custos e viabilidade econômica da frota, sendo necessário e urgente avaliar alternativas tanto para projeto de novos navios quanto para *retrofit* da frota atual para manter a competitividade da produção. Paralelamente, a importação de espécies exóticas de bioincrustações no casco estão cada vez mais regulamentadas.

Diversas espécies de organismos de outras regiões do planeta podem incrustar na estrutura de uma embarcação e promover impactos para o meio ambiente e para os proprietários do navio. Por este motivo faz-se necessário descrever os principais organismos que utilizam da incrustação como vetor de dispersão da espécie, além do levantamento e descrição de métodos utilizados para a limpeza de casco das embarcações, o que pode reduzir a proliferação da espécie se realizado de forma correta. (LEÃO, *et al.*, 2011).

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Avaliar os sistemas de limpeza que fazem a retirada de bioincrustação dos cascos de navios graneleiros.

1.3.2 Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre as principais ferramentas de limpeza de cascos;
- Elaborar levantamento das melhores ferramentas de limpeza de casco junto aos fornecedores: tamanho do sistema, modo de operação, capacidade de limpeza e custo, etc;
- Analisar os resultados e indicar a melhor ferramenta para a limpeza de bioincrustação em cascos de navios graneleiros em relação aos parâmetros analisados.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, onde o capítulo 1 apresenta a formulação do problema, sua justificativa, e os objetivos gerais e específicos para este estudo. O capítulo 2 apresentará a revisão bibliográfica sobre as ferramentas disponíveis no mercado nacional e internacional, bem como os principais sistemas de limpeza utilizados, apresentando vantagem e desvantagem de cada um e a finalidade da sua utilização. Para o capítulo 3 tem-se a metodologia adotada na pesquisa. No capítulo 4 são mostrados os ganhos associados a utilização de determinadas ferramentas de limpeza de cascos. Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões que podem ser retiradas a respeito do levantamento das ferramentas de limpeza de cascos de navios.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo será abordado as bases teóricas utilizadas para a realização do estudo. Será retratado a classificação dos níveis de incrustação, as superfícies críticas de bioincrustação e as categorias de ferramentas de limpeza.

2.1 Classificação dos níveis de incrustação

Segundo Azis *et al.* (2001), a incrustação de navios é um processo recorrente que segue padrões identificáveis de crescimento. Relativamente poucos tipos de organismos são responsáveis pela incrustação do casco e tendem a se desenvolver dependendo da localidade geográfica.

Para Lopes *et al.* (2009) a incrustação nos cascos pode afetar o desempenho da embarcação, Andrade (2010) diz que estruturas metálicas navais que apresentam bioincrustação, como por exemplo, cracas, mexilhões e algas, podem ter um aumento no consumo de combustível de até 40%, isso dependendo do nível de incrustação.

Trovati (2011) reitera a afirmação anterior fazendo uma citação ao uso de tintas anti-incrustantes e a importância da limpeza de casco nas embarcações:

As tintas anti-incrustantes são aplicadas nos cascos dos navios evitando o ataque de organismos incrustantes, como cracas, mexilhões e alga. Infelizmente após um período de tempo, a tinta se desgasta devido ao contato com a água, permitindo a incrustação destes organismos diminuindo significativamente a eficiência operacional com consequente aumento nos custos, devido, principalmente, ao aumento no consumo de combustível (TROVATI, 2011).

Martins e Vargas (2011) dizem que o aumento de consumo de combustível pode aumentar de 0,3% a 1% por cada 10 micrômetros incrustados no casco, o que segundo os autores significaria uma diminuição significativa da eficiência operacional da embarcação.

2.1.1 Tipos e categorias de Bioincrustação

Os tipos de bioincrustação são separados em suaves, duras e compostas, a serem expostas a seguir (Navy, 2006).

2.1.1.1 Bioincrustação suave

Nesse estágio de incrustação, os principais organismos presentes são o lodo e o limo.

- Lodo

A formação do lodo é o primeiro passo no processo de bioincrustação (Figura 1), sendo que quase todo objeto imerso na água do mar acumula de forma rápida uma espessa camada de lodo, composto de bactérias, fungos, protozoários e algas. As bactérias demoram em torno de meia hora para anexarem na superfície imersa, e o lodo, dentro de uma hora, já pode ser visto. O revestimento do lodo é suave e geralmente segue o contorno da forma submersa, ou seja, considerando o casco do navio, o lodo adere a sua forma.

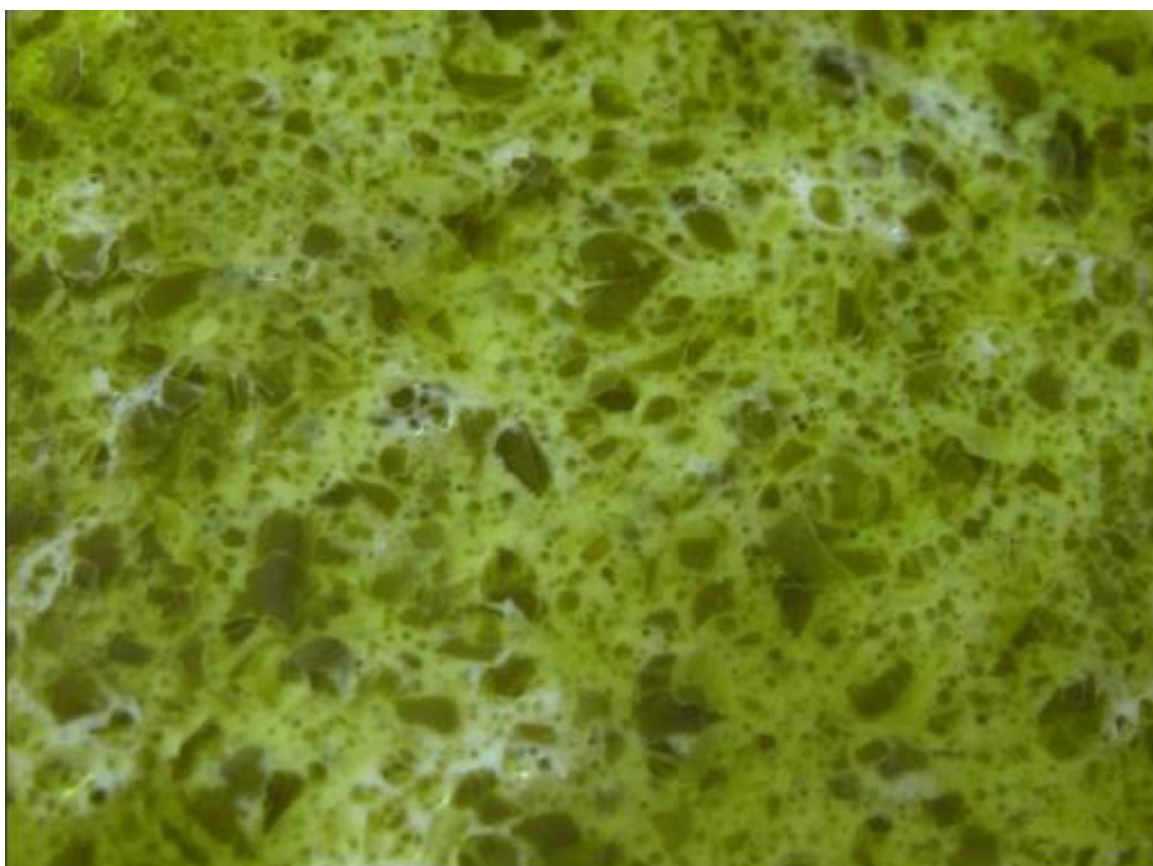


Figura 1: Exemplo de bioincrustação suave - lodo.

Fonte: Pesquisa Direta, 2019

- Limo e outras incrustações suaves

O limo se enquadra dentro das algas verdes e marrons multicelulares (Figura 2), sendo que sua formação ocorre próximo a linha d'água, onde a luz solar está disponível afim de que realizem fotossíntese. É menos evidente à medida que a profundidade aumenta, e sua cor predominante muda de verde para marrom.

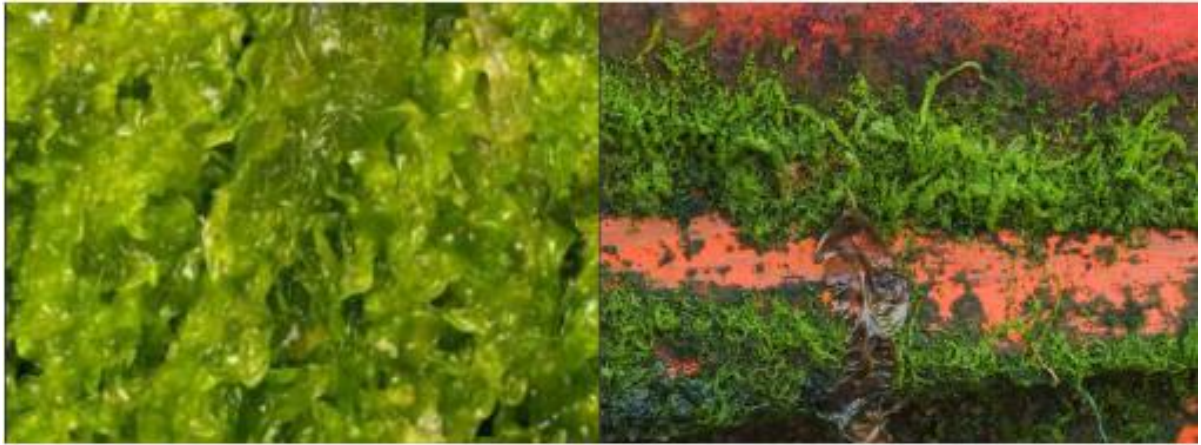


Figura 2: Exemplo de bioincrustação suave - limo.

Fonte: Pesquisa Direta, 2019

As formas dominantes de bioincrustação dura são cracas e vermes tubulares. Alguns componentes submersos, como no caso do propulsor e parte do casco, por exemplo, estão expostos a condições nas quais pode se formar uma combinação de incrustações biológicas (duras e moles) e calcárias.

- Cracas

As cracas se caracterizam por possuir conchas duras, cônicas, e com topos de forma irregular (Figura 3).



Figura 3: Exemplo de bioincrustação dura - cracas.

Fonte: Pesquisa Direta, 2019

- Vermes Tubulares

Vermes tubulares formam tubos entrelaçados ao longo do casco do navio, ou seja, eles vão se projetando sobre ele (Figura 4).



Figura 4: Exemplo de bioincrustação dura - vermes Tubulares.

Fonte: Pesquisa Direta, 2019

- Depósitos de calcário

Esse tipo de incrustação ocorre geralmente em superfícies de níquel-alumínio-bronze, como no caso do propulsor, por exemplo, nesse caso a espessura está atrelada diretamente ao tempo da última limpeza e a funcionalidade do sistema de proteção catódica. Embora seja mais frágil quando se comparada a contaminação biológica, a sua remoção pode ser extremamente difícil (Figura 5).



Figura 5: Exemplo de bioincrustação dura - depósitos de calcário.

Fonte: Pesquisa Direta, 2019

2.1.1.2 Bioincrustação composta

Considerando estágios avançados de bioincrustação, cracas e vermes tubulares podem estar presentes em conjunto de organismos bivalves calcários, como mexilhões ou ostras, ou hidroides com estrutura celular calcária, como coral ou anêmonas. (Figura 6).



Figura 6: Exemplo de bioincrustação composta.

Fonte: Pesquisa Direta, 2019

2.2 Superfícies críticas de bioincrustação

De acordo com Adland *et al.*, (2018), um navio possui partes específicas nas quais a incrustação pode ser extremamente prejudicial. A incrustação de um propulsor do tipo hélice, por exemplo, pode representar até 50% de aumento da demanda de energia associada a um casco leve a moderadamente contaminado. Os locais críticos e os tipos de incrustação com maior probabilidade de prejudicar a respectiva função do componente são descritos nos tópicos seguintes.

2.2.1 Propulsores

A forma de incrustação que mais aparece nos propulsores é conhecida como incrustação dura, como por exemplo, cracas e vermes tubulares. A presença desses organismos, bem como o aumento da rugosidade superficial causam uma perda severa na eficiência do propulsor.

Na figura 7 é possível visualizar os propulsores de um navio graneleiro.



Figura 7: Propulsor de um navio graneleiro.

Fonte: Disponível em: <<https://maritimecyprus.com/2019/09/06/maritime-innovation-first-ever-electric-propulsion-to-be-installed-on-board-a-bulk-carrier/>> (2021)

2.2.2 Bulbo

Em bulbos com revestimentos anti-incrustante, lodo e limo são as formas de incrustação mais comuns, contudo, caso esses revestimentos não sejam aplicados, pode ocorrer a formação de incrustação dura. O desempenho do bulbo cai consideravelmente com o aumento da incrustação.

Na figura 8, é possível verificar o bulbo de um navio sem incrustação, ou seja, nesse caso não se tem perda de eficiência energética.



Figura 8: Bulbo de navio.

Fonte: Disponível em: < <https://www.itajainaval.com.br/bulbo-de-proa-por-que-os-navios-possuem-um-nariz-na-frente-do-casco/> > (2021)

2.2.3 Superfícies de rolamento de docagem

As superfícies não pintadas que repousavam no encaixe dos blocos durante a docagem são as que mais tendem a incrustar quando comparado com o resto do corpo do navio. Essas superfícies geralmente podem ser identificadas pela delineação nítida de incrustação em seus limites, além disso, ocorre uma atenção especial à condição de revestimento do casco, pois a corrosão nessa área é bem acentuada.

As superfícies de rolamento se encontram em áreas como é possível verificar na Figura 9, ou seja, nas áreas de docagem dos navios.



Figura 9: Navio dentro da área de docagem.

Fonte: Disponível em: <<https://c-tank.com.br/docagem-de-navios-quais-tipos-de-servicos-sao-realizados/>> (2021)

2.2.4 Caixas de mar

As incrustações nas superfícies internas das grades e caixas de mar são inacessíveis para escovas rotativas usadas na limpeza do casco e devem ser limpas utilizando-se outros meios, como por exemplo, jatos d'água e raspadores.

Na figura 10, é possível ver um mergulhador profissional executando trabalho de inspeção da entrada de uma caixa de mar de um navio.



Figura 10: Entrada da caixa de mar sendo inspecionada.

Fonte: Disponível em: <

https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/44_Desafios%202020.pdf> (2021)

2.2.5 Eixos de propulsão

Os cabos revestidos de fibra de vidro são normalmente cobertos com anti-incrustantes, contudo à medida que o tempo de docagem aumenta, a tinta pode se desgastar, levando assim a exposição do revestimento de fibra de vidro. Este revestimento tende a entupir a uma taxa acelerada quando comparado com a superfície do revestimento do eixo pintado.

Na imagem 11, é possível visualizar um eixo de um navio, sendo que a presença de qualquer incrustação dura nesse componente pode ser prejudicial para sua eficiência rotacional na água, afetando diretamente no desempenho da embarcação.

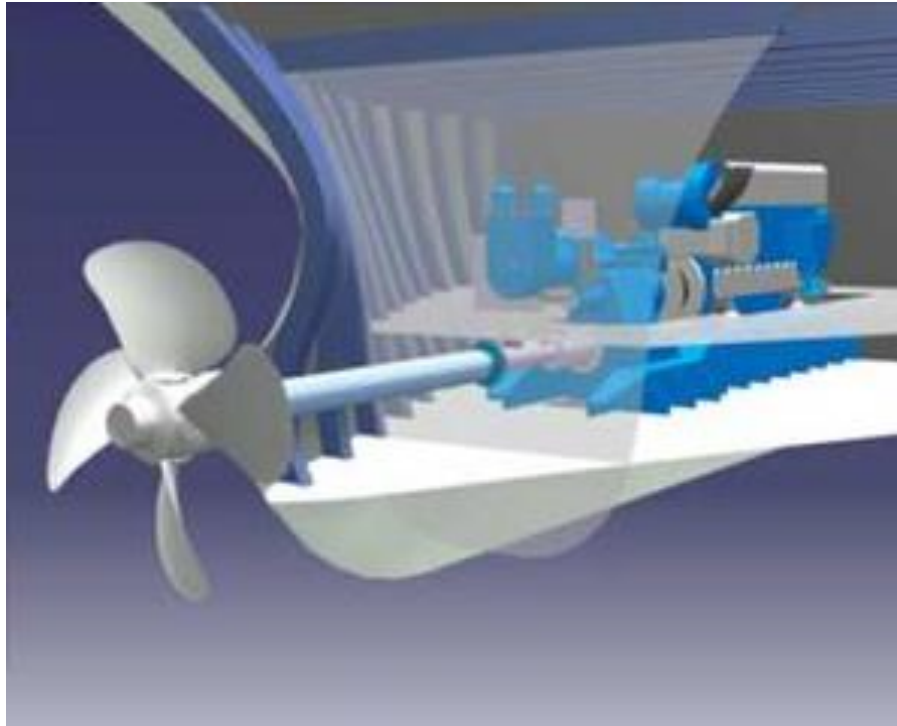


Figura 11: Eixo de propulsão de um navio.

Fonte: Disponível em: <<http://maquinasmissao.blogspot.com/2013/07/para-vante-e-para-re.html>> (2021)

2.3 Ferramentas de limpeza de cascos de navios

Segundo Morrissey e Woods (2015), as atuais tecnologias de limpeza seguem duas abordagens amplas:

- Remoção do material do casco (com ou sem captura de resíduos, sendo a primeira opção, a mais utilizada, visto que a segunda pode causar grandes impactos ambientais nos ecossistemas marinhos);
- Tratamentos que matam os organismos bioincrustantes “in situ” e dependem do movimento subsequente do navio através da água para eliminar a bioincrustação morta do casco.

As categorias e subcategorias dos métodos de limpeza dentro d’água são identificadas por:

- Tecnologias manuais:
 - Retirar os organismos à mão;
 - Limpeza à mão com escovas, raspadores e esfregões não motorizados.

- Tecnologias mecânicas:
 - Escova motorizada à base da escova abrasiva;
 - Sem contato;
 - Jato d'água de alta pressão;
 - Jato de água convencional.

2.3.1 Tecnologias manuais

As tecnologias manuais envolvem a remoção manual dos organismos de forma direta, sendo essa, a tecnologia mais simples aplicada, podendo ser feita usando “*soft pads*”, esfregões, raspadores de mão ou escovas. Este método é utilizado principalmente em embarcações menores que operam sob diferentes regimes de gerenciamento de bioincrustação frente as embarcações comerciais maiores.

O presente método tem sido utilizado, por exemplo, no gerenciamento de incrustação em casco de embarcações e estruturas fixas nos portos. Como o método depende de mergulhadores que detectam visualmente os organismos-alvo, a eficácia é influenciada pela clareza da água e pela quantidade de bioincrustação presente.

De acordo com Floerl *et al.* (2010), esfregar manualmente é o método mais comum de remoção das cracas para embarcações comerciais. Os tipos de ferramentas utilizadas nesse processo dependem diretamente da quantidade, do tipo de incrustação e também do revestimento anti-incrustante aplicado. Escovas, raspadores de plástico ou metal são utilizados para incrustações mais pesadas ou em revestimentos duros.

A limpeza manual também pode ser usada em navios maiores, contudo são aplicadas em áreas específicas, ou seja, onde os carrinhos escovas, *ROVs* (*Remotely Operated Vehicles* - veículo submarino operado remotamente) e outros equipamentos maiores não podem alcançar. Os fabricantes de dispositivos à base de escovas e jato d'água oferecem uma variedade de ferramentas manuais. (Figura 12).



Figura 12: Bioincrustação sendo removida manualmente através de raspadores.

Fonte: Pesquisa Direta, 2019

2.3.2 Tecnologias Mecânicas

As técnicas de remoção para embarcações maiores utilizam escovas em contato com a superfície do casco e/ou camada de bioincrustação para remover a bioincrustação. O material da escova varia de acordo com o grau de incrustação presente na superfície, sendo o nylon ou polipropileno utilizado em lodo, algas e organismos moles. Já para incrustação em níveis mais elevados, ou seja, organismos duros e calcário, são utilizadas escovas de aço ou esponjas abrasivas. (FLEMMING *et al.*, 1998).

Os materiais das escovas são específicos para determinados tipos de cascos, sendo assim, escovas de nylon e polipropileno são utilizadas em cascos de fibra de vidro, alumínio, aço e madeira, já as escovas de aço, são utilizadas principalmente em cascos de alumínio ou aço.

Outros métodos de remoção são compostos por: lâminas rotativas ou escovas que criam uma força de cisalhamento de elevação sobre a superfície do casco sem tocá-lo; jatos de água de alta pressão e jatos de água cavitacional.

Estes métodos se destinam a reduzir os efeitos adversos da abrasão em revestimentos anti-incrustantes, tanto para prolongar a vida do revestimento, quanto para reduzir a quantidade de biocida liberada na coluna de água.

2.3.2.1 Escova motorizada ou à base de escova abrasiva

A limpeza com base em escovas varia desde pequenos dispositivos portáteis passando carrinhos de escovas controlados pelo mergulhador ou autopropelidos até veículos de operação remota autônoma (ROVs).

- Dispositivos portáteis:

Os dispositivos portáteis são utilizados por mergulhadores para limpar embarcações menores, áreas confinadas (áreas de nicho) dos cascos dos navios maiores e para os hélices. Esses mecanismos podem ser acionados de maneira hidráulica (via sistema hidráulico da embarcação de apoio ou via água do mar bombeada) ou pneumática, além disso, podem ser equipados com vários tipos de escovas (silicone, polipropileno, nylon ou aço), lâminas de corte ou almofadas abrasivas. Alguns dispositivos portáteis podem ser operados manualmente a partir da superfície de água, ou seja, sem a necessidade de inclusão de mergulhadores especializados.

A maioria dessas ferramentas não incluem sistemas de coleta e filtragem de resíduos, embora seja possível atualizá-las ou alterar o projeto afim de que recebam mais essa função.

Na figura 8 é possível visualizar exemplos de ferramentas manuais para limpeza de cascos e hélices, sendo que no canto superior esquerdo tem-se, escova autopropulsada hidraulicamente e motorizada (cabeça de escova com 300 – 400mm de diâmetro. No canto superior direito tem-se: escova de limpeza com hélice acionada hidraulicamente. Parte inferior esquerda: ferramenta de polimento e limpeza com escova única, acionada hidraulicamente, que pode ser instalada com escova ou bloco abrasivo. Parte inferior direita: atividade de polimento sendo realizada no hélice.



Figura 13: Exemplos de ferramentas manuais para limpeza de cascos de navios.

Fonte: In-water cleaning technologies: Review of information (2015, p. 10)

- Carros de escovas operados por mergulhadores:

São consideradas versões maiores das ferramentas manuais, mas podem ter mais de uma cabeça de limpeza. São equipamentos autopropelidos, sendo que o mergulhador fornece a direção e a força de limpeza, se aplicam à superfície do casco pelo impulso de hélices ou sucção criada pelo próprio fluxo de água através da cabeça de limpeza.

O acionamento desses equipamentos é feito de maneira hidráulica, utilizando o sistema hidráulico da embarcação de apoio ou através do bombeamento da água do mar. Podem utilizar vários tipos de escovas, como por exemplo, silicone, polipropileno, nylon ou aço, além de lâminas de corte ou almofadas abrasivas.

Na figura 14 é possível observar exemplos de carrinhos de escovas operados por mergulhadores para limpeza do casco. No canto superior esquerdo da figura, tem-se: carrinho de limpeza multi-escovas operado por mergulhadores com cabeça de escova tripla. Na parte superior direita, tem-se: carrinho de escovas operado por mergulhador com cabeça de escova tripla. Na parte inferior esquerda, tem-se: água e resíduos ejetados acima da superfície da água durante a limpeza do casco do navio. No lado inferior direito, tem-se: resíduos dispersos na coluna de água circundante durante a limpeza, utilizando um carrinho de escova sem sistema de recolhimento.

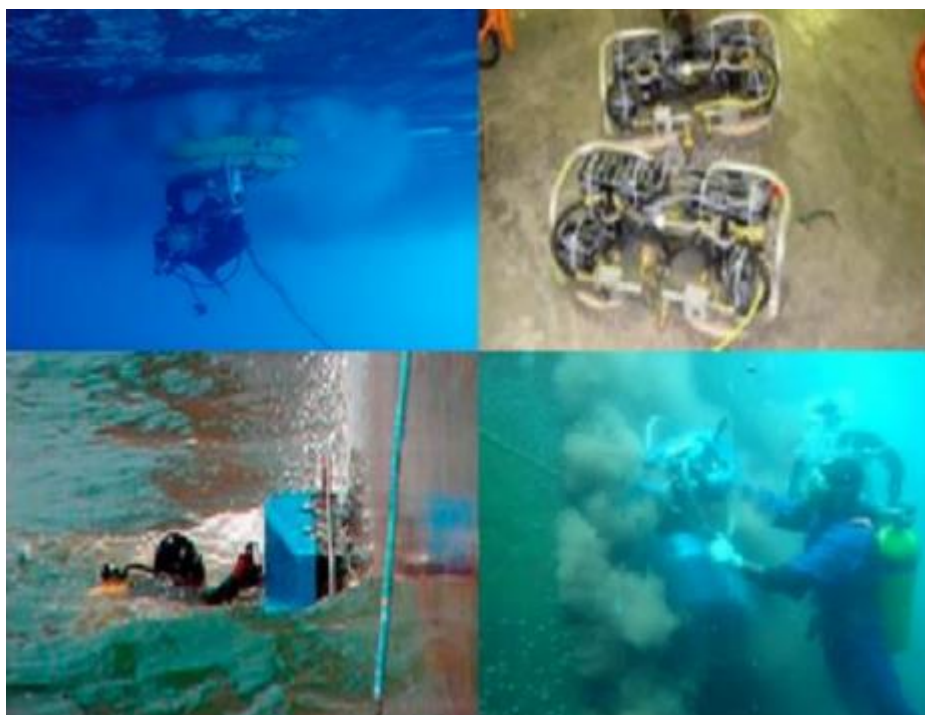


Figura 14: Exemplos de carrinhos de escovas operados por mergulhadores para limpeza de casco.

Fonte: In-water cleaning technologies: Review of information (2015, p. 11)

- Dispositivos de limpeza operados por robôs:

Esses dispositivos autopropulsores e autônomos fixam-se à superfície do casco pelo empuxo das hélices, pela sucção criada pelo fluxo de água através da cabeça de limpeza ou por imãs (Iborra et al., 2010). A movimentação do equipamento e a limpeza realizada por ele é controlada a partir da superfície por meio de propulsores, câmeras de vídeo a bordo e sistema de posicionamento. A maior parte dos sistemas disponíveis atualmente, utilizam jatos de água para limpeza. Esses robôs também têm a função de servir como plataforma de equipamentos para muitas finalidades, incluindo também a limpeza do casco. Eles variam em tamanho, desde unidades pequenas e transportáveis facilmente, como por exemplo, para limpeza de pequenas embarcações, até unidades maiores que possuem a finalidade de limpar embarcações maiores. (Figura 10).



Figura 15: Exemplo de ROV utilizado para limpeza de grandes embarcações.

Fonte: Disponível em: <<https://www.maritime-executive.com/corporate/fleet-cleaner-completes-first-ship-hull-cleaning>> (2019).

2.3.2.2 Sistemas mecânicos sem contato

A preocupação com danos aos revestimentos anti-incrustantes e a regulamentação da descarga de resíduos biocidas no ambiente circundante levaram ao desenvolvimento de abordagens alternativas para remoção de bioincrustação que exploram forças brutas geradas pelo fluxo turbulento acima da superfície do revestimento. Estes sistemas de limpeza exploram as propriedades minimamente adesivas da superfície de revestimento e o efeito do fluxo de água turbulento na criação da força de cisalhamento necessária para levantar e desalojar qualquer bioincrustação daquela superfície.

Revestimentos efetivos permanecerão livres de incrustação se a embarcação estiver continuamente ativa e rápida (velocidade maior que 10 - 15 nós) por conta dos efeitos de fluxo, contudo, se a embarcação estiver lenta ou tiver períodos de inatividade, a obstrução será estabelecida. Mesmo com atividade renovada, espécies de baixo perfil sobreviverão na camada limite contra o casco, onde ocorre fluxo laminar, não turbulento. Se um organismo cresce para

cima, uma vez que se estende para fora da camada limite, ele pode ser desalojado pela força de cisalhamento causada pelo fluxo turbulento (AKINFIEV *et al.*, 2007).

Seja por escovas ou lâminas, o princípio da limpeza sem contato é o mesmo: criar um fluxo turbulento que faça com que a força de cisalhamento necessária desmonte a incrustação minimante adesiva. Para superfícies estáticas de longo prazo, onde há crescimento vertical, a escova/lâmina irá realmente adicionar uma força mecânica para remover o crescimento saliente. Se o desenvolvimento do crescimento for devido à falta de movimento adequado de água “autolimpante” através de uma superfície de liberação de incrustação, então a turbulência da água deve limpá-lo, no entanto, se a superfície estiver degradada e perdido suas propriedades que reduzem a resistência à adesão do organismo, um sistema sem contato não limpará com eficiência.

Na figura 16, é possível observar a ferramenta desenvolvida pela Envirocart equipada com escovas rotativas



Figura 16: Ferramenta Envirocart equipada com escovas rotativas.

Fonte: Disponível em: <<http://franmarine.com.au/projects/envirocart/>> (2019)

Na figura 17 é possível visualizar a ferramenta equipada com lâminas rotativas para limpeza sem contato (lâminas ocultadas a fim de manter o sigilo comercial).



Figura 17: Ferramenta de limpeza equipada com lâminas rotativas.

Fonte: Disponível em: <<http://franmarine.com.au/projects/envirocart/>> (2019)

Na figura 18 é possível notar a ferramenta de limpeza de casco em utilização, sendo operada por um mergulhador especializado.



Figura 18: Ferramenta de limpeza em utilização.

Fonte: Disponível em: <<http://franmarine.com.au/projects/envirocart/>> (2019)

Na figura 19 é possível ver a caixa utilizada para limpeza de ânodos e outras projeções.

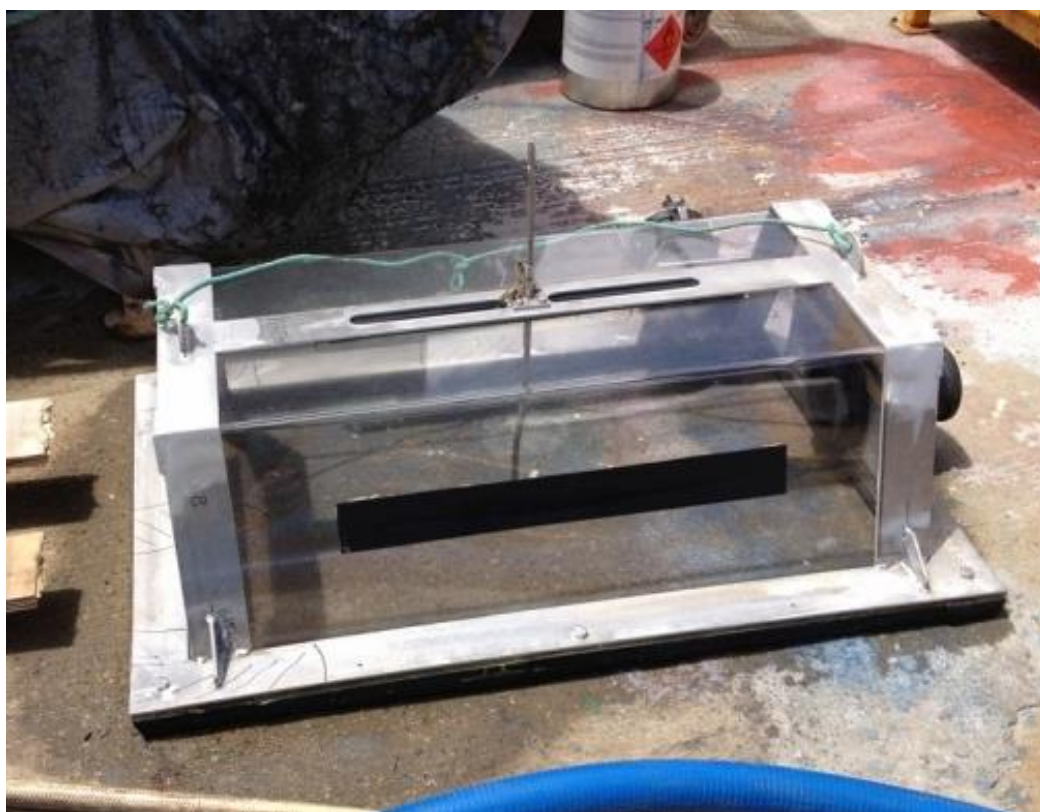


Figura 19: Caixa para limpeza de ânodo.

Fonte: Disponível em: <<http://franmarine.com.au/projects/envirocart/>>(2019)

2.3.2.3 Jato de água de alta pressão

Segundo Morrisey and Woods (2015), os danos reduzidos a revestimentos anti-incrustantes e a redução da liberação de contaminantes para o meio ambiente, embora ainda alcancem o nível necessário de limpeza, são benefícios utilizados para promover o uso de jatos de água de alta pressão. Os fornecedores de limpadores de jato de água não alegam perda de revestimento anti-incrustante para sistemas que usam água sob alta pressão. A proteção do revestimento é obtida através do direcionamento do jato de água na superfície do casco em um ângulo menor que 90°, removendo a incrustação através de cisalhamento horizontal ao invés de uma força direta aplicada perpendicularmente ao casco. Caso o equipamento não seja operado de maneira adequada, pode vir a trazer danos no revestimento do navio, por exemplo, a limpeza a alta pressão na doca seca, pode remover o revestimento anti-incrustante presente no casco. Embora a pressão aplicada possa ser menor durante a limpeza na água, um jato de alta pressão mantido perto e diretamente em uma superfície por muito tempo corroerá os revestimentos ablativos ou de auto polimento.

Similar ao que ocorre nos sistemas à base de escovas, os sistemas de jato de água incluem dispositivos portáteis, carrinhos operados por mergulhadores, e *ROVs* ou carrinhos de robô controlados da superfície por meio de propulsores, câmeras de vídeo e sistemas de posicionamento. Considerando as ferramentas manuais, a direção de jato pode ser alterada pelo mergulhador para maximizar a força de limpeza, evitando danos ao revestimento anti-incrustante.

Alguns sistemas de carrinho têm pressão de água ajustável para otimizar a eficácia da limpeza versus proteção do revestimento anti-incrustante, sendo essa prática monitorada pelo operador durante a limpeza, através câmeras. Mais uma vez, é possível ressaltar que esses sistemas podem ser capazes de danificar o revestimento caso não sejam usados de maneira correta. Jatos de água adicionais podem ser utilizados para manter o carrinho ou o *ROV* estáveis sobre a superfície a ser limpa, incluindo a ação dos jatos de limpeza.

Na figura 20, é possível observar a utilização de jato de água com a finalidade de remover a bioincrustação presente no hélice.



Figura 20: Exemplo de incrustação sendo removida com jatos de alta pressão.

Fonte: Disponível em: <<https://www.rentalpumps.com.br/limpeza-casco-navio.php>> (2019)

2.3.2.4 Jato de água cavitacional

Esse modelo consiste em um refinamento do método do jato de água e o uso de jatos de água incorporando bolhas microscópicas de ar e vapor, geradas pelo som ultrassônico. Como os métodos de limpeza sem contato, os jatos cavitacionais foram desenvolvidos para reduzir os danos aos revestimentos anti-incrustantes e o risco para os operadores durante a utilização dos jatos de alta pressão. A pressão do jato de água cavitacional gira em torno de 120-150 bar (12000 – 15000 kPa), sendo significativamente menor do que a utilizada na limpeza convencional com jato de água, mas as bolhas são colocadas em colapso em contato com a superfície tratada, fazendo com que ocorra a remoção dos organismos, ferrugem e tinta esfoliada sem danificar a tinta subjacente. Não está claro se os jatos cavitacionais realmente matam as incrustações além de desalojá-las e quebrá-las. Os jatos de cavitação são capazes de corroer os revestimentos anti-incrustantes se mantidos próximos ou apoiados diretamente na superfície, como evidenciado pela perda de revestimentos em áreas de alta cavitação nos lemes e em torno de hélices e propulsores durante o movimento normal do navio (Akinfiyev et al., 2007).

Na figura 21 é possível verificar na parte superior esquerda: a cabeça de limpeza com rodas e operada por mergulhador. Na parte superior direita: pistola de limpeza para superfícies curvilíneas e áreas de nicho, com bocal reativo para compensar o recuo e o regulador da taxa de limpeza. Na parte inferior direita: protótipo de cabeça de limpeza de robô. Na parte inferior esquerda: cabeça de limpeza autopropulsionada.



Figura 21: Exemplos de equipamentos de limpeza por jato cavitacional.

Fonte: In-water cleaning technologies: Review of information (2015, p. 19)

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será descrito as características de desenvolvimento de uma pesquisa abordando suas principais classificações, objetivos e procedimentos técnicos utilizados no trabalho, além das considerações finais.

3.1 Tipos de pesquisa

De acordo com Creswell (2010), as pesquisas são classificadas em quantitativa, qualitativa ou a combinação entre as duas. Moresi (2003) diz que a pesquisa quantitativa classifica e analisa as informações, traduzindo-as em números, esse método utiliza a estatística através da porcentagem, médias, medianas, desvio padrão, dentre outras. De acordo com Diehl (2004), a pesquisa qualitativa, por sua vez, retrata a complexidade de um problema, sendo necessário uma compreensão e classificação dos processos dinâmicos vividos nos grupos, além de contribuir com o processo de mudança, tornando o entendimento mais acessível das mais variadas particularidades.

Gil (2002) classifica a pesquisa como descritiva, exploratória ou explicativa. A pesquisa descritiva pode ser conceituada como sendo a descrição das características de determinado fenômeno ou população. Para Moresi (2003), a pesquisa exploratória tem como principal objetivo, transformar o problema mais explícito, sendo que essa pesquisa é utilizada em uma área onde tem-se pouco conhecimento acumulado. Gil (2002) diz que a pesquisa explicativa é entendida como a que identifica os fatores que contribuem ou determinam um fenômeno ou população.

Em relação aos meios de investigação, dois procedimentos se destacam, sendo um deles a pesquisa bibliográfica e o outro, o estudo de caso. De acordo com Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa bibliográfica abrange todas as bibliografias que já são públicas e relação ao tema de estudo, sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com o que já foi escrito ou dito sobre determinado assunto. Ela proporciona o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras. Já o estudo de caso, de acordo com Silva (2004), trata-se do detalhamento de uma pesquisa para avaliação de um ou mais objetos.

Através do que foi exposto, conclui-se que este trabalho é caracterizado por uma pesquisa descritiva, qualitativa e exploratória, já que tem por objetivo levantar as principais ferramentas de limpeza de casco de navios e apontar a melhor de acordo com os parâmetros

básicos, como por exemplo, eficiência, custo e facilidade de operação através da utilização de gráficos, tabelas e análises estatísticas.

É utilizada a pesquisa bibliográfica com informações técnicas, em catálogos, documentos científicos publicados sobre o tema, sendo como objeto de estudo o levantamento das principais ferramentas de limpeza de casco em navios graneleiros.

3.2 Materiais e Métodos

Inicialmente foi realizada a revisão bibliográfica com levantamento dos tipos de ferramentas, bem como suas classificações de acordo com o funcionamento e operação.

A partir desta revisão, é possível selecionar as principais ferramentas existentes no mercado, bem como suas aplicações para navios graneleiros.

A próxima etapa consiste na pesquisa de mercado dos fabricantes, sendo que após esta etapa, é realizada a coleta de dados de acordo com os parâmetros selecionados previamente.

Por fim, com a utilização do software Excel, é elaborada uma planilha com o levantamento de todos os parâmetros e comparação dos dados obtidos possibilitando assim, a conclusão do estudo. Considerando a comparação citada, será possível apontar a melhor ferramenta de limpeza de casco aplicada em navios graneleiros.

Os materiais e métodos estão destacados na figura 22.

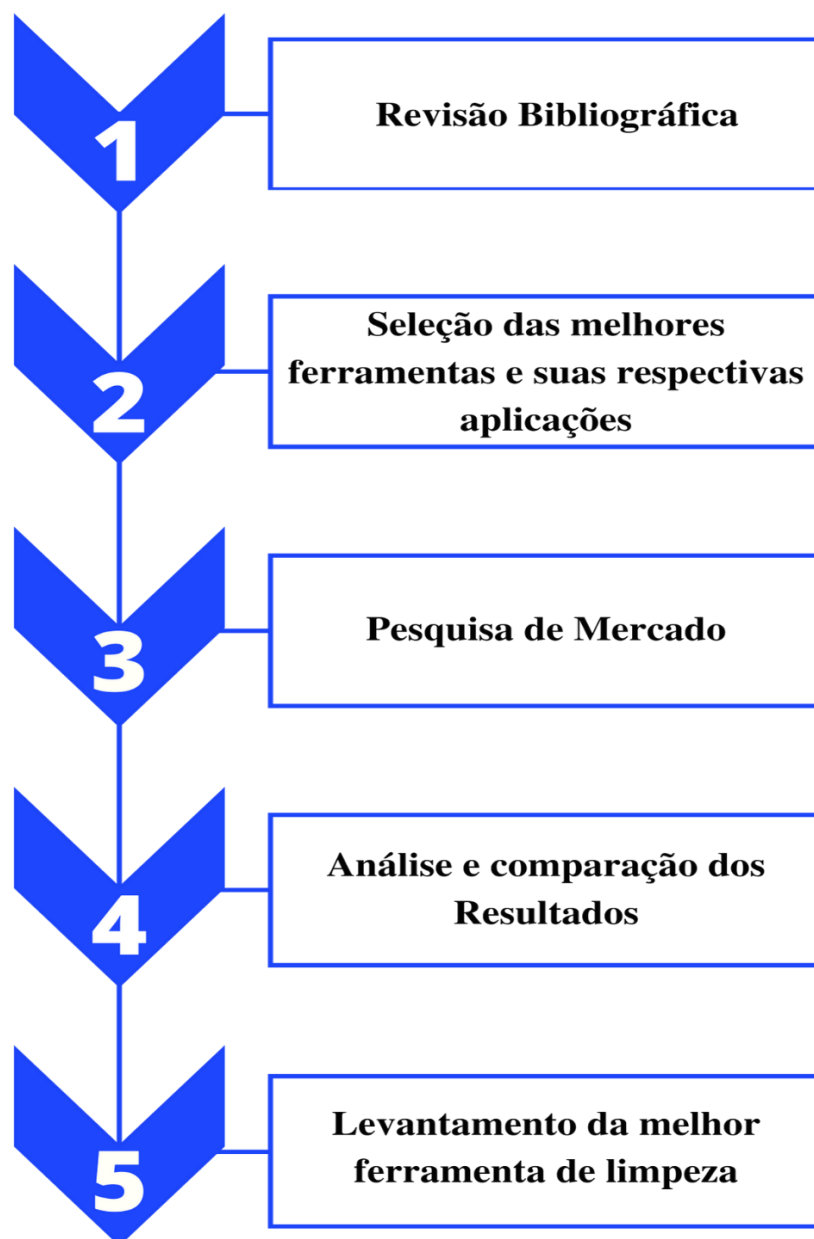


Figura 22: Materiais e Métodos.

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

3.3 Variáveis e Indicadores

De acordo com Lakatos e Marconi (2003), variável é considerada uma classificação ou medida: uma quantidade que varia; um conceito operacional, que apresenta ou contém valores; um aspecto; um fator ou propriedade, discernível em algum objeto de estudo.

Tadachi e Flores (1997, p. 19) classificam indicadores como “formas que representam de maneira quantificável as características de produtos e processos”. Eles completam dizendo que, os indicadores são utilizados pelas organizações com o objetivo de controlar e melhorar a

qualidade e o desempenho dos seus produtos ao longo do tempo. A tabela 1 mostra as variáveis e os indicadores utilizados neste trabalho.

Tabela 1: Variáveis e Indicadores

Variáveis	Indicadores
Navios Graneleiros	Material do casco
	Área útil do casco
Ferramentas de limpeza	Tamanho do sistema
	Modo de operação
	Capacidade de limpeza
	Custo

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

3.4 Coleta de Dados

Os dados coletados sobre as ferramentas de limpeza de cascos são retirados de pesquisas, como catálogos, site de fabricantes, bem como de empresas que trabalham com esse tipo de serviço.

De acordo com o que foi citado no início desse capítulo, o presente trabalho é de natureza bibliográfica, quantitativa e descritiva, com isso, todos os dados levantados nesta pesquisa serão obtidos através de livros, artigos acadêmicos, catálogos de fabricantes, sites de empresa que trabalham com limpeza de cascos de navios.

3.5 Tabulações de Dados

De acordo com os dados coletados, a tabulação e os gráficos serão feitos utilizando o *software* Microsoft Excel. Além disso, a ferramenta Canva será aplicada para criar fluxogramas e templates que ajudam na interpretação e organização dos resultados. O *software* Microsoft Word será utilizado com a finalidade de documentar todos os dados levantados, além de todas as análises e apresentação dos resultados obtidos.

3.6 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas as ferramentas utilizadas para concretização desse estudo, cujos instrumentos escolhidos, estão de acordo com o objeto. No próximo capítulo é abordado o estudo e levantamento de todos os parâmetros essenciais para avaliação de cada ferramenta de limpeza de casco, bem como sua eficiência frente aos diferentes níveis de incrustação.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão abordadas as análises realizadas das principais ferramentas utilizadas na limpeza de cascos de navios, pesquisadas a partir de alguns parâmetros da indústria de navegação, sendo eles, método de adesão ao casco do navio, força de adesão, velocidade de limpeza e tipo de sistema de limpeza.

4.1 Delimitação do Trabalho

Esse estudo foi realizado a partir de dados relativos aos sistemas de limpeza de navios pesquisados e cedidos pelos próprios fabricantes. O trabalho foi focado na análise e definição dos melhores ou mais eficientes sistemas de remoção de bioincrustação em cascos de navios.

4.2 Especificações dos sistemas de limpeza

Para o início dos estudos dos melhores ou mais eficientes sistemas de remoção de bioincrustação em cascos de navios, primeiramente, levantou-se as especificações dos sistemas mais promissores. Na tabela 2 estão listados estes sistemas e seus respectivos fabricantes.

Tabela 2: Sistemas de limpeza, fabricantes e países de origem.

Nome do sistema	Fabricante	Origem
<i>Fleet Cleaner</i>	<i>Fleet Cleaner</i>	<i>Leeuwarden, Holanda</i>
<i>GreenSea Robotic Hull Cleaner</i>	<i>Raytheon Company</i>	<i>Waltham, Massachusetts, United States</i>
<i>HullBUG</i>	<i>SeaRobotics Corporation</i>	<i>Stuart, Florida, United States</i>
<i>HullWiper</i>	<i>Gulf Agency Company EnvironHull</i>	<i>Dubai, United Arabs</i>
<i>Magnetic Hull Crawler</i>	<i>Technip Cybernetix</i>	<i>Marseille, France</i>
<i>RovinBAT</i>	<i>ECA Group</i>	<i>La Garde, França</i>

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

4.2.1 Fleet Cleaner

A figura 23 mostra a ferramenta de limpeza *Fleet Cleaner*, sendo esse um robô desenvolvido com o objetivo de limpar a superfície de cascos de navios com alta adaptabilidade em curvaturas acentuadas, considerando que o casco de um navio pode conter até 60% da sua superfície de forma curva.

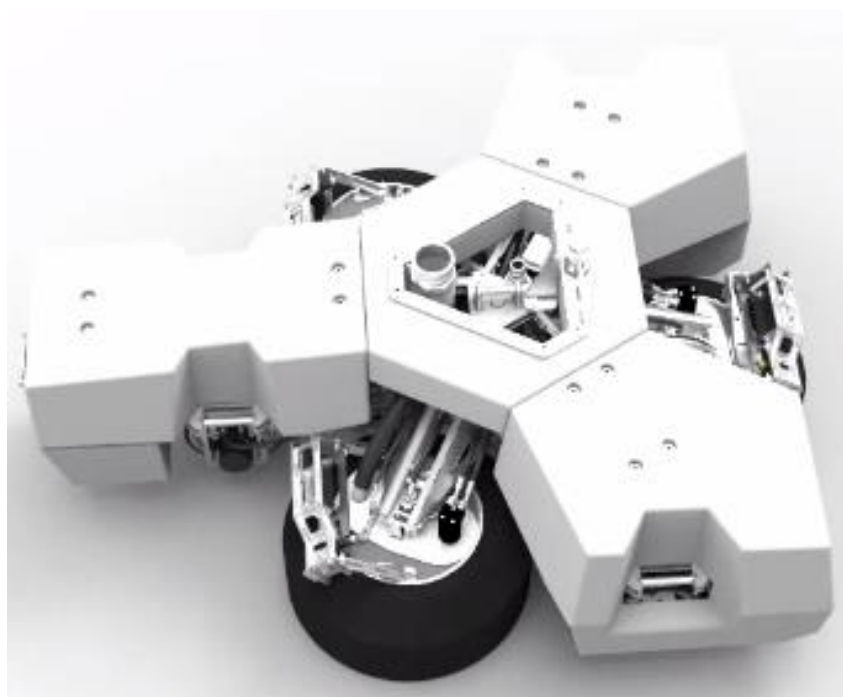


Figura 23: Robô *Fleet Cleaner*.

Fonte: Disponível em: < <https://vpoglobal.com/2018/02/16/hull-cleaning-robot-aims-operate-autonomously/>>(2021)

A tabela 3 mostra um quadro resumido com as especificações técnicas mais relevantes do *Fleet Cleaner*.

Tabela 3: Especificações técnicas *Fleet Cleaner*.

Fleet Cleaner Leeuwarden, Holanda	 Fleet Cleaner
Peso	Não informado pelo fabricante
Dimensões	1,8 m x 1,8 m x 0,6 m

Método de adesão ao casco	Sistema magnético
Força de adesão ao casco	Não informado pelo fabricante
Capacidade de limpeza	1200 m ² /h
Sistema de limpeza	Jatos d'água de alta pressão
Sensores	Sensor de localização e sonar
Capacidade de operar com o navio em movimento	Não
Presença de filtro	Sim
Modo de operação	Autônomo
Utilização de cabo de segurança	Sim
Máxima profundidade de operação	Não informado pelo fabricante
Custo de aquisição	\$160.000,00

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

De acordo com o Fabricante *Fleet Cleaner*, o robô possui um sistema no qual captura todas incrustações removidas para que o ecossistema aquático não seja afetado pela operação de limpeza.

Com o sistema de fixação magnética, o robô adere ao navio de forma segura e sob qualquer circunstância ambiental, ou seja, mesmo em áreas portuárias com fortes ventos, correntes marítimas ou ondas fortes, o serviço de limpeza não é interrompido.

Na figura 24 é possível verificar como o sistema é robusto, considerando sua grande resistência em condições adversas, além da sua capacidade de adesão em superfícies inclinadas.



Figura 24: Fleet Cleaner aderido ao casco de um navio.

Fonte: Disponível em: < <https://nl.linkedin.com/company/fleet-cleaner>>(2021)

O robô da *Fleet Cleaner* possui algumas tecnologias que permitem que ele opere com visibilidade zero, sendo o sensor de localização, sistema de navegação, piloto automático e acompanhamento do progresso da limpeza. O *Fleet Cleaner* é capaz de adaptar a pressão de limpeza de acordo com a área na qual ele está limpando, como é citado no item 2.3.2.3, ou seja, para uma região com maior incrustação, aplica-se uma maior pressão de limpeza, como é possível verificar na figura 25.



Figura 25: Fleet Cleaner realizando a limpeza do casco de um navio.

Fonte: Disponível em: <<https://www.marinelink.com/news/completes-cleaner-fleet421835>>(2021)

Alguns portos possuem uma rígida legislação com relação ao meio ambiente, nesse caso o *Fleet Cleaner* tem um ponto positivo, pois ele possui um filtro capaz de filtrar todo o material que retira da superfície do navio.

4.2.2 GreenSea Robotic Hull Cleaner

A *Raytheon Company* desenvolveu o *GreenSea Robotic Hull Cleaner* adotando uma estratégia de não utilização de imãs de fixação ao casco de navio, sendo que esse artifício permite que o robô tenha uma maior aplicabilidade além de não comprometer a pintura da embarcação. Na figura 26 é possível verificar a representação estrutural do robô, com destaque para seu sistema de fixação.

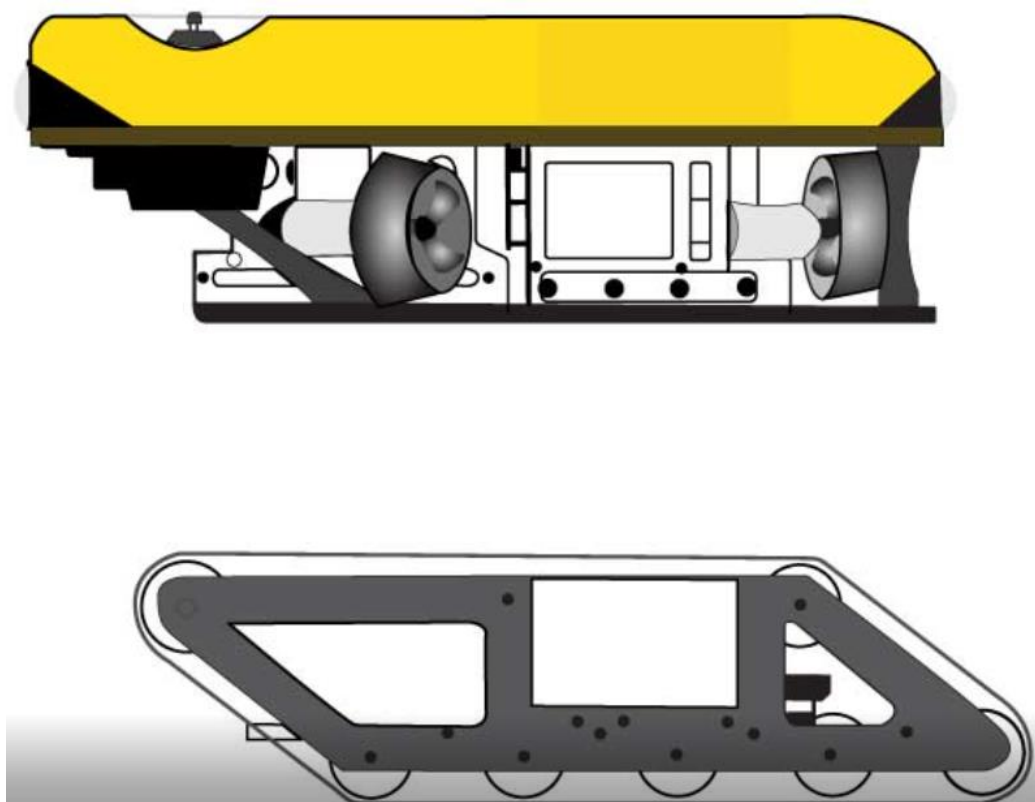


Figura 26: Representação do GreenSea Robotic Hull Cleaner em fase de projeto.

Fonte: Disponível em: <<https://greensea.com/hull/>>(2021)

A tabela 4 mostra um quadro resumido com as especificações técnicas mais relevantes do *GreenSea Robotic Hull Cleaner*.

Tabela 4: Especificações técnicas GreenSea Robotic Hull Cleaner.

GreenSea Robotic Hull Cleaner Waltham, Massachusetts, United States	Raytheon
Peso	102 kg
Dimensões	0,9 m x 0,6 m x 0,15 m
Método de adesão ao casco	Sistema magnético de neodímio
Pressão/Força de adesão ao casco	10.000 N/m ²
Capacidade de limpeza	1500 m ² /h
Sistema de limpeza	Escovas com sistema de ultrassom

Sensores	Sensor inercial multi eixo, localizador e sensor angular
Capacidade de operar com o navio em movimento	Sim, em velocidades acima de 26 nós
Presença de filtro	Não
Modo de operação	Autônomo
Utilização de cabo de segurança	Não
Máxima profundidade de operação	1500 m
Custo de aquisição	\$400.000,00

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

De acordo com a fabricante, é possível iniciar a limpeza do casco de forma instantânea visto que sua adesão ao casco ocorre em questão de segundos. As esteiras e a força de adesão criam uma estabilidade e um bom controle de precisão. O robô conta com uma câmera fixa que pode gravar vídeos de alta resolução, ou seja, ela não é afetada por correntes marítimas. Na imagem 27 é possível visualizar o robô em operação.

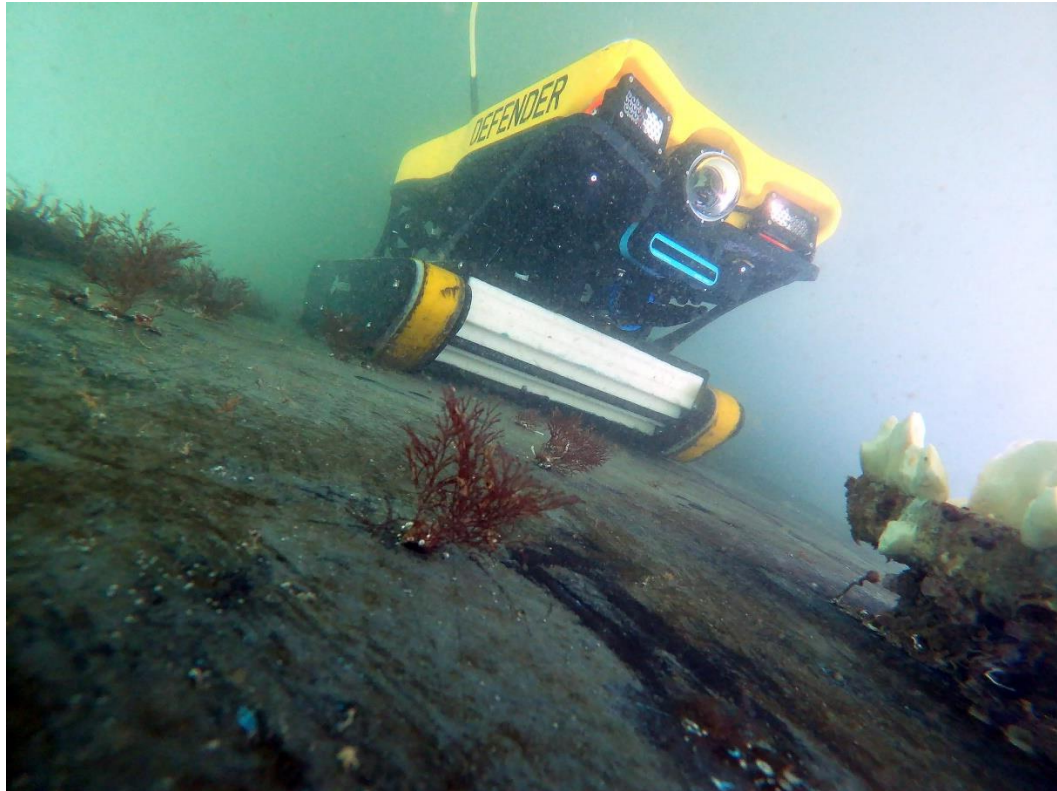


Figura 27: GreenSea Robotic Hull Cleaner realizando a limpeza de casco de um navio.

Fonte: Disponível em: <<https://greensea.com/hull/>>(2021)

O robô vem equipado com um sistema de navegação inercial acoplado a um software de controle avançado (Figura 28), além disso, conta também com um sonar, isso confere ao equipamento uma elevada precisão de localização, permitindo assim que ele opere de forma autônoma.



Figura 28: Software de controle avançado do GreenSea Robotic Hull Cleaner

Fonte: Disponível em: <<https://greensea.com/hull/>>(2021)

4.2.3 HullBUG (Hull Bio-inspired Underwater Grooming)

O *HullBUG* (Figura 29) é um veículo subaquático projetado para ser acoplado ao casco de navios e outras estruturas com o objetivo de realizar a limpeza dessas estruturas. De acordo com a fabricante, o robô considerado de limpeza leve, irá revolucionar a manutenção de cascos de navios, por permitirem que estejam sempre limpos.



Figura 29: Representação final do projeto do HullBUG.

Fonte: Disponível em: < <https://www.searobotics.com/products/hull-and-tank-cleaning>>(2021)

A tabela 5 mostra um quadro resumido com as especificações técnicas mais relevantes do *HullBUG*.

Tabela 5: Especificações técnicas HullBUG.

HullBUG (Hull Bio-inspired Underwater Grooming) Stuart, Florida, United States	
Peso	55 kg
Dimensões	1,5 m x 1 m x 0,7 m
Método de adesão ao casco	Imã ou Pressão Negativa
Pressão/Força de adesão ao casco	578 N/m ²
Capacidade de limpeza	400 - 600 m ² /h
Sistema de limpeza	Escovas e jato d'água
Sensores	Detector de biofilme, bússola, sensor de profundidade, câmera de vídeo, iluminação, sonar de alta frequência, giroscópio, sensor de espessura, codificadores, sensores de integridade e outros possíveis sensores.
Capacidade de operar com o navio em movimento	Não
Presença de filtro	Sim
Modo de operação	Autônomo/Semiautônomo
Utilização de cabo de segurança	Não
Máxima profundidade de operação	Não informado pelo fabricante

Custo de aquisição	A partir de \$160.000,00
--------------------	--------------------------

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

O robô que pesa cerca de 55kg se fixa ao casco do navio e realiza uma função de limpeza suave através de escovas rotativas. Vários sensores embarcados realizam a tarefa de navegação no casco, bem como limpeza e localização. O robô é içado para ser colocado no mar e assim iniciar a operação de limpeza, como é possível ver na figura 30.

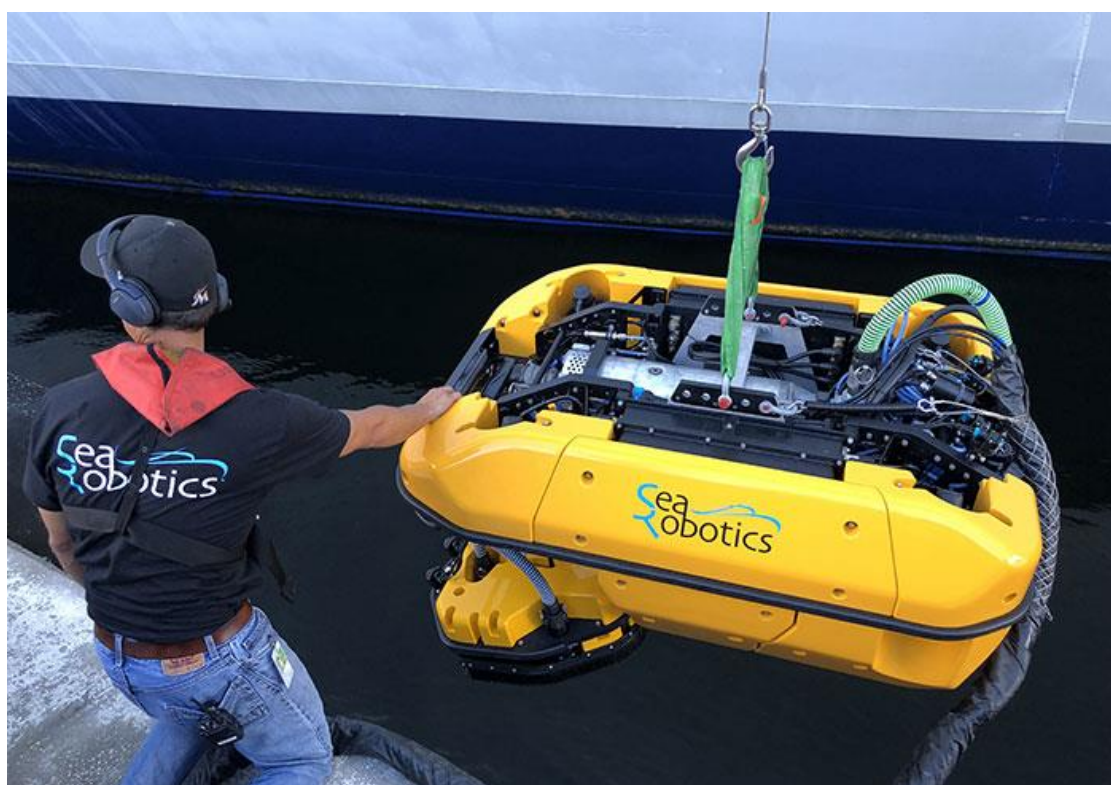


Figura 30: HullBUG sendo inserido no mar para executar a operação de limpeza.

Fonte: Disponível em:

<https://www.stevens.edu/sites/stevens_edu/files/files/MSCHullBug_Poster_SRI2018_V1.pdf>(20 21)

De acordo com a fabricante, o robô possui alta versatilidade, podendo ser aplicado em cascos ferrosos, não ferrosos e de fibra de vidro, além da possibilidade de implantação de mais sensores de acordo com a aplicabilidade.

4.2.4 HullWiper

O *HullWiper* (Figura 31) é uma ferramenta de limpeza de casco que causa um baixo impacto ambiental de acordo com seu fabricante, pois os resíduos provenientes da limpeza são bombeados para uma unidade filtrante, separados, e as partes sólidas são direcionadas para tambores específicos, sendo esses recolhidos por empresas especializadas.

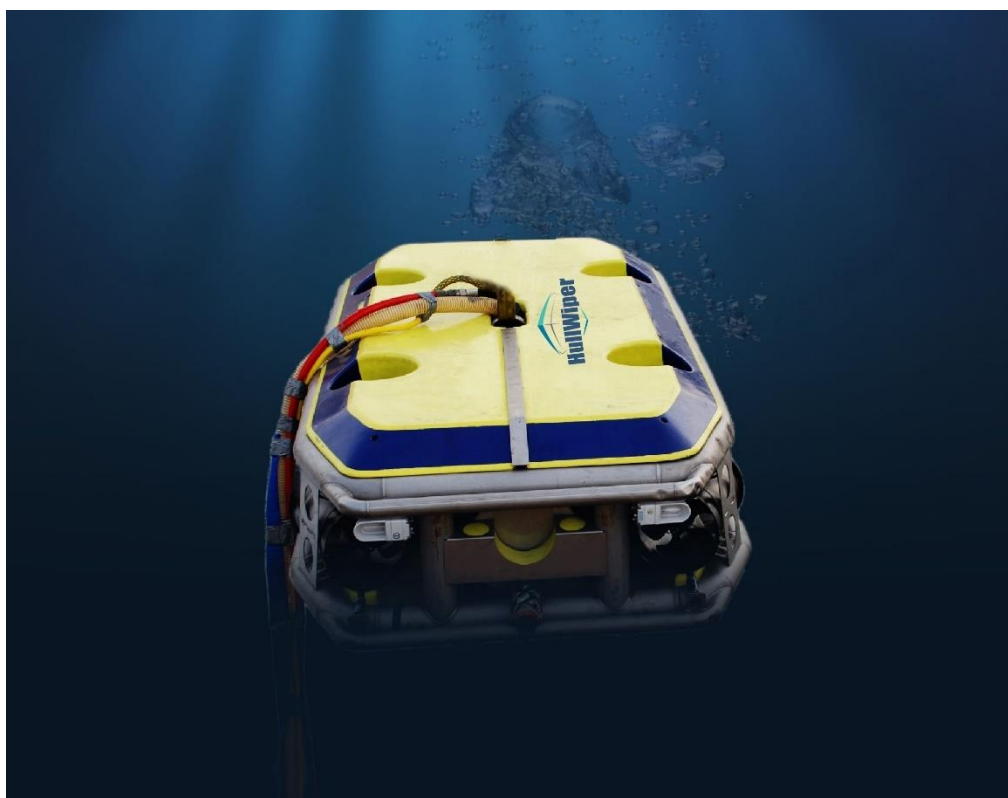


Figura 31: HullWiper inserido no mar a caminho da superfície de limpeza.

Fonte: Disponível em: < <https://www.hullwiper.co/>>(2021)

A tabela 6 mostra um quadro resumido com as especificações técnicas mais relevantes do *HullWiper*.

Tabela 6: Especificações técnicas HullWiper.

HullWiper Dubai, United Arabs	
--	--

Peso	1275 kg
Dimensões	3,3 m x 1,70 m x 0,85 m
Método de adesão ao casco	Sistema de Pressão Negativa
Pressão/Força de adesão ao casco	Não informado pelo fabricante
Capacidade de limpeza	2000 m ² /h
Sistema de limpeza	Discos de limpeza que boeiam água salgada
Sensores	Câmera, sensor de profundidade, sensor de pressão e nível de óleo e sensor de pressão de água.
Capacidade de operar com o navio em movimento	Não
Presença de filtro	Sim
Modo de operação	Manual
Utilização de cabo de segurança	Não
Máxima profundidade de operação	100 m
Custo de aquisição	\$1.000.000,00

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

A figura 32 mostra a embarcação de apoio utilizada na operação do robô, sendo ela a responsável por estocar o material recolhido pelo robô durante o seu trabalho de limpeza.



Figura 32: Barco de apoio a operação do robô.

Fonte: Disponível em: <<https://www.hullwiper.co/>>(2021)

A ferramenta comandada por controle remoto (Figura 33), opera a partir da pulverização de jatos d'água do mar com alta pressão ajustáveis de acordo com o nível de incrustação, ou seja, não utiliza escovas rotativas nem produtos químicos ou materiais abrasivos prejudiciais ao meio ambiente para desempenhar sua função. Considerando todas essas características, a ferramenta consegue trabalhar em qualquer ecossistema para variados níveis de incrustação.

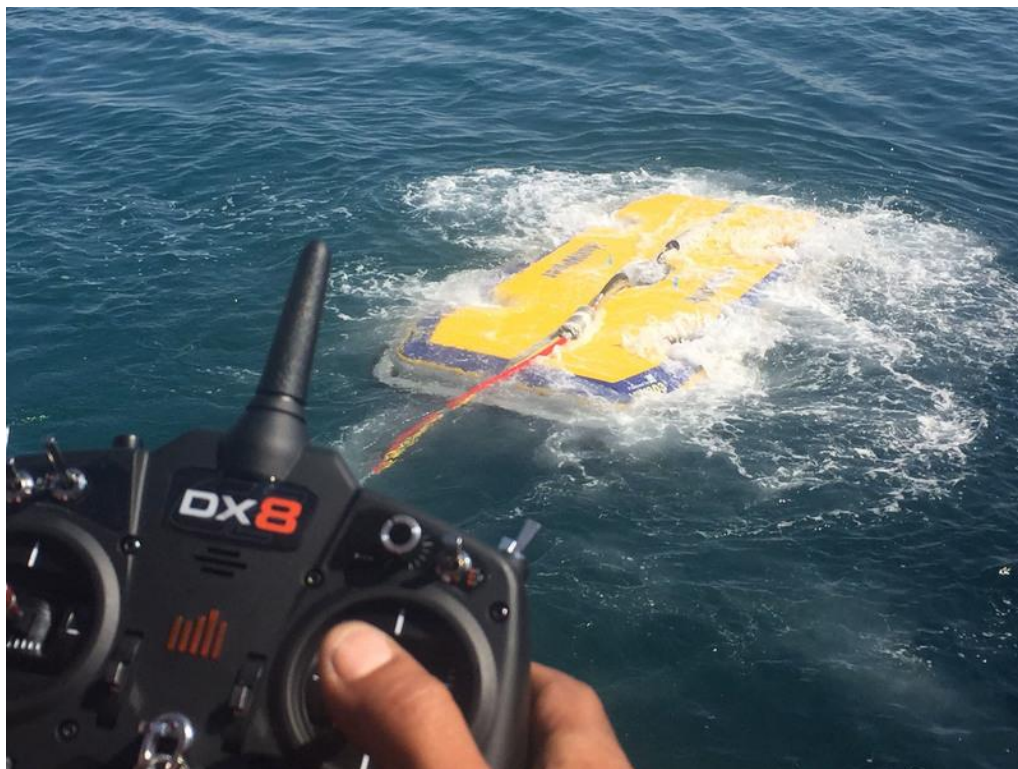


Figura 33: HullWiper sendo controlado por controle remoto.

Fonte: Disponível em: <<https://www.hullwiper.co/>>(2021)

De acordo com a fabricante, o fato desse robô utilizar jatos d'água de alta pressão faz com que ele não danifique os revestimentos das embarcações, além disso conta com dispositivos responsáveis por fazer com que a operação ocorra com velocidades variáveis, em razão das condições da superfície e do nível de incrustação presente no casco (Figura 34).

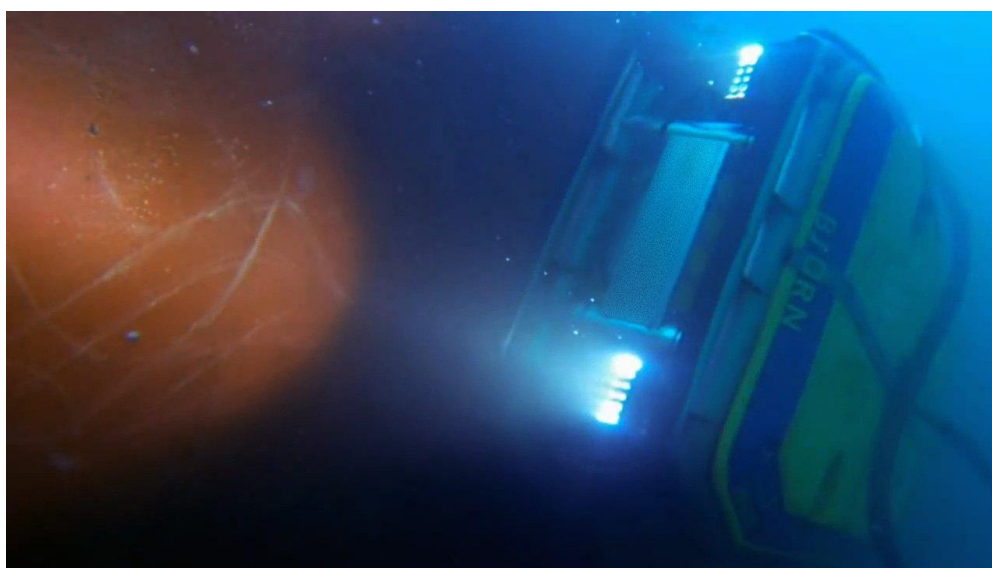


Figura 34: HullWiper em operação de limpeza.

Fonte: Disponível em: <<https://www.hullwiper.co/>>(2021)

4.2.5 Magnetic Hull Crawler

O *Magnetic Hull Crawler* (Figura 35) é um sistema operado remotamente dedicado a inspeção, limpeza e manutenção de superfícies ferromagnéticas.



Figura 35: Magnetic Hull Crawler realizando inspeção.

Fonte: Disponível em: <<https://www.cybernetix.fr/our-solutions/hull-inspection-and-cleaning-robotics>>(2021)

A tabela 7 mostra um quadro resumido com as especificações técnicas mais relevantes do *Magnetic Hull Crawler*.

Tabela 7: Especificações técnicas Magnetic Hull Crawler.

Magnetic Hull Crawler (MHC) Marseille, France	 A Technip Energies Company
Peso	65 kg até 100 kg (depende dos equipamentos instalados)
Dimensões	0,6 m x 0,5 m x 0,5 m
Método de adesão ao casco	Imãs e rodas de borracha
Pressão/Força de adesão ao casco	300kg - 400 kg

Capacidade de limpeza	100 m ² /h – 200 m ² /h
Sistema de limpeza	Jatos de água com alta pressão
Sensores	Câmeras, sondas ultrassônicas, IMU e sensor de profundidade.
Capacidade de operar com o navio em movimento	Sim, em velocidades acima de 2 nós
Presença de filtro	Não
Modo de operação	Manual
Utilização de cabo de segurança	Não
Máxima profundidade de operação	50 m
Custo de aquisição	Variável de acordo com o nível de equipamentos

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

O robô pode ser montado de acordo com a necessidade de cada cliente podendo ser utilizado em diversas aplicações, como em cascos de navios, flutuadores, medições ultrassônicas de espessura de parede e tanques de armazenamento interno e externo e tubulações. A visualização das inspeções realizadas pelo aparelho é visualizada em um programa específico desenvolvido pela *Cybernetix* (Figura 36).

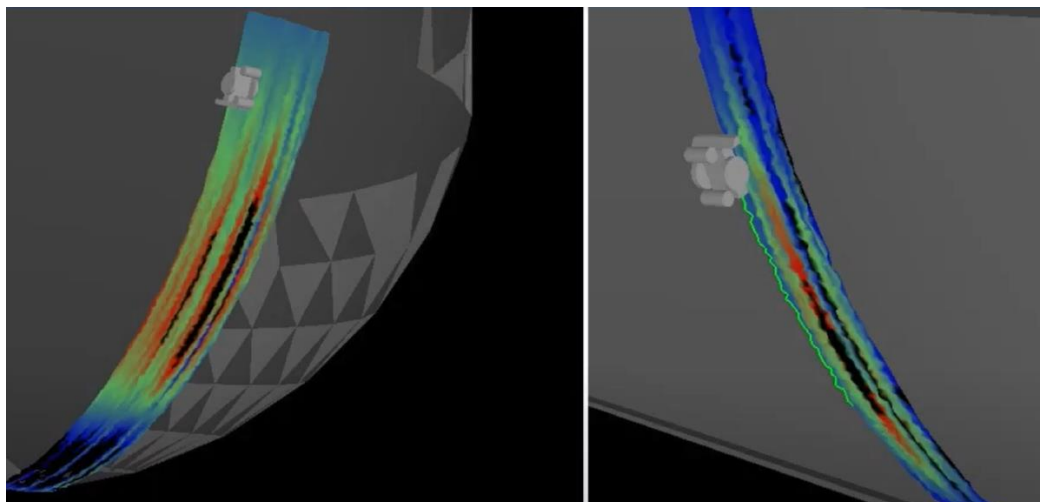


Figura 36: Software presente no MHC mostrando faixa de inspeção.

Fonte: Disponível em: <<https://www.cybernetix.fr/our-solutions/hull-inspection-and-cleaning-robotics#>>(2021)

De acordo com o fabricante, o sistema pode operar com até 50 metros de profundidade, com isso elimina-se a necessidade de mergulhadores, além do mais possui um cordão umbilical de 80 metros, permitindo uma maior liberdade por parte das equipes de operação.

Com seus ímãs permanentes, como é possível verificar na figura 37, ele executa várias tarefas de limpeza de casco de navio, além disso, através da cavitação, evita com que a pintura seja danificada. O sistema de cavitação possui dois jatos rotacionais com um kit de rodas de borracha ajustáveis e opera a uma pressão de $1,8 \times 10^7$ N/m² com uma vazão de $7,7 \times 10^{-4}$ m³/s (46 L/min) utilizando a própria água do mar.



Figura 37: MHC executando operação de limpeza em casco de navio.

Fonte: Disponível em: <<https://www.cybernetix.fr/our-solutions/hull-inspection-and-cleaning-robotics>>(2021)

4.2.6 RovingBAT

O *RovingBAT* (Figura 38) é um robô semiautônomo com capacidade para limpar uma superfície ao mesmo tempo que inspeciona, ou seja, ele consegue fazer a limpeza de incrustação presente no casco do navio e ainda sim verificar sua integridade estrutural, através da utilização de várias câmeras e diversos sensores de alta precisão.



Figura 38: RovingBAT em operação.

Fonte: Disponível em: <<https://www.rovinnovations.com/eca-hytec-roving-bat.html>>(2021)

A tabela 8 mostra um quadro resumido com as especificações técnicas mais relevantes do *RovingBAT*.

Tabela 8: Especificações técnicas RovingBAT.

RovingBAT La Garde, França	
Peso	120 kg
Dimensões	1 m x 1 m x 0,43 m
Método de adesão ao casco	6 propulsores e 2 conjuntos de esteiras motorizadas
Pressão/Força de adesão ao casco	Não informado pelo fabricante
Capacidade de limpeza	Não informado pelo fabricante
Sistema de limpeza	Jatos d'água de alta pressão e escovas rotativas

Sensores	Câmeras, acelerômetro, sensor de temperatura, de entrada de água e posição
Capacidade de operar com o navio em movimento	Sim
Presença de filtro	Não
Modo de operação	Semiautônomo
Utilização de cabo de segurança	Sim
Máxima profundidade de operação	100 m
Custo de aquisição	Não informado pelo fabricante

Fonte: Pesquisa Direta, 2021,

Além de cascos de navios, ele pode ser aplicado em parques eólicos offshore, usinas hidrelétricas e plataformas de petróleo. O seu uso em diversas superfícies se dá em razão do seu robusto sistema de locomoção que conta com 6 propulsores e 2 conjuntos de esteiras motorizadas, além do seu preciso sistema de funcionamento e controle que pode ser acompanhado através de um programa desenvolvido pela *ECA Group* (Figura 39).

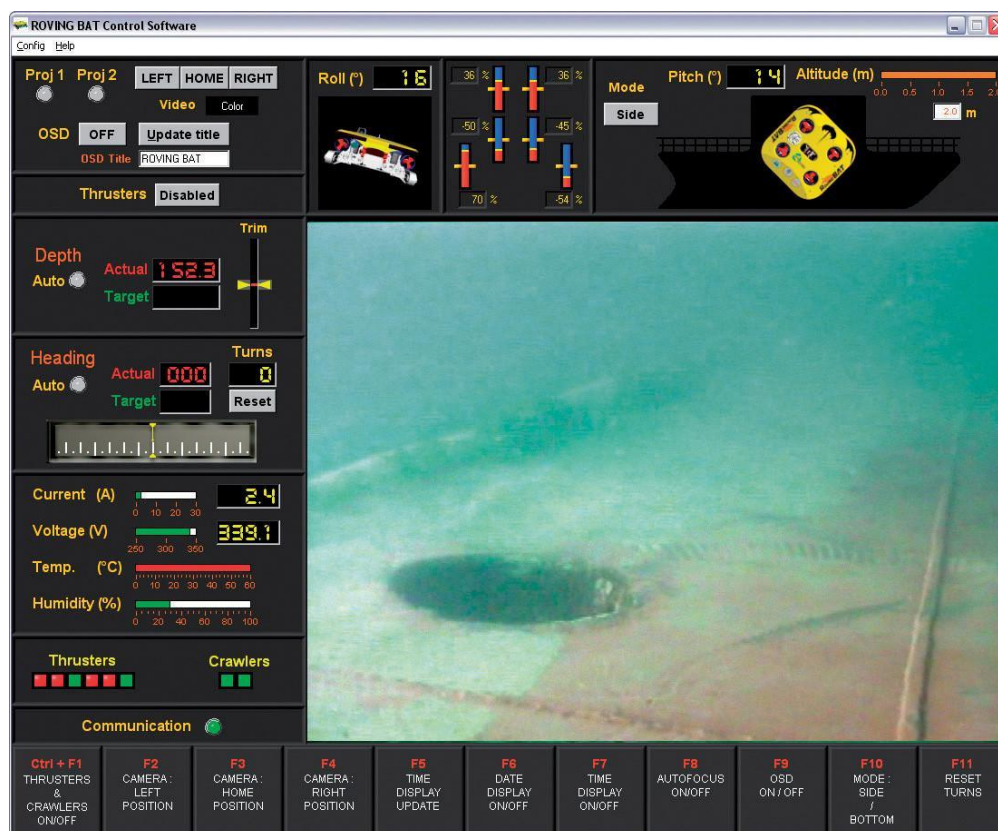


Figura 39: Tela do software de controle do robô.

Fonte: Disponível em: <<https://www.ecagroup.com/en/solutions/rovingbat-hybrid-rov>>(2021)

O robô está equipado com um sistema de limpeza por cavitação, sendo que a energia liberada pelas bolhas durante esse processo faz com que a incrustação seja arrancada do casco, além disso, a fabricante instalou um mecanismo que além de realizar esse trabalho de limpeza, cria um efeito de vórtice, aumentando assim a aderência do *ROV* na superfície.

Sua operação é acompanhada por uma estação de controle desenvolvida especificamente para essa ferramenta (Figura 40).



Figura 40: Estação de controle do RovingBAT

Fonte: Disponível em: <<https://www.ecagroup.com/en/solutions/rovingbat-hybrid-rov>>(2021)

4.3 Tamanho do Sistema de limpeza

Apresenta-se nesse item o estudo dos sistemas pesquisados através de um parâmetro quantitativo de área ocupada pelos sistemas de limpeza. Este indicador será obtido em função da área ocupada pelas ferramentas de limpeza.

Na figura 29 é possível verificar a área dos diferentes sistemas. Enquanto a ferramenta da *Fleet Cleaner* apresenta área igual a $3,2 \text{ m}^2$ o da *Raytheon* $0,8 \text{ m}^2$, o da *SeaRobotics Corporation* $1,5 \text{ m}^2$, o *HullWiper* da *Gulf Agency Company EnvironHull* $5,6 \text{ m}^2$, o da *Technip Cybernetix* $0,3 \text{ m}^2$ e o da *Eca Group* 1 m^2 .

Como visto é possível verificar que a ferramenta da *HullWiper* ocupa uma maior área, isso quer dizer que ele tem uma área específica de limpeza maior quando comparado aos outros robôs.

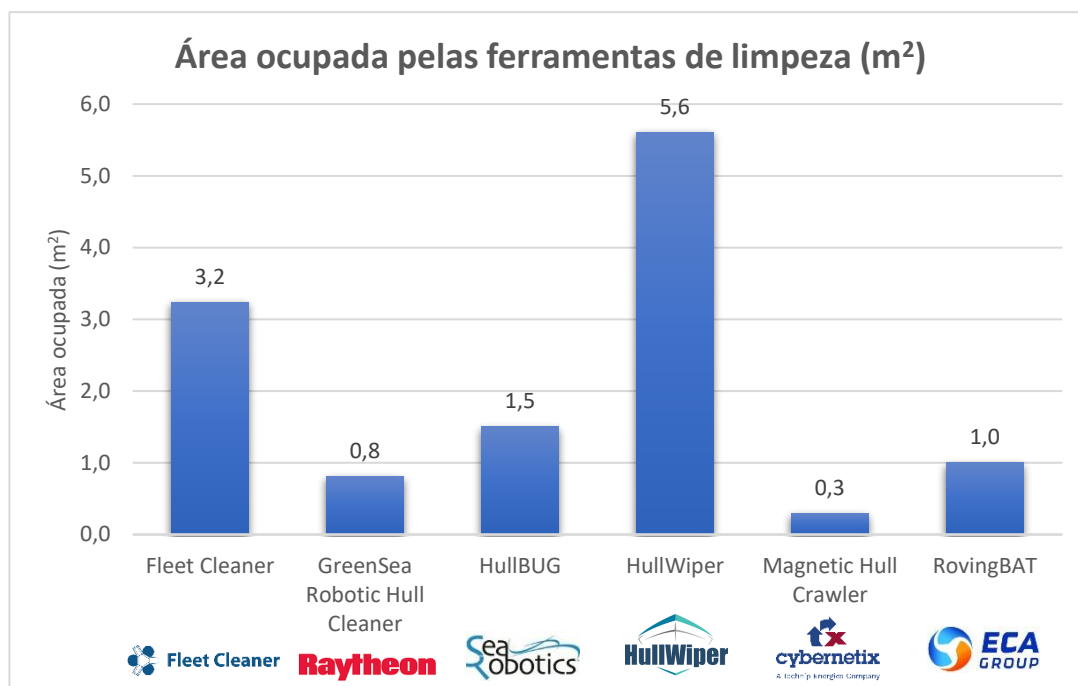


Figura 41: Gráfico comparando as áreas ocupadas por cada robô.

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

4.4 Modo de operação

Apresenta-se nesse item, ao estudar sobre ferramentas de limpeza de casco de navios o modo no qual elas operam.

Na tabela 9 é possível verificar de forma direta os modos de operação dos robôs. Os quatro modos de operação que é possível verificar são: modo autônomo, modo semiautônomo, modo manual e a combinação do modo autônomo e semiautônomo.

Cada modo de operação possui suas peculiaridades, ou seja, um robô que opera de forma autônoma acaba por carregar mais aparatos tecnológicos, como sensores e sonares, por exemplo, isso indica uma maior sensibilidade do aparelho, em contrapartida, ele traz um nível de inteligência e capacidade de leitura de dados bem maior quando comparado ao manual, além disso, pode operar com uma equipe de trabalho reduzida, fazendo com que seu custo final de operação seja menor.

Os robôs semiautônomos operam parte com a presença de operadores e parte de forma automatizada, isso depende principalmente das condições nas quais o equipamento está exposto, como por exemplo, a superfície na qual ele irá trabalhar, ou seja, pode se fazer necessário a intervenção da equipe de operação.

Os robôs manuais exigem uma equipe de operação específica para que ocorra a limpeza do casco do navio, ou seja, eles podem ser operados por controle remoto, por uma estação de controle especial, sendo essa conectada por um grande cordão umbilical ou até mesmo com a presença de mergulhadores.

A forma de operação varia bastante nesses robôs, considerando os níveis de trabalho e o menor custo de operação final, a forma de trabalho com robô autônomo se faz mais viável diante das necessidades atuais de rapidez e linearidade de operação, visto que eles trabalham de forma contínua independente da situação.

A tabela 9 mostra os diversos modos de operação dos robôs.

Tabela 9: Ferramentas e seus modos de operação.

Ferramenta	Modo de operação
Fleet Cleaner	Autônomo
GreenSea Robotic Hull Cleaner	Autônomo
HullBUG	Autônomo/Semiautônomo
HullWiper	Manual
Magnetic Hull Crawler	Manual
RovingBAT	Semiautônomo

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

4.5 Capacidade de limpeza

A pesquisa e o levantamento das características e dados relevantes dos sistemas estudados foram compilados, como visto em tabelas. Estas tabelas, Tabela 3, 4, 5, 6, 7 e 8 permitem uma visualização mais rápida e eficiente das particularidades de cada sistema.

Na figura 42 é possível verificar as diferentes faixas de trabalho das ferramentas de limpeza, considerando que a *Fleet Cleaner* trabalha a 1200 m²/h, a *GreenSea Robotic Hull Cleaner* a 1500 m²/h, o *HullBUG* a 600 m²/h, o *HullWiper* a 2000 m²/h, e o *Magnetic Hull Crawler* a 200 m²/h, o *RovingBAT* não tem os dados informados pela *ECA Group*.

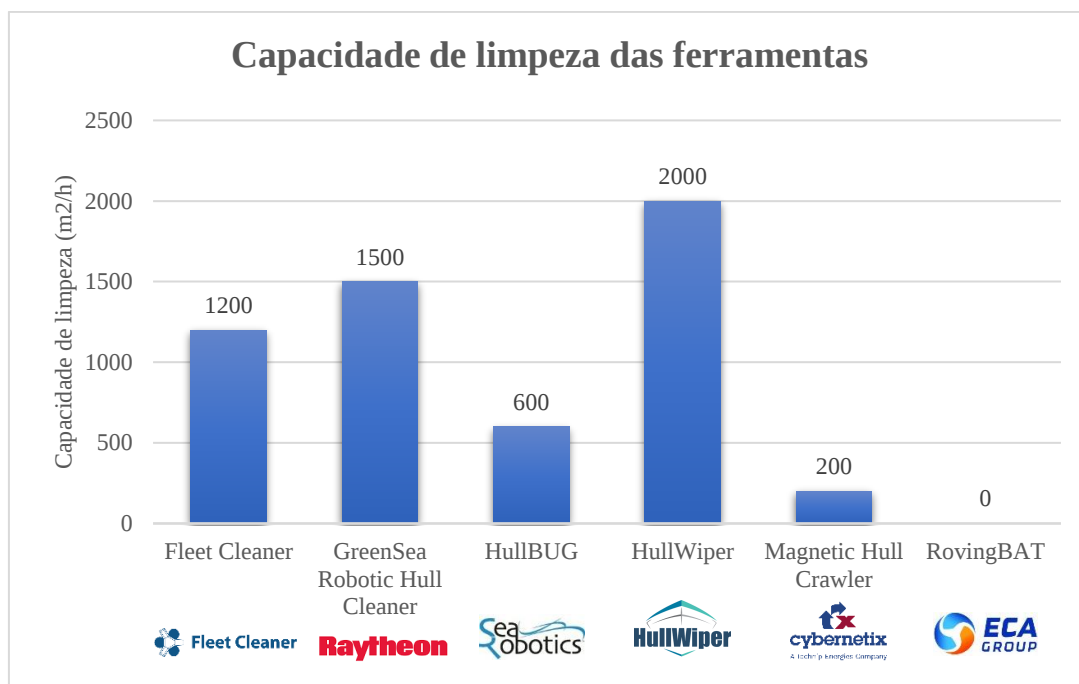


Figura 42: Capacidade de limpeza das ferramentas.

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

Visto que uma maior capacidade de trabalho reduz consideravelmente o tempo de limpeza do casco do navio, a ferramenta com melhor eficiência considerando esse quesito é a *HullWiper*.

4.6 Custo de Aquisição

Apresenta-se neste item o custo de aquisição de cada ferramenta de limpeza. Este custo com certeza é algo a ser levado em consideração diante dos projetos, visto que ele representa apenas o custo de aquisição de compra de cada equipamento.

Como apresentado na imagem 43, a ferramenta produzida pela *Gulf Agency Company EnvironHull* em Dubai, nos Emirados Árabes apresenta o maior preço, ou seja, \$1.000.000,00. Em contrapartida, as ferramentas *HullBUG* e *Fleet Cleaner* apresentam os menores preços, \$160.000,00. As empresas *ECA Group* e *Raytheon* não fornecem os valores dos seus produtos de forma pública.

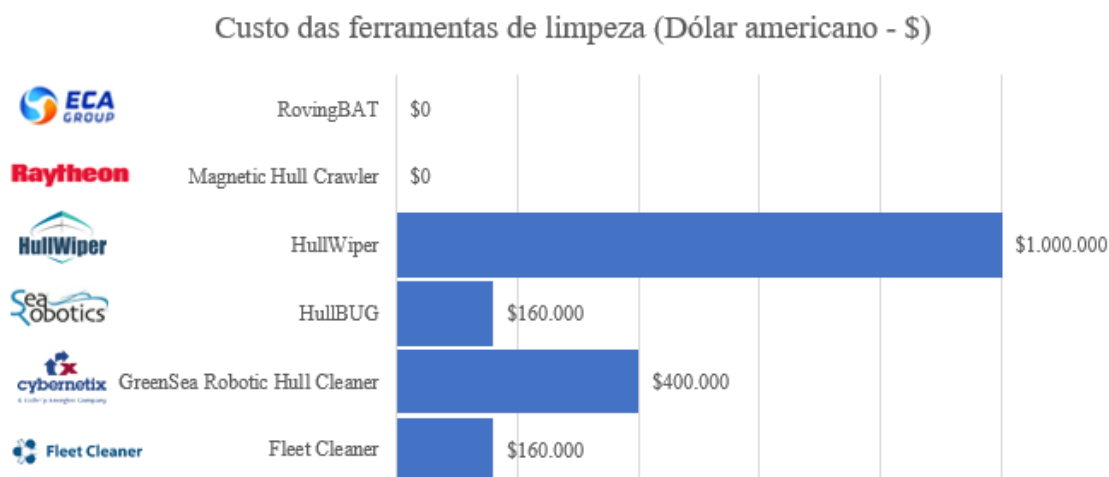


Figura 43: Custo das ferramentas de limpeza.

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

Considerando o custo de aquisição um quesito de elevado grau de importância na escolha de um produto para uma empresa, a ferramenta *Fleet Cleaner* apresenta o melhor resultado financeiro, visto que possui menor valor de compra, já que a ferramenta *HullBUG* fica mais cara à medida que o cliente solicita a instalação de mais dispositivos.

4.7 Material e área útil do casco

O material do casco e a área útil são dois pontos que podem estar diretamente ligados ao nível de incrustação na embarcação, visto que um navio graneleiro possui uma área útil muito maior quando comparado a um barco, por exemplo.

A figura 44 mostra o maior navio cargueiro de minério do mundo, o Valemax. A embarcação pertencente a mineradora Vale, possui 362 metros de comprimento, 65 metros de largura e 56 metros de altura total, desses 30 metros são de altura do costado e 23 metros são de altura do calado. Isso significa que área útil de limpeza pertence a região que fica abaixo da linha d'água, ou seja, na região coberta pelo revestimento vermelho.



Figura 44: Navio graneleiro de transporte de minério, Valemax.

Fonte: Disponível em:

<<http://www.vale.com/en/initiatives/innovation/valemax/pages/default.aspxv>>(2021)

A área do casco até a linha d'água (Figura 45) é a parte mais suscetível a ter bioincrustações, pois é onde ocorre contato direto com a água, justamente por isso é onde ocorre a aplicação de um revestimento de cor vermelha. Essa área vermelha representa a parte do casco coberta pelas tintas anti-incrustantes.

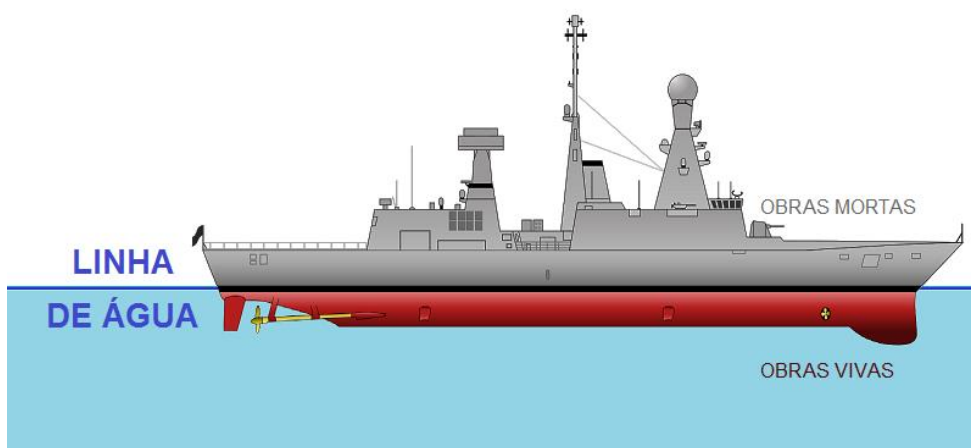


Figura 45]: Representação da linha de água em um navio.

Fonte: Disponível: <<http://salvador-nautico.blogspot.com/2018/06/linha-agua-flutuacao.html>>(2021)

Nessa superfície chamada de área molhada do casco é onde as ferramentas de limpeza fazem o seu papel, por isso é muito importante levar em consideração a capacidade de limpeza das ferramentas, visto que a área a ser limpa possui um tamanho considerável.

Por outro lado, outro fator a ser levado em consideração é o material do casco, esse pode ser fabricados utilizando aço carbono com elementos de liga, sendo assim é muito importante o cuidado na forma de adesão para que a ferramenta não danifique o material do casco. Na imagem 46 é possível verificar as diferentes formas de adesão ao casco do navio.

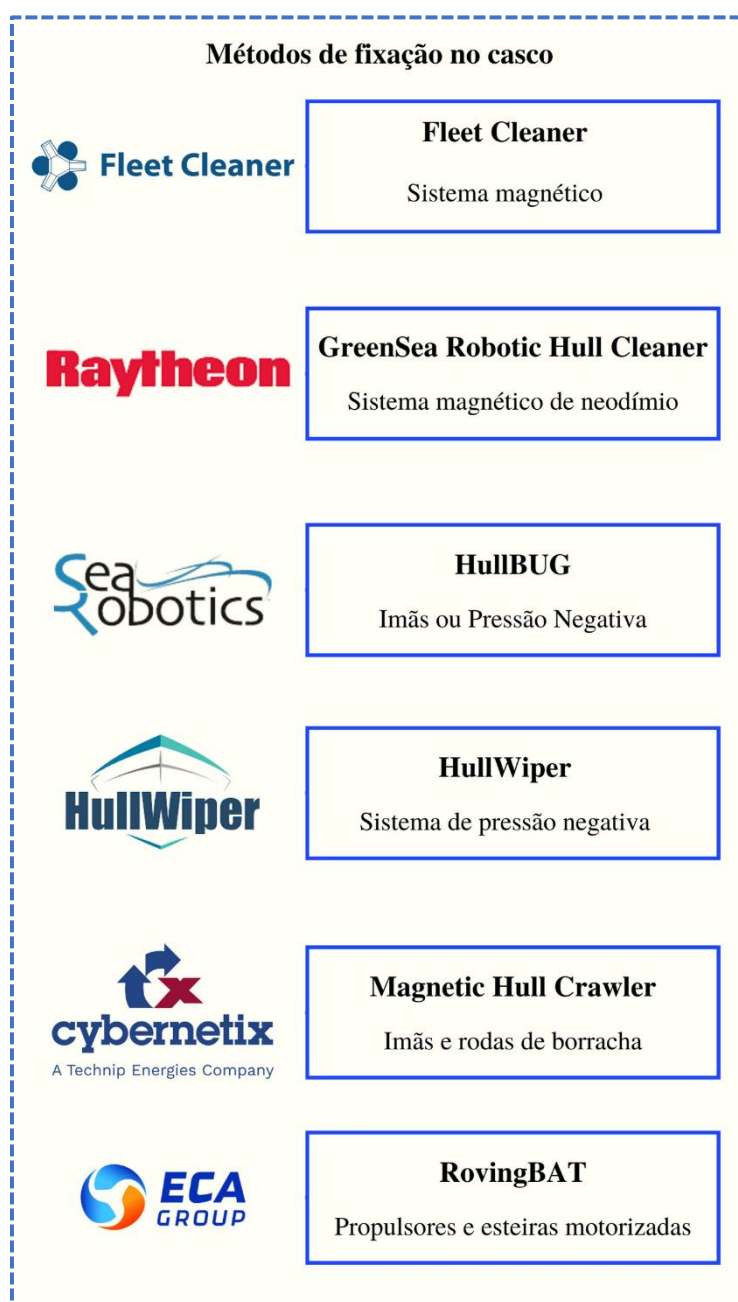


Figura 46: Métodos de fixação das ferramentas no casco.

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

De acordo com os dados apresentados, o material do casco e área útil influenciam muito na escolha da ferramenta, sendo assim, de acordo com a figura acima (Figura 46), a ferramenta que mais se destaca no quesito velocidade de limpeza combinando com a maneira na qual é afixada no casco é a *HullWiper*, pois seu sistema de pressão negativa não afeta a estrutura do navio, algo que pode ocorrer com o uso das ferramentas magnéticas, além disso, como visto na figura 42, ela apresenta a maior capacidade de limpeza, ou seja, 2000 m²/h.

5 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos na análise das melhores ferramentas de limpeza de casco pesquisadas com o objetivo de tratar alguns parâmetros como tamanho do sistema, modo de operação, capacidade de limpeza, custo de aquisição, levando em consideração ainda a área da superfície da embarcação e o material de fabricação.

O trabalho proporcionou, por exemplo, perceber que a capacidade de limpeza da ferramenta pode influenciar diretamente na operação do navio, visto que, uma ferramenta automática que opera de forma ágil e contínua se sobressai a uma ferramenta manual em razão do tempo de navio parado. Esse tempo parado onera altos custos para a operadora da embarcação, além disso, a limpeza do casco dos navios é realizada preferencialmente com o navio em carga ou descarga para melhor aproveitamento do tempo e menor custo.

Sendo assim é importante observar a figura 47 na qual ocorre o comparativo entre a capacidade de limpeza e o tamanho do sistema. Observa-se que ferramenta *HullWiper* produzida pela *Gulf Agency Company EnvironHull* em Dubai, Emirados Árabes apresenta a melhor performance, pois ocupa uma maior área no casco do navio, ou seja, $5,6 \text{ m}^2$ com uma capacidade de limpeza de $2000 \text{ m}^2/\text{h}$.

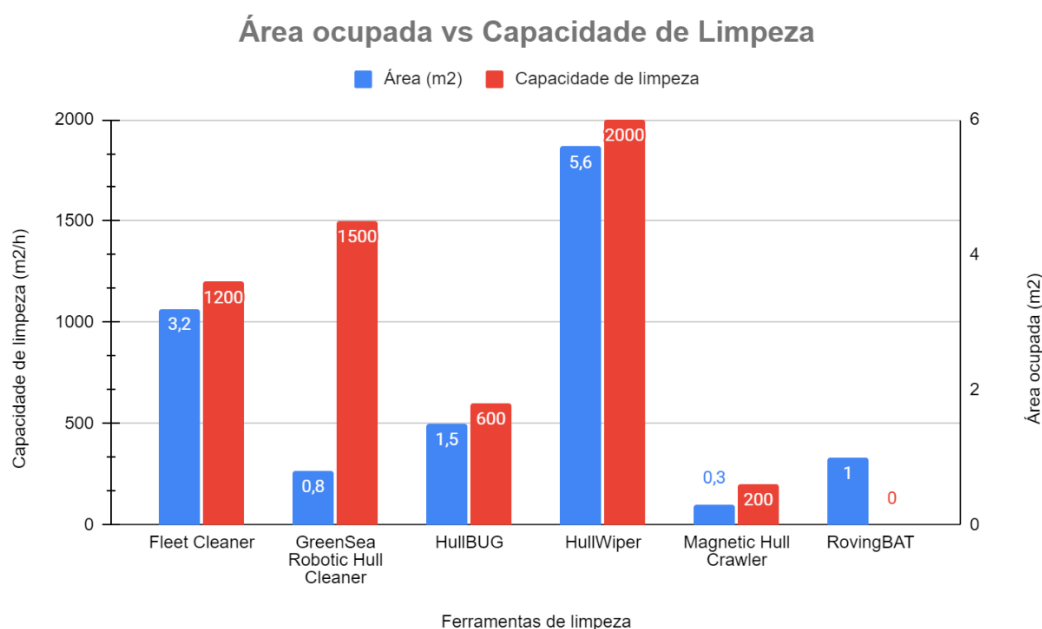


Figura 47: Comparação da área ocupada vs Capacidade de limpeza das ferramentas.

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

Ainda neste trabalho, percebeu-se que é importante atrelar a eficiência da ferramenta ao custo de aquisição dela no mercado, bem como avaliar a sua forma de operação.

Na figura 48, observa-se os modos de operação das ferramentas em comparação com seus custos de aquisição, sendo assim é possível verificar que uma ferramenta que opera de forma autônoma possui um custo mais elevado do que as ferramentas que operam de forma manual.

Levando em consideração todo o conhecimento obtido no decorrer do trabalho e partir das análises realizadas, foi feito uma recomendação de qual ferramenta usar na aplicação em navios graneleiros. Utilizando apenas esse critério, as ferramentas *FleetCleaner* e *GreenSea Robotic Hull Cleaner* seriam as mais satisfatórias em razão de serem autônomas.

Modo de operação	
 Fleet Cleaner	Fleet Cleaner Autônomo
 Raytheon	GreenSea Robotic Hull Cleaner Autônomo
 Sea Robotics	HullBUG Autônomo/Semiautônomo
 HullWiper	HullWiper Manual
 cybernetix A Technip Energies Company	Magnetic Hull Crawler Manual
 ECA GROUP	RovingBAT Semiautônomo

Figura 48: Comparação do modo de operação das ferramentas de limpeza.

Fonte: Pesquisa Direta, 2021

5.1 CONCLUSÃO

Como visto neste trabalho, a bioincrustação é um grande problema para a navegação, independente da sua escala, seja ela comercial ou não.

Os sistemas de limpeza de cascos de navios estão cada vez mais modernos, utilizando tecnologias cada vez mais recentes e precisas, isso significa que cada vez menos, as empresas optarão por utilizar mergulhadores em operações de limpeza de cascos, salvo em exceções nas

quais as ferramentas não conseguem alcançar, como nos propulsores ou dentro das caixas de mar.

Contudo, este trabalho apresentou como objetivo principal, análise das melhores ferramentas de limpeza de cascos de navios graneleiros utilizando alguns parâmetros como tamanho do sistema de limpeza, modo de operação, capacidade de limpeza e custo de aquisição da ferramenta. Desta forma, foi possível definir o melhor sistema de limpeza para o casco de um navio graneleiro. A partir das análises feitas de todos os parâmetros levantados nas figuras 47 e 48, constatou-se que a ferramenta *HullWiper* apresenta os melhores resultados técnicos aplicados a limpeza de um casco de um navio graneleiro, visto sua eficiência e agilidade em realizar a tarefa. Apesar do custo de aquisição elevado quando comparada as outras ferramentas, o seu benefício é maior, valendo assim o preço que se paga a mais considerando manutenção e longo prazo de operação. A ferramenta possui um robusto sistema de limpeza podendo se adaptar em qualquer área específica, justamente pelo fato de possuir um sistema de recolhimento de tudo que é retirado do casco do navio.

Portanto nisso e na problemática “Quais são os melhores e mais avançados sistemas de limpeza que fazem a retirada de bioincrustação dos cascos de navios graneleiros?”, constata-se que o trabalho proposto obteve sucesso. Isso se deu pelo processo de análise das principais ferramentas de limpeza de casco disponíveis no mercado, levando em consideração a capacidade de limpeza e o custo-benefício, fatores essenciais na definição para limpeza em navios graneleiros, tendo em vista que estes influenciam diretamente nas operações e no tempo que eles ficam atracados no porto.

5.2 RECOMENDAÇÕES

A partir do estudo realizado, alguns pontos de melhoria foram identificados, recomenda-se, então, para trabalhos futuros:

- Análise prática das ferramentas disponíveis no mercado;
- Estudo dos impactos ambientais da utilização de ferramentas de limpeza de cascos que não recolhem o material removido do casco das embarcações;
- Estudo de ferramentas automatizadas que possam ser utilizadas em áreas onde os robôs não podem alcançar, como exemplo, as caixas de mar, eixos, propulsores e bulbo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ADLAND, R., Cariou, P., Jia, H. and Wolff, F.-C. **The energy efficiency effects of periodic ship hull cleaning**, *Journal of Cleaner*, 2018
- AKINFIEV, Teodor; ARMADA, Manuel. **Robotics system for underwater ship hull cleaning**. *Transport & Engineering*, v. 24, n. 7, 2007.
- ANDRADE, Juliana Miranda. **Desenvolvimento de pigmento não-convencional à base de extratos vegetais para aplicação em tintas antifouling**. 2010.
- AZIS, PK Abdul; AL-TISAN, Ibrahim; SASIKUMAR, N. **Biofouling potential and environmental factors of seawater at a desalination plant intake**. *Desalination*, v. 135, n. 1-3, p. 69-82, 2001.
- CRESWELL, Jonh. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativos, quantitativos e misto**. 3ed. Porto Alegre. Artmed, 2010.
- DAVIS, Andrew R. et al. **Epibiosis of marine algae and benthic invertebrates: natural products chemistry and other mechanisms inhibiting settlement and overgrowth**. *Bioorganic marine chemistry*, p. 85-114, 1989.
- DIEHL, Astor Antônio. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice Hall, 2004
- FARRAPEIRA, Cristiane Maria Rocha. **Shallow water Cirripedia of the northeastern coast of Brazil: the impact of life history and invasion on biogeography**. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 392, n. 1-2, p. 210-219, 2010.
- FLEMMING, H. C.; SCHAULE, G. **Biofouling on membranes: a microbiological approach**. *Desalination*, v. 70, p. 95-119, 1988
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Editora atlas, 2002. 175 p
- INTERNACIONAL MARINE COATINGS. Disponível em: https://www.international-marine.com/?gclid=CjwKCAiAqIKNBhAIEiwAu_ZLDsTVOSNvNCdZj8EBspgwefKqrmdbZ5fGFgzQQG3c0Rbt81_7HxuzBoCN74QAvD_BwE. Acesso em: novembro de 2021.
- KIM, Dooil et al. **Biocide application for controlling biofouling of SWRO membranes—an overview**. *Desalination*, v. 238, n. 1-3, p. 43-52, 2009.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª edição. São Paulo: Editora atlas, 2003. 311 p.

LEÃO, Tarciso et al. **Espécies Exóticas Invasoras**. 2011.

LOPES, R.M.; Cunha, D.R. & Santos, K.C. **Estatísticas sobre as espécies exóticas marinhas registradas na zona costeira brasileira, p.31-35, in Brasil**. Ministério do Meio Ambiente. Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil. MMA/SBF, Série Biodiversidade, 33, 2009.

Manuals, 2006

MARTINS, T. L.; VARGAS, V. M. F. **Riscos à biota aquática pelo uso de tintas antiincrustantes nos cascos de embarcações**. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2013.

MORESI, Eduardo, *Metodologia da Pesquisa*, 2003 (**Programa de Pós- Graduação stricto Sensu em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação**).

MORRISSEY, D. J. and Woods, C. **In-water cleaning technologies: Review of information**, **Ministry for Primary Industries, Manatu Ahu Matua**, 2015

NAVARRO, Pedro et al. **A sensor system for detection of hull surface defects**. *Sensors*, v. 10, n. 8, p. 7067-7081, 2010.

Navy, U.. **Waterborne underwater hull cleaning of navy ships**, *Naval Ships' Technical*

RUEPING, Maria JGT et al. Forty-one recent cases of invasive zygomycosis from a global clinical registry. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, v. 65, n. 2, p. 296-302, 2010.

SILVA. E. L.; MENEZES E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: LED/UFSC, 2000

TADACHI, N.T., e FLORES, M.C.X. **Indicadores da Qualidade e do Desempenho**. 1ª.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997. 100p.

TROVATI, Graziella. **Revestimento de poliuretano como anti-incrustante para o controle do mexilhão dourado (Limnoperna fortunei)**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VROUWENVELDER, J. S.; KRUIHOF, J. C.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. **Integrated approach for biofouling control**. *Water science and technology*, v. 62, n. 11, p. 2477-2490, 2010.