



PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO NO CASCO E HÉLICE DE NAVIOS POR MEIO DA ANÁLISE DE DADOS

Rafael Fischer Dutra e Mello dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Jean-David Job Emmanuel Marie
Caprace

Rio de Janeiro
Setembro de 2017

PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO NO CASCO E HÉLICE DE NAVIOS POR
MEIO DA ANÁLISE DE DADOS

Rafael Fischer Dutra e Mello dos Santos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

Examinada por:

Prof. Jean-David Job Emmanuel Marie Caprace, Ph.D.

Prof. Floriano Carlos Martins Pires Junior., D.Sc.

Prof. Marcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2017

dos Santos, Rafael Fischer Dutra e Mello

Planejamento de Manutenção no Casco e Hélice de Navios por Meio da Análise de Dados / Rafael Fischer Dutra e Mello dos Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XIII, 71 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jean-David Job Emmanuel Marie Caprace.

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa Engenharia Oceânica, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 69- 70

1. Planejamento de Manutenção. 2. Mineração de Dados. 3. Regressão Não-Linear. I. Caprace, Jean-David Job Emmanuel Marie. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Oceânica. III. Título.

*À minha mãe, meu pai e meu irmão pelo
apoio e força em todos os momentos.*

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Professor Jean-David J. E. M. Caprace, pelo esforço e empenho na tarefa de orientação, pela confiança e por acreditar no meu trabalho.

À Natalie Cariaga pela inspiração, pelo apoio incondicional, pela ajuda nas horas difíceis e por me acompanhar nessa jornada desde o início.

À minha família e meus avós Marília (*in memoriam*), Gelso, Oly (*in memoriam*) e Vera pela presença marcante em minha vida e por me dar todas as condições para alcançar meus objetivos.

Aos meus amigos Bruno Delfino, Bruno Duarte, Pedro Ronchini e Luiz Picorelli pelos conselhos e suporte em todos os momentos.

Aos professores que também participaram da banca examinadora: Prof. Floriano Carlos Martins Pires Junior e Prof. Marcio de Almeida D'Agosto; pelo encorajamento, pelas perguntas e comentários. Ao Prof. Luiz Felipe Assis pelo suporte contínuo durante os estudos e pela motivação.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO NO CASCO E HÉLICE DE NAVIOS POR MEIO DA ANÁLISE DE DADOS

Rafael Fischer Dutra e Mello dos Santos

Setembro/2017

Orientador: Jean-David Job Emmanuel Marie Caprace

Programa: Engenharia Oceânica

O cenário global de navegação encontra-se cada vez mais pressionado em busca de alternativas sustentáveis relacionadas à emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, a qual está diretamente ligada ao consumo de combustível. Um dos principais problemas de desempenho das embarcações é fruto da deterioração das condições do casco e hélice. Com base nisso, faz-se necessário prever o melhor intervalo de manutenção, sem aumentar os gastos com recursos. Foi utilizado o método de mineração de dados de navegação, desde a adaptação da base de dados até as análises de regressão e classificação. O resultado é um modelo de planejamento de manutenção do casco e hélice que identifica o melhor intervalo para execução das intervenções, a fim de evitar aumento expressivo do consumo do navio. O estudo demonstra que é possível aperfeiçoar a eficiência de uma frota, por intermédio deste modelo desenvolvido a partir dos dados de navegação já disponíveis no dia a dia das embarcações.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

SHIP'S HULL AND PROPELLER MAINTENANCE PLANNING USING DATA
ANALYSIS

Rafael Fischer Dutra e Mello dos Santos

September/2017

Advisor: Jean-David Job Emmanuel Marie Caprace

Department: Ocean Engineering

The global shipping industry is under constant pressure to develop sustainable alternatives related to the emission of greenhouse gases, which is directly related to the fuel consumption. One of the main problems of vessel's performance is consequence of deterioration of the hull and propeller. Based on this, it is necessary to predict the best maintenance interval without increasing resource spending. The sailing data was analyzed through data mining method, from the pre-processing of the database to the regression and classification analyzes. The result is a model of hull and propeller maintenance planning that identifies the best interval for execution of interventions in order to avoid a significant increase in ship consumption. The study demonstrates that it is possible to improve the efficiency of a fleet by means of this model developed from the sailing data already available in the daily routine of the vessels.

Sumário

Introdução.....	1
Descrição do trabalho	5
Revisão da Literatura.....	7
Metodologia da Pesquisa	10
Data Mining.....	10
Pré-Processamento e Transformação.....	11
Regressão.....	15
Resistência ao avanço da embarcação	16
Indicadores (KPI)	17
Estudo de Caso	20
Descrição dos Dados	20
Pré-Processamento	24
Data Reduction	24
Eliminação de Outliers	26
Agregação dos Dados por Viagem	34
Ajuste do Coeficiente de Almirantado	35
Classificação das Intervenções	37
Modelo de Análise.....	42
Discussão de Resultados.....	44
Navio A	44
Navio B.....	47
Navio C.....	50
Navio D	52
Navio E.....	54
Navio F.....	57
Navio G	59

Resultados Gerais	61
Análise Econômica	64
Conclusões.....	67
Referências Bibliográficas.....	69
Anexo I.....	71

Índice de Figuras

Figura 1 – Casco com presença de craca e limo.....	3
Figura 2 – Comparação da condição do casco antes e depois da limpeza.....	4
Figura 3 – Propulsor antes e depois de limpeza e polimento.	5
Figura 4 – Passos do processo de Data Mining	10
Figura 5 – Etapas do pré-processamento de dados.....	11
Figura 6 – Exemplo de dados com ruído.....	12
Figura 7 – Regressão linear e não-linear	15
Figura 8 – Componentes de resistência em função do número de Froude	16
Figura 9 – Método de desvio de consumo adicional	18
Figura 10 – Fluxograma do desenvolvimento da tese	20
Figura 11 – Base dados plotada de acordo com posição enviada. Azul: Carregado / Vermelho: Lastro.....	22
Figura 12 - Histograma – Velocidade Calculada.....	26
Figura 13 – Gráfico Consumo X Velocidade antes do tratamento - Carregado.....	28
Figura 14 – Curva obtida através da regressão não-linear - Carregado.....	29
Figura 15 – Desvio de Consumo antes do tratamento - Carregado.....	29
Figura 16 - Gráfico Consumo X Velocidade após tratamento - Carregado	30
Figura 17 - Desvio de Consumo após tratamento – Carregado.....	31
Figura 18 - Curva obtida através da regressão não-linear - Lastro.....	32
Figura 19 - Desvio de Consumo antes do tratamento - Lastro	32
Figura 20 - Gráfico Consumo X Velocidade após tratamento - Lastro.....	33
Figura 21 - Desvio de Consumo após tratamento – Lastro	34
Figura 22 – Consumo X Velocidade – Consolidado por viagem - Carregado	34
Figura 23 - Consumo X Velocidade – Consolidado por viagem - Lastro	35
Figura 24 – Navio A - 1º Intervenção.....	37
Figura 25 – Navio A - 2º Intervenção.....	37
Figura 26 - Navio B - 1º Intervenção.....	38
Figura 27 - Navio B - 2º Intervenção.....	38
Figura 28 - Navio C - 1º Intervenção.....	38
Figura 29 - Navio D - 1º Intervenção	39
Figura 30 - Navio D - 2º Intervenção	39

Figura 31 - Navio E - 1º Intervenção.....	39
Figura 32 - Navio E - 2º Intervenção.....	40
Figura 33 - Navio E - 3º Intervenção.....	40
Figura 34 - Navio E - 4º Intervenção.....	40
Figura 35 - Navio F - 1º Intervenção.....	41
Figura 36 - Navio G - 1º Intervenção.....	41
Figura 37 - Navio G - 2º Intervenção.....	41
Figura 38 – Resultado desconsiderando primeiro ano de operação – Navio A.....	45
Figura 39 – Resultado – Navio A.....	46
Figura 40 - Resultado desconsiderando as duas primeiras viagens – Navio B.....	48
Figura 41 - Resultado – Navio B.....	49
Figura 42 - Resultado – Navio C.....	51
Figura 43 - Resultado – Navio D.....	53
Figura 44 - Resultado – Navio E.....	56
Figura 45 - Resultado – Navio F.....	58
Figura 46 - Resultado – Navio G.....	60

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Medidas sugeridas no documento “2012 GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF A SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP)”.....	2
Tabela 2 – Dimensões principais da classe VLOC UM.	20
Tabela 3 – Diferença entre as embarcações da classe VLOC UM.....	21
Tabela 4 – Data das intervenções nos navios da classe VLOC UM.....	24
Tabela 5 – Estatística de atributos para eliminação de Outliers – Condição Carregada	27
Tabela 6 – Viagens descartadas após eliminação de outliers - Carregado	28
Tabela 7 – Estatística do Desvio de consumo - Carregado	30
Tabela 8 - Estatística de atributos para eliminação de Outliers – Condição Lastro	31
Tabela 9 - Estatística do Desvio de consumo – Lastro.....	33
Tabela 10 – Ajuste do coeficiente de almirantado - Lastro	36
Tabela 11 – Ajuste do coeficiente de almirantado -Carregado	36
Tabela 12 – Tempo de parada por tipo de porto – Navio A	44
Tabela 13 – Classificação das intervenções – Navio A.....	44
Tabela 14 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio B	47
Tabela 15 - Classificação das intervenções – Navio B.....	47
Tabela 16 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio C	50
Tabela 17 - Classificação das intervenções – Navio C.....	50
Tabela 18 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio D.....	52
Tabela 19 - Classificação das intervenções – Navio D	52
Tabela 20 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio E	54
Tabela 21 - Classificação das intervenções – Navio E.....	54
Tabela 22 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio F	57
Tabela 23 - Classificação das intervenções – Navio F	57
Tabela 24 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio G.....	59
Tabela 25 - Classificação das intervenções – Navio G	59
Tabela 26 – Impacto das intervenções no hélice	61
Tabela 27 – Impacto das Intervenções no casco e hélice	62
Tabela 28 – Taxa anual de deterioração do indicador por navio.....	62
Tabela 29 – Período de operação analisado por navio	63

Tabela 30 – Desempenho médio inicial da frota	64
Tabela 31 – Consumo médio calculado para período de 5 anos	65
Tabela 32 – Diferença de consumo total entre embarcações.....	65
Tabela 33 – Custo da diferença de consumo	65
Tabela 34 – Comparação dos custos das intervenções e gastos adicionais devido à diferença de desempenho.....	66
Tabela 35 – Tempo de parada em portos.....	71

Introdução

O transporte marítimo movimenta cerca de 10 bilhões de toneladas de carga por ano, aproximadamente 90% das transações internacionais, essa quantidade de carga é movimentada por noventa mil embarcações, representando um equivalente a 1,75 bilhões de toneladas porte bruto. Todo esse volume precisa ser regulado através de um órgão com o objetivo de garantir segurança, prevenção de poluição, eficiência e qualidade.

A IMO (*International Maritime Organization*) é a agência especializada da UN (*United Nations*) que é responsável por organizar o comércio marítimo e encorajar a adoção de normas e regulamentos relativos à segurança marítima e do meio ambiente. Recentemente, as iniciativas relacionadas à água de lastro, controle de emissões e eficiência energética vêm sendo discutidas amplamente e ganhando importância no cenário global cada vez mais pressionado a favor da redução de poluição e por uma maior preservação do meio ambiente.

Uma das principais convenções da IMO, a MARPOL (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*), adotada em 1973, é a principal convenção internacional que trata da prevenção de poluição do meio ambiente marinho. Esta trata diretamente em seus anexos de controle de emissões e eficiência energética através do recém adotado *Annex VI - Prevention of Air Pollution from Ships*.

As questões relacionadas a MARPOL são discutidas pelo MEPC (*Maritime Environment Protection Committee*) [1]. Este comitê foi o responsável pela recente adoção do EEDI (*Energy-Efficiency Design Index*), considerada uma das medidas técnicas mais importantes, promovendo o uso de equipamentos e motores mais eficientes. Hoje, depois de algumas mudanças no escopo, essa medida atinge as classes de navios responsáveis por 85% das emissões de CO₂ da indústria de navegação internacional.

Os fatores que compõe a fórmula do EEDI são: emissões de CO₂, capacidade de carga e velocidade de projeto da embarcação. Esse indicador é utilizado somente para navios novos e na fase de projeto, não sendo assim utilizado como indicador operacional.

Por outro lado, a IMO, através do SEEMP (*Ship Energy Efficiency Management Plan*), adotado em 2013, propõe medidas operacionais para melhoria da eficiência energética da embarcação e do desempenho da frota [2]. A Tabela 1 apresenta exemplos de medidas sugeridas.

Tabela 1 – Medidas sugeridas no documento “2012 GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF A SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP)”.

Medida	Descrição
Monitoramento e ajuste do motor	Otimização de desempenho e da condição operacional do motor
Condição do casco e hélice	Redução de incrustações e avarias
Redução da potência auxiliar	Redução da carga elétrica via operação e gerenciamento dos motores auxiliares
Ajuste de velocidade	Minimizar o consumo através da redução de velocidade. Ponto ótimo de operação do motor
Otimização de trim/calado	Operação no trim ótimo para dado calado e velocidade
Planejamento da viagem	Redução do tempo de fila, tempo no porto, etc.
Rota e previsão climática	Ganho de eficiência ao evitar condições de tempo e mar ruins
Uso de combustíveis alternativos	Uso de fontes de energia alternativas
Recuperação de calor residual	Geração de eletricidade através do calor que seria desperdiçado
Melhoria da gestão da frota	Disseminação de boas práticas e uso coordenado da frota

O SEEMP propõe, de maneira voluntária, a utilização de um indicador operacional, o EEOI (*Energy Efficiency Operational Indicator*), como ferramenta de monitoramento das ações propostas. Este leva em consideração a emissão de CO₂, a quantidade de carga transportada e a distância navegada.

O EEOI não é obrigatório e vem sendo contestado principalmente pelas economias emergentes devido a possibilidade desse indicador ser usado para taxar a falta de eficiência de algumas embarcações. Outro ponto importante é que o EEOI não contempla todos os tipos de operação e precisa ser adaptado para cada caso. Por exemplo, existem modelos de transporte nos quais o navio vai até o porto de descarga carregado e

volta descarregado, resultando assim em um indicador nulo na viagem em lastro, pois não há carga transportada.

Ao mesmo tempo que não há consenso a respeito do melhor indicador de desempenho a ser utilizado, em 2014 através do MEPC 67, foi decidido que um sistema de coleta de dados de consumo será desenvolvido com o objetivo de acelerar as iniciativas de melhoria de eficiência energética. Esse estímulo, apesar da falta de definição de um indicador, tende a influenciar as empresas e países a criar seus próprios modelos de gestão de eficiência da frota, o que contribuirá de forma significativa para as discussões do MEPC.

Estima-se que com a adoção, pela IMO, das medidas mandatórias relacionadas ao Anexo VI da MARPOL haverá uma redução significativa de emissões e de custos da indústria naval. Até 2030, as previsões apontam uma redução anual de 420 milhões de toneladas de CO₂ de emissões devido à adoção do EEDI e do SEEMP para todas as embarcações novas, ou seja, uma redução de aproximadamente 23% comparado com o modelo de negócio atual. Em relação aos custos, as estimativas variam de 90 a 310 bilhões de dólares de economia anual com o custo de combustível. A adoção de modelos de gestão baseados em análise de dados pode funcionar como um catalisador e ampliar os ganhos dessas medidas.

Todas essas iniciativas de medição e controle de desempenho, além de influenciarem nos novos projetos de embarcações, tem o objetivo de identificar e prevenir problemas que afetam a eficiência da navegação. Um dos maiores problemas enfrentados pelos armadores é o aumento do consumo do navio devido à deterioração na condição do casco e hélice.



Figura 1 – Casco com presença de craca e limo.

Uma forma de evitar o acúmulo de organismos no casco das embarcações é o uso de tintas anti-incrustantes que liberam biocida e eliminam essa ameaça. No passado essas pinturas tinham como base o tributilestano, um composto que apresentava alta eficiência eliminando o problema. Porém, esse composto foi proibido em 2008 pois pesquisas demonstraram alta toxicidade, que estava afetando o meio ambiente marinho, principalmente nas proximidades de portos e rotas movimentadas.

Essa proibição trouxe de volta o problema que até hoje se mantém como um dos mais nocivos ao desempenho das embarcações. Como forma de mitigação, é proposta a limpeza de casco, na qual um mergulhador deve ser contratado para eliminar esses organismos de forma manual. Além do custo alto, essa operação também acaba danificando e removendo camadas da pintura, o que pode acelerar o retorno de organismos e eliminar a proteção anticorrosiva.



Figura 2 – Comparação da condição do casco antes e depois da limpeza.

De maneira diferente, o hélice pode ser limpo e polido de forma mais rápida, barata e sem acelerar o retorno do problema, isto porque o propulsor não é pintado. Sua proteção se apoia no fato do hélice ter uma superfície pouco rugosa, o que retarda o acúmulo de algas. Sendo assim, se o mergulhador mantiver a superfície lisa, a aderência de organismos não será acelerada.



Figura 3 – Propulsor antes e depois de limpeza e polimento.

Contudo, trata-se de um evento que ocorre nas obras vivas das embarcações, mais especificamente abaixo da linha d'água do calado de lastro, pois são áreas que permanecem em contato com a água todo o tempo. Isso faz com que seja praticamente impossível detectar a presença de incrustações sem a presença de um mergulhador.

No cenário cada vez mais volátil de preço de combustível e custo de afretamento, melhorar a eficiência energética tem sido desafiante para os profissionais da indústria naval. Além das limitações técnicas, existem também as limitações econômicas que obrigam as empresas a procurar soluções de baixo custo em busca de grande impacto, ou seja, maior custo-benefício.

É necessário um método para identificação dessa queda de desempenho e estudo do intervalo de tempo ideal para uma intervenção subaquática na embarcação, sem que haja acréscimo de custo, como por exemplo pela contratação de inspeção por mergulhador. Essa pesquisa visa construir uma solução viável, utilizando dados de navegação, que possibilite prever qual o melhor intervalo de manutenção do casco e hélice. Os dados utilizados são parte da rotina de envio para o provedor de rotas e poderia ser aplicado amplamente na indústria de navegação.

Descrição do trabalho

A revisão da literatura é descrita no segundo capítulo, com foco na pesquisa dos trabalhos já desenvolvidos que tratam do assunto de perda de desempenho das embarcações.

O capítulo 3 trata da metodologia desenvolvida para esse trabalho. São discutidos os métodos de mineração de dados, o conceito de resistência ao avanço da embarcação e os indicadores de desempenho utilizados.

Em seguida, no capítulo 4, é apresentada a descrição dos dados e o desenvolvimento do modelo de tratamento e análise.

Finalmente, o capítulo 5 discute os resultados encontrados e evidencia as principais contribuições do trabalho.

Revisão da Literatura

A pesquisa da revisão bibliográfica foi realizada a fim de contextualizar cientificamente o trabalho e identificar conceitos já estabelecidos e métodos desenvolvidos que tratam do problema apresentado. A pesquisa teve foco em dois assuntos: deterioração de desempenho devido à falta de manutenção no casco e hélice e o uso da mineração de dados para melhorar eficiência da navegação.

Para o primeiro assunto, foram pesquisados trabalhos sem limitação de abrangência temporal e geográfica, ou seja, independente do ano ou localidade. Foram selecionados os trabalhos mais completos e relevantes conhecidos na área, que datam desde o início do século XX até os dias atuais.

Já com relação ao segundo assunto, por se tratar de um tema atual e considerando que a coleta de dados de navegação das embarcações em média e alta resolução só se iniciou nos últimos 20 anos, a abrangência temporal foi definida para esta década. Foram encontrados dois trabalhos relevantes, evidenciando a nova tendência de uso de dados para melhoria de eficiência na navegação.

Uma das alternativas mais eficazes para a redução de consumo, contemplada e sugerida através do SEEMP, é o monitoramento e manutenção do casco e hélice. Isso porque a maior parcela da resistência ao avanço que o navio enfrenta é a resistência proveniente da fricção entre o casco e a água (MAN B&W, 2012). A crescente preocupação com o meio ambiente e a eficiência energética tem levado à evolução de pesquisas nessas áreas. Diversas publicações antigas que já abordavam o assunto servem como ponto de partida para o desenvolvimento de novos modelos, novas análises e teorias, como no caso onde Kempf (1937) registrou o aumento máximo de arrasto quando a superfície do casco apresentava incrustações em 75% da área. Quando a área coberta era de somente 5%, já era observado um arrasto de 66% do máximo. Outra experiência do autor foi em um navio de 120 metros com 75% da área coberta de craca, onde a resistência friccional teria um acréscimo de 85%.

Michael P. Schultz é um especialista na área que realizou diferentes estudos para quantificar e qualificar o impacto das condições do casco e hélice na resistência da embarcação. Em 2007, Schultz (2007) comparou um método de predição de aumento de arrasto friccional, baseado em um modelo de laboratório, com o experimento de Woo et

al. (1983) em uma fragata americana. Foi observado um aumento de até 86% da potência no eixo necessária devido à intensa incrustação no casco.

Turan et al. (2016) utilizou impressões em 3D de cracas de aproximadamente 5 milímetros em três placas, cada uma com um percentual diferente de área coberta, para determinar o acréscimo de resistência em cada cenário. O resultado foi então extrapolado para um navio tanque de LNG e demonstrou um aumento de até 60% na potência efetiva para manter o navio na mesma velocidade se comparado com a condição onde não havia incrustação.

Semelhante a craca, o limo também afeta o desempenho das embarcações, porém de forma menos intensa. Lewthwaite et al. (1985) estudou a deterioração de um casco em 600 dias de operação, chegando a medir um aumento de 80% de resistência friccional do casco devido à presença de limo. Após analisar o mesmo problema, Bohlander (1991) chegou à conclusão de que houve uma queda de até 18% na potência necessária para manter uma fragata na mesma velocidade após a pintura do casco.

Estimar a presença de incrustações e as suas características pode se tornar um problema. Visualmente é possível estimar o percentual de área molhada coberta, mas como estimar o tipo de limo através de suas características, como densidade e altura de filamentos perpendiculares, e seus impactos é um trabalho em desenvolvimento. Schultz (2000) e Schultz and Swain (1999) abordam esse problema se baseando também em estudos de rugosidade em tubulações.

Esse efeito que resulta numa perda de eficiência da embarcação não é causado somente pela presença de espécies marinhas, é também muito comum que a pintura da embarcação se desgaste de maneira heterogênea ou sofra avarias criando uma superfície com maior rugosidade. Townsin et al. (1981) realizou uma experiência na qual comparou duas embarcações semelhantes com condições de pintura diferentes, ou seja, um casco apresentava uma maior rugosidade do que outro, durante dois anos. O resultado, além de mostrar uma deterioração do desempenho, devido ao aumento de rugosidade, também evidenciou a diferença de potência requerida para a mesma velocidade entre as duas embarcações.

Além disso, Kan et al. (1958) aponta que quanto maior a rugosidade do hélice, menor é a potência desenvolvida. Esse aumento de rugosidade pode se dar através de

incrustações, presença de “limo”, corrosão devido à cavitação, manutenção e polimento mal feitos e até respingo da tinta aplicada no casco.

Townsin (2003) compilou diversos estudos sobre o efeito do aumento da rugosidade devido à limo, algas, cracas e deterioração da pintura. O consenso entre todas as referências consultadas é de que esses fenômenos aumentam o arrasto da embarcação e por consequência geram significativo prejuízo na operação. O estudo apontou que com a introdução de novas tecnologias de pintura cerca de US\$ 3 bilhões foram economizados anualmente devido à economia de combustível, menor necessidade de jateamento em docagens, maior período entre docagens entre outros fatores.

Um importante aliado, já abordado na IMO, é o uso de dados de navegação e máquinas para a aplicação correta das iniciativas e gestão de resultados. Ming-Cheng (2010) utilizou os dados do *AIS (Automatic Identification System)* de cada embarcação nos limites de um porto e através do método chamado *Association Rules*, de mineração de dados, descobriu padrões de chegada e saída, horários de maior movimento e definiu a demanda correta por controladores de tráfego portuário.

Outro exemplo de uso de dados para melhorar a eficiência do processo foi o estudo de Wang (2016) sobre a influência da incidência de vento e condições de mar na navegação de uma balsa de passageiros no rio *Yangtze*, na China. Após instalar sensores, foi utilizado o método chamado *Wavelet Neural Network* para previsão das condições de navegação à frente da embarcação para que, previamente, a rotação do motor pudesse ser ajustada a fim de se manter operando no ponto ótimo de consumo.

Metodologia da Pesquisa

Os métodos utilizados no tratamento e, posteriormente, na análise dos dados são apresentados nesta seção a fim de avaliar suas capacidades, potenciais limitações e resultados esperados em cada etapa.

Após a apresentação de cada processo do chamado *Data Mining*, são apresentados os indicadores de desempenho, ou *KPIs*, que servirão de base para a discussão dos resultados.

Data Mining

Data Mining, também conhecido como *KDD (Knowledge Discovery in Databases)*, é o processo de descobrir padrões e relações úteis através da análise de dados. Os dados são considerados um retrato do que acontece em qualquer processo que esteja sendo observado. Podemos dividir o processo de *KDD* nos seguintes passos apresentados na figura abaixo:

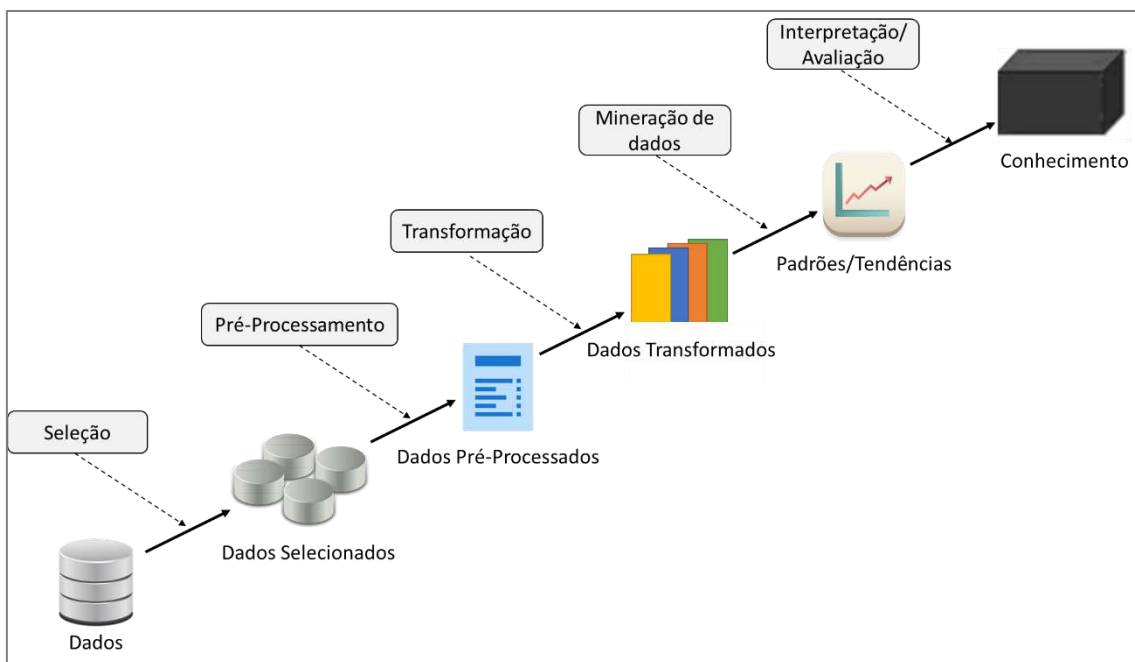


Figura 4 – Passos do processo de *Data Mining*

A primeira etapa da mineração de dados é a seleção dos dados que envolve a identificação e extração das informações relevantes para a análise.

A disponibilidade de dados é de suma importância para qualquer tipo de análise, seja ela estatística ou mineração de dados. Para alguns métodos, como por exemplo *Association Rules* e *Support Vector Machine*, pode ser necessário um conjunto com

milhares de entradas para que seja possível chegar a um resultado confiável. Há um consenso de que quanto maior o número de registros, mais confiáveis são os resultados e aumentam o número de abordagens possíveis de serem realizadas.

Além da quantidade, a qualidade é essencial, pois dados contendo muitos *outliers* ou sem confiabilidade jogam por terra todo o trabalho. É muito comum o analista possuir milhares, e até milhões, de dados e ao realizar a preparação dos dados perceber que mais de 50% não possuem utilidade.

Pré-Processamento e Transformação

Em seguida vem o pré-processamento que envolve a preparação e a limpeza dos dados através da resolução de problemas como falta de formatação, dados ausentes, campos irrelevantes, remoção de *outliers* etc. A frase “*Garbage In, Garbage Out*” é geralmente aplicada para os casos em que são usados dados sem o devido pré-processamento e o resultado obtido é irrelevante ou errado. Esta etapa pode ser dividida nos seguintes processos e o produto é o conjunto de dados de treinamento:

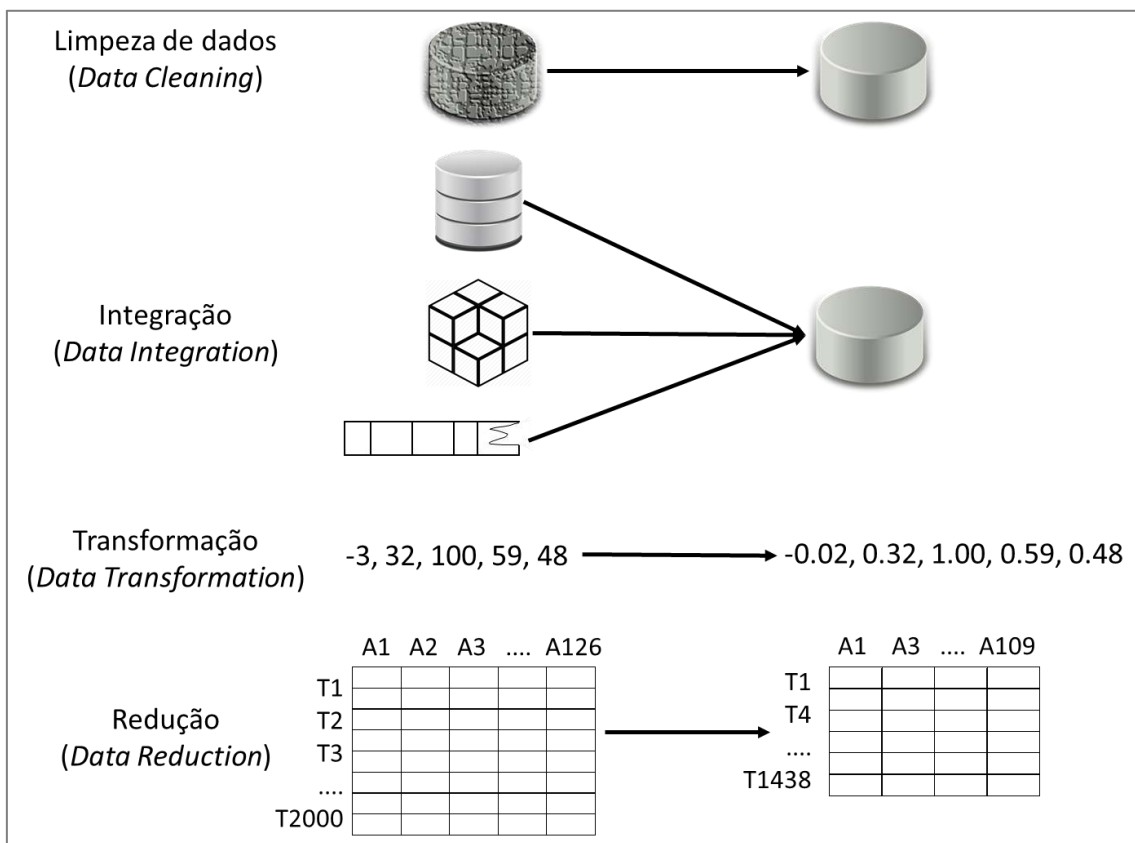


Figura 5 – Etapas do pré-processamento de dados

- *Data Cleaning*

Os dados brutos, *raw data*, são altamente suscetíveis à ruídos, inconsistências e falta de informação. Os ruídos podem ser causados por instrumentos de coleta ou sensores apresentando defeito, erros humanos ou computacionais na inserção dos dados e erro na transmissão. Existem algumas técnicas utilizadas para suavizar e remover o ruído:

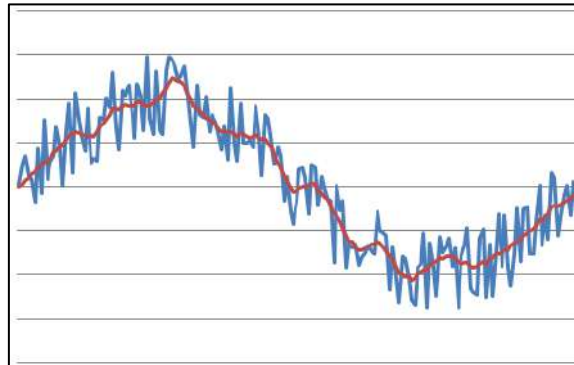


Figura 6 – Exemplo de dados com ruído

- *Binning Methods*: Os dados são ajustados conforme os ‘vizinhos’ e a curva então é suavizada localmente;
- *Clustering*: Valores semelhantes são organizados em grupos, ou *clusters*, e os valores atípicos, *outliers*, são detectados;
- *Combined computer and human inspection*: Os *outliers* são identificados através da combinação de inspeção computacional e posteriormente do operador. A inspeção computacional seleciona os valores fora dos limites e o operador decide quais são realmente *outliers*. É um processo mais veloz do que uma busca manual realizada pelo operador;
- *Regression*: Os dados são ajustados por uma função que foi obtida através de uma regressão linear ou multilinear.

A falta de informação pode ser causada por problemas em equipamentos de coleta de dados, irrelevância dos dados no momento da coleta, falta de comunicação etc. Quando esse problema é notado existem diversos meios de eliminá-lo, alguns mais simples e outros mais trabalhosos, porém deixando os dados com maior qualidade.

- Ignorar as entradas: É geralmente utilizado quando o atributo faltante é a classe e o problema em questão envolve classificação. Pode resultar na perda considerável de dados;

- Preencher os valores ausentes manualmente: Pode aumentar a qualidade dos dados, porém pode consumir muito tempo dependendo do tamanho da base de dados;
- Usar uma constante global para preencher os valores ausentes: É um método simples, porém não recomendado. O método de mineração de dados pode entender que esse valor repetido diversas vezes tenha relevância e levar a conclusões erradas;
- Usar a média de um atributo para preencher os valores ausentes;
- Usar a média de um atributo para preencher todas as amostras de uma classe;
- Usar o valor mais provável para preencher os valores ausentes: Esse valor pode ser determinado através de equações, árvores de decisão e interferência bayesiana.

Pode haver também a presença de dados inconsistentes que precisam ser corrigidos. Um exemplo comum é o erro na inserção de dados de uma transação na base de dados, que pode ser corrigido através do rastreamento do registro físico da operação. É importante detectar as inconsistências nos valores dos atributos e um meio de fazer isso é através do uso de funções que descrevam a dependência entre os atributos sendo assim capaz de detectar valores que contradizem essas funções.

- *Data Integration*

A integração combina diversas bases de dados em somente uma, de forma coerente e que permita o operador trabalhar de forma mais inteligente. Essa integração nem sempre é fácil e pode gerar problemas complicados. Um exemplo é o problema de identificação de entidade no qual o computador deve assimilar que uma certa entidade possui uma identificação diferente em cada base de dados. Outro problema ocorre quando os dados de uma fonte derivam de outra e ao integrar ambas, ocorre o que chamamos de redundância, que deve ser evitada.

- *Data Transformation*

Nesse processo os dados são transformados ou consolidados em formatos que facilitem a mineração de dados através dos seguintes métodos:

- Normalização: Os atributos são escalonados, geralmente entre 0 e 1, para harmonizar as escalas dos diferentes atributos e trabalhar com grandezas semelhantes;

- Suavização (*Smoothing*): Funciona da mesma forma como visto anteriormente para eliminar ruído. São exemplos: *Binning*, *clustering* e *regression*;
- Agregação: Os dados são agregados ou resumidos. Por exemplo, os dados diários de navegação são agregados por viagem e por navio;
- Generalização dos dados: Os atributos chamados primitivos são substituídos por classes, por exemplo a idade, atributo numérico, pode ser substituído pelas classes: Jovem, adulto e idoso.

- *Data Reduction*

O objetivo da redução de dados é melhorar a eficiência das análises e torná-las viável. É possível analisar uma amostra menor de dados sem comprometer a integridade original dos dados e produzir o conhecimento desejado. Algumas estratégias para a redução dos dados são:

- *Data cube aggregation*: Operações de agregação são aplicadas na geração de um cubo de dados;
- Redução de dimensão: Atributos irrelevantes ou de pequena importância são removidos;
- Compressão dos dados: Consiste em obter novas variáveis através dos atributos já presentes com a menor perda possível de informações. Geralmente são combinações lineares das variáveis, por vezes, a fim de diminuir a distância entre indivíduos de um mesmo grupo e aumentar a distância entre os grupos;
- Redução dos casos: Substituição ou estimação dos dados por alternativas que ocupem menor espaço como por exemplo modelos paramétricos, como regressões, e não paramétricos, como amostras, clusters e histogramas;
- Discretização e construção de hierarquias conceituais: Redução do número de valores através da substituição dos valores pelos rótulos dos intervalos, ou por rótulos de nível superior. Por exemplo, substituir o valor do atributo idade pelos rótulos: jovem, meia idade, idoso.

O resultado do pré-processamento dos dados pode ser dividido em três conjuntos: Treinamento, teste e validação. O conjunto de treinamento é utilizado para o aprendizado de padrões, regras e leis presentes nos dados, o conjunto de teste é usado para avaliar o

que foi aprendido anteriormente e por fim o conjunto de validação checa o desempenho da generalização da rede treinada.

Regressão

Com o conjunto de dados pronto para a análise, o próximo passo consiste na utilização de algum método de mineração para extrair informações que possam ser interpretadas pelo usuário sendo assim transformadas em conhecimento.

A Regressão é um dos métodos mais conhecidos, que visa descrever a relação entre uma variável dependente Y e uma ou mais variáveis independentes X . Existem duas variações desse método: Linear e Não Linear.

No primeiro caso, se considera que a variável dependente se comporta de maneira linear em relação às variáveis independentes. A ideia consiste em obter a equação que melhor descreva a relação entre as variáveis e o resultado é uma equação linear. Os modelos de regressão linear são ajustados na maioria das vezes utilizando a técnica de mínimos quadrados. Esta visa encontrar o melhor ajuste para a regressão através da minimização da soma dos quadrados da diferença entre o valor estimado e o valor observado.

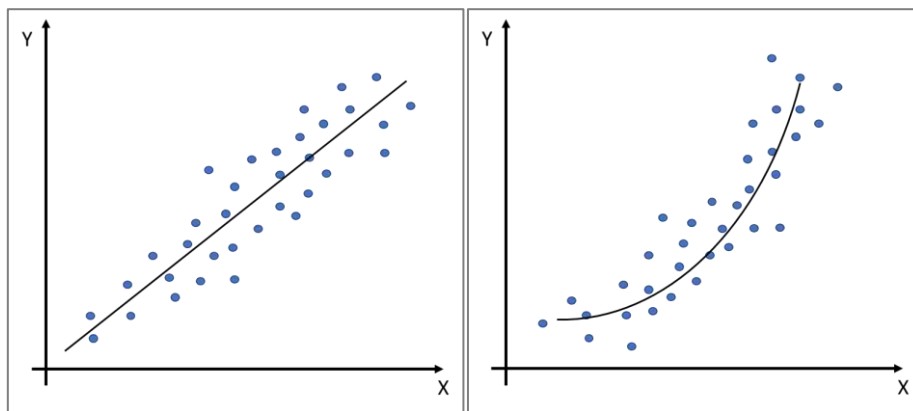


Figura 7 – Regressão linear e não-linear

A regressão não-linear funciona de maneira semelhante, porém os dados observados não se comportam de maneira linear, logo são representados por uma combinação não linear dos parâmetros utilizados, ou variáveis independentes. A mesma técnica de mínimos quadrados pode ser utilizada para ajuste da equação.

Uma maneira de simplificar este tipo de regressão é através da segmentação ou da linearização. O primeiro visa separar o domínio em faixas onde em cada faixa há uma relação linear, portanto, simplifica o problema. Já a linearização busca transformar,

através de uma transformação, a relação não linear em linear, aplicar o método de regressão linear e então retornar ao domínio não linear, transformando também a equação.

Resistência ao avanço da embarcação

A resistência ao avanço pode ser decomposta em três componentes principais: resistência friccional, resistência residual e resistência do vento. Este último é influente em navios que possuem uma proporção grande da área da sua forma exposta fora da água, como é o caso de navios porta containers.

Já a resistência residual é composta por dois principais fenômenos, o primeiro é a perda de energia devido às ondas geradas pelo casco conforme a embarcação navega e a segunda é a resistência viscosa devido à separação da camada limite na popa e a geração de vórtices.

A resistência friccional é a mais importante para esse trabalho pois representa cerca de 80% da resistência total para as embarcações analisadas, graneleiros de grande porte que navegam em velocidades baixas. Essa resistência é diretamente ligada à superfície do casco submersa, por isso sua importância para navios com deslocamento grande. O número de Froude das embarcações utilizadas nesse estudo é de cerca de 0,2.

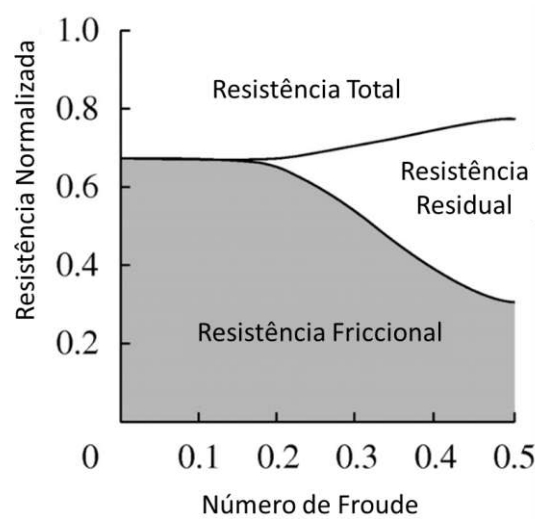


Figura 8 – Componentes de resistência em função do número de Froude

Como apontado na revisão da literatura, muitos pesquisadores dedicam seu tempo para mensurar as influências externas como incrustações e imperfeições no casco na resistência friccional. O consenso é de que há um grande impacto no consumo, principalmente quando esse componente da resistência é preponderante.

Indicadores (KPI)

O uso de indicadores é fundamental para qualquer tipo de análise de dados, principalmente quando se trata de analisar o desempenho de alguma atividade. Também chamados de KPIs (*Key Performance Indicators*), os indicadores são métricas usadas para medir a eficiência, por exemplo o consumo específico de uma embarcação. Porém não se pode confundir indicador com uma métrica genérica, visto que o segundo não possui relevância quando se trata de desempenho, como por exemplo a intensidade do vento que incidiu sobre a embarcação.

Abaixo são apresentados os KPIs que serão considerados:

- Desvio de Consumo Adicional

O indicador é baseado no consumo diário das embarcações que serão analisadas e compara o consumo real com o consumo teórico. O primeiro é obtido através dos dados reais da embarcação, presentes na base de dados. Já o segundo será calculado através da equação obtida por meio da regressão não linear dos dados reais de consumo.

Quando o resultado do indicador for negativo, a embarcação estará apresentando bom desempenho, ou seja, consumindo menos combustível que o esperado, e o inverso se aplica.

A fórmula que descreve o indicador é apresentada a seguir:

$$DC = CD_R^V - CD_T^V$$

Onde:

CD_R^V = Consumo diário registrado na velocidade V, em toneladas por dia;

CD_T^V = Consumo diário teórico, obtido através de regressão linear dos

dados, na velocidade V, em toneladas por dia;

V = Velocidade registrada, em nós;

DC = Desvio de consumo, em toneladas.

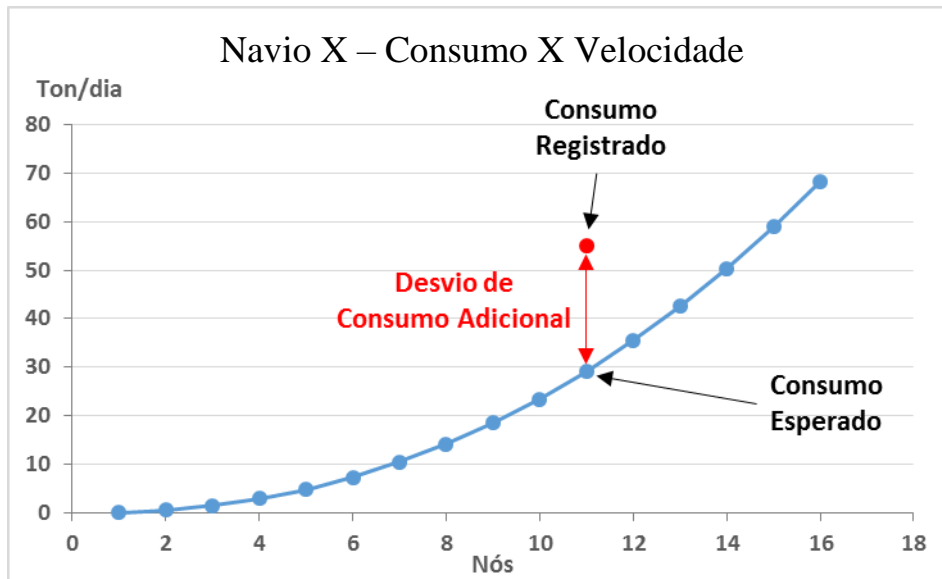


Figura 9 – Método de desvio de consumo adicional

- Tempo de Parada em Portos

Este *KPI* é importante pois reflete um grande problema enfrentado pelas embarcações que prejudica de maneira crítica a condição do casco e hélice. O tempo de paradas no porto é a diferença entre o momento em que o navio chega no porto e o momento em que ele o deixa, em dias.

Quanto maior esse indicador, pior será o resultado daquele ponto em diante, pois mede o quanto a embarcação permaneceu em condição suscetível a deterioração da condição do casco e hélice.

$$TP = PP - CP$$

Onde:

TP = Tempo de parada no porto, em dias;

PP = Dia e hora de partida do porto;

CP = Dia e hora de chegada no porto.

- Coeficiente de Almirantado

O coeficiente de almirantado é uma fórmula geralmente utilizada na fase de projeto para comparar a eficiência das embarcações e calcular o consumo em diferentes velocidades ou calados de uma mesma embarcação. Possui três variáveis independentes: deslocamento da embarcação, velocidade e potência. A potência deve estar associada à

velocidade informada e ao calado para o deslocamento informado. Quanto mais alto o indicador, melhor o desempenho da embarcação.

A fórmula de descrição é exibida a seguir:

$$CA = \frac{\sqrt[3]{D^2} \times V^3}{C}$$

Onde:

CA = Coeficiente de Almirantado;

D = Deslocamento da embarcação, em toneladas;

V = Velocidade da embarcação, em nós;

C = Consumo para a embarcação se mover na velocidade indicada no calado do deslocamento indicado, em toneladas por dia;

Como já visto anteriormente, o consumo se comporta de maneira não linear em relação a velocidade, por isso a fórmula considera a velocidade elevada ao cubo. Da mesma forma ocorre com o deslocamento da embarcação, o consumo não varia linearmente, mas pode variar em função da superfície molhada do casco, por isso a potência de $2/3$. O objetivo desses ajustes é fazer com que uma embarcação possua o mesmo coeficiente de almirantado para diferentes velocidades e calados, podendo ser comparada com outras embarcações semelhantes.

Contudo, esses coeficientes são aproximados da teoria e podem variar de um caso para outro, como será visto mais à frente. No estudo de caso será necessário ajustar esses coeficientes a fim de comparar as viagens em diferentes calados para cada embarcação.

Estudo de Caso

Esta seção apresenta o desenvolvimento da tese, desde a descrição dos dados disponíveis, passando pelo processamento dos dados, até a criação dos indicadores utilizados na análise de resultados.

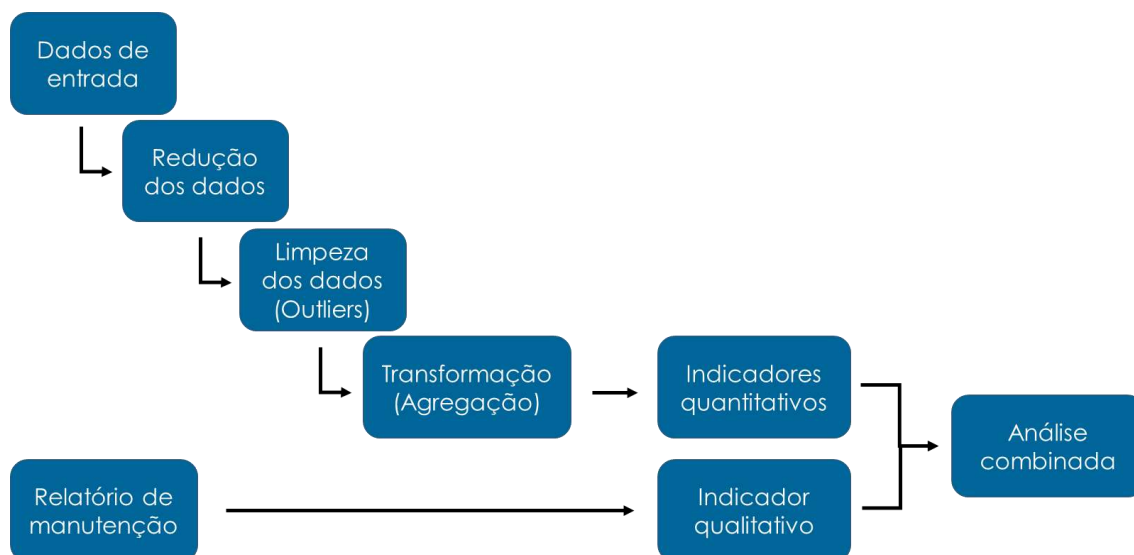


Figura 10 – Fluxograma do desenvolvimento da tese

Descrição dos Dados

Os dados coletados para esse estudo de caso têm origem no acompanhamento diário de dezenove mineraleiros. Essas embarcações enviam informações como posição, velocidade e consumo para um provedor de rotas que de acordo com as condições climáticas entre a origem e o destino propõe a melhor rota a fim de evitar situações que ponham a embarcação em perigo e que causem um consumo excessivo de combustível.

Tabela 2 – Dimensões principais da classe *VLOC UM*.

<i>VLOC UM</i>	
Comprimento	362 metros
Boca	65 metros
Calado máximo	23 metros
Velocidade máxima	16 nós
Deadweight	400.000 toneladas

Destes 19 navios, existem duas classes distintas, com características significativamente diferentes, logo não podemos tratar ambas as classes de maneira semelhantes. Foi escolhida a classe de sete navios doravante denominada *VLOC UM*. A

justificativa para a escolha desta é que os dados de intervenções no casco e hélice possuem uma rastreabilidade e credibilidade maior, sendo de suma importância para a análise em questão.

Tabela 3 – Diferença entre as embarcações da classe VLOC UM.

Navio	TPB (ton)	Desvio
Navio A	402.348,0	0,003%
Navio B	402.380,5	-0,005%
Navio C	402.358,7	0,001%
Navio D	402.348,0	0,003%
Navio E	402.285,6	0,019%
Navio F	402.425,1	-0,016%
Navio G	402.387,1	-0,006%
Média	402.361,8	-

Ao todo são 37 dados diferentes, alguns coletados e outros calculados, para cada embarcação em cada evento de envio. Os eventos nos quais os navios devem preencher esses dados e enviar são: Saída e chegada à um porto, uma vez ao dia quando está navegando e qualquer parada e a respectiva retomada em qualquer ponto no mar. Sendo assim, todos os dias de navegação são reportados e inseridos nessa base de dados. Esses dados são apresentados a seguir:

- Data, posição e número da viagem.

A data é informada juntamente com a hora de *Greenwich*, já no campo Posição existem duas alternativas de preenchimento: Entrada e Saída de um porto ou Latitude e Longitude, em graus.

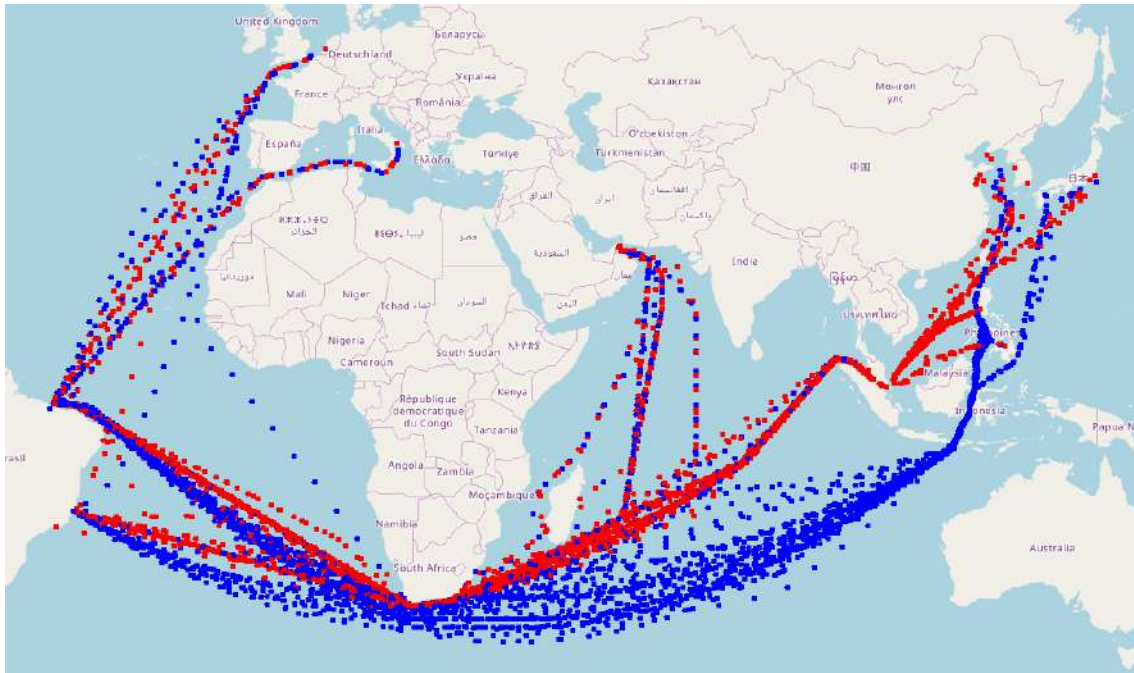


Figura 11 – Base dados plotada de acordo com posição enviada. Azul: Carregado / Vermelho: Lastro

- Velocidade calculada, velocidade corrigida e rumo.
Velocidade calculada é a divisão entre distância e tempo para percorrer a mesma, em nós, e é informada pelo navio. A velocidade corrigida por sua vez é calculada pelo provedor de rota e é corrigida pelas condições de mar a fim de avaliar qual a velocidade real que a embarcação estaria realizando se estivesse em águas calmas. O rumo é dado em graus.
- Condições climáticas (ondas e vento).
As condições climáticas indicam a direção de incidência e intensidade de onda e vento. Essas informações são ponderadas pelo provedor de rotas considerando seu modelo de previsão, o dado enviado pela embarcação e os dados de navios próximos.
- Corrente marítima.
Assim como as condições climáticas, os dados de corrente também são avaliados e ponderados pelo provedor. Este calcula qual a influência da corrente para a correção da velocidade.

- Consumo.

A quantidade a bordo de cada tipo de combustível é informada pela embarcação e o provedor calcula o consumo diário com base nas horas navegadas.

- Rotação e potência.

A rotação e a potência do motor são informadas pelo navio, porém são dados com grande flutuação e fazem pouco sentido se enviados de forma pontual sem levar em consideração todo o período de navegação. Além disso, são dados escassos nesta base, logo, não serão aproveitados.

- Indicadores de eficiência.

Dois indicadores de eficiência são calculados pelo provedor: consumo por milha navegada e *Slip*. Este último é um ótimo indicador e é resultado da diferença entre a distância que o navio percorreria em águas calmas e a distância percorrida. A distância que o navio percorre em águas calmas pode ser descrita como o passo do hélice multiplicado pelas rotações realizadas. Porém, como já foi dito, a rotação é um dado com pouca credibilidade e somente a rotação por minuto foi disponibilizada, logo o *slip* calculado é uma aproximação.

- Distância percorrida e tempo de navegação.

Ambos são essenciais para a análise em questão e suas unidades são milhas e horas, respectivamente.

- Calado (ré e vante).

- Carga transportada.

Como o estudo trata de investigar a deterioração das condições de casco e hélice, é preciso mapear quaisquer intervenções já realizadas que possam ter contribuído para uma melhora no desempenho dos navios. Na tabela abaixo são apresentadas as intervenções realizadas em cada embarcação.

Tabela 4 – Data das intervenções nos navios da classe VLOC UM.

Intervenções (Limpeza de casco e propulsor)					
Navio	Interv.	1º	2º	3º	4º
Navio A	Data	22/10/2012	14/11/2014		
	Tipo	Hélice	Hélice		
Navio B	Data	06/10/2012	27/01/2014		
	Tipo	Hélice	Hélice		
Navio C	Data	19/01/2015			
	Tipo	Hélice			
Navio D	Data	22/07/2013	17/11/2014		
	Tipo	Hélice	Hélice		
Navio E	Data	17/09/2012	26/11/2013	19/08/2014	29/01/2016
	Tipo	Hélice	Hélice	Casco/Hélice	Casco/Hélice
Navio F	Data	21/05/2014			
	Tipo	Casco/Hélice			
Navio G	Data	30/07/2013	19/01/2015		
	Tipo	Hélice	Casco/Hélice		

Pré-Processamento

Com a base de dados em mãos é preciso realizar o pré-processamento, que consiste em adaptar, limpar, modificar e integrar a base de dados. Como explicado anteriormente, esse processo é essencial para a qualidade da análise e do resultado.

Data Reduction

O primeiro passo realizado foi checar a falta de dados, quais entradas poderiam apresentar uma quantidade de atributos faltando de forma que não servisse para qualquer análise. Para isso, foi criado um atributo de classificação que separa as entradas em DP (*Departure Port*), AP (*Arrival Port*) e RP (*Report Position*).

Foi observado que todos os dados da classe DP não apresentavam quaisquer informações de velocidade e consumo, visto que, representavam somente o momento da saída do porto e não havia nenhum período de navegação. Sendo assim, essas entradas foram removidas, um total de 401 de um total de 8144 entradas.

Porém, antes de removê-las foi necessário utilizar o registro de saída do porto, mais especificamente a data e hora, para calcular o tempo de parada em cada porto, um dos *KPIs*. A tabela com o resultado é apresentada no Anexo I.

O próximo passo consiste em eliminar os atributos de toda a base que não serão utilizados ou são redundantes para a análise. As colunas eliminadas são apresentadas junto com suas respectivas justificativas:

- Tipo de entrada (*AP*, *DP* e *RP*) – Já foi utilizado;
- Rumo – Não será utilizado;
- Direção de onda, corrente e vento – Velocidade corrigida já leva em consideração;
- Velocidade corrigida – Não se sabe como é feita essa correção, portanto, não é confiável para o desenvolvimento do trabalho;
- Correções de velocidade – A velocidade corrigida não será utilizada;
- Consumo de Diesel e outros combustíveis não consumidos no motor principal – Não serão utilizados;
- RPM e *Slip* – Não serão utilizados;
- KPI tonelada por milha navegada – Não serão utilizados;
- Calado à vante a à ré - O calado médio é suficiente para a análise.

Os atributos que permanecem para a análise são apresentados na listagem abaixo:

- Identificação do navio;
- Data;
- Número da viagem;
- Condição de carregamento;
- Origem e Destino;
- Posição (Latitude e Longitude);
- Consumo de óleo pesado;
- Velocidade calculada;
- Intensidade das condições de mar, vento e corrente;
- Distância navegada;
- Tempo de navegação;
- Quantidade de carga transportada;
- Calado médio;
- Número de dias desde a docagem e desde a última intervenção.

Eliminação de *Outliers*

Em seguida, um dos processos mais relevantes da mineração de dados é aplicado: a eliminação de *Outliers*, também chamados de valores anômalos ou ruídos. Foi utilizado o método *Combined computer and human inspection*, que consiste na identificação através da combinação de inspeção computacional e posteriormente do operador. A inspeção computacional seleciona os valores fora dos limites e o operador decide quais são realmente *outliers*.

Para esse tratamento, primeiramente os dados devem ser separados por condição de carregamento. Isso se deve pois o calado difere de maneira significativa, consequentemente alterando a função de resistência e o consumo da embarcação, logo, devem ser tratados como fenômenos distintos. Além disso, a deterioração do casco e os efeitos da condição de mar impactam de forma distinta o desempenho. Devido à diferença na função de consumo, a velocidade ótima de navegação também é diferente. Isso pode ser observado através da distribuição e das mínimas e máximas por tipo de carregamento.

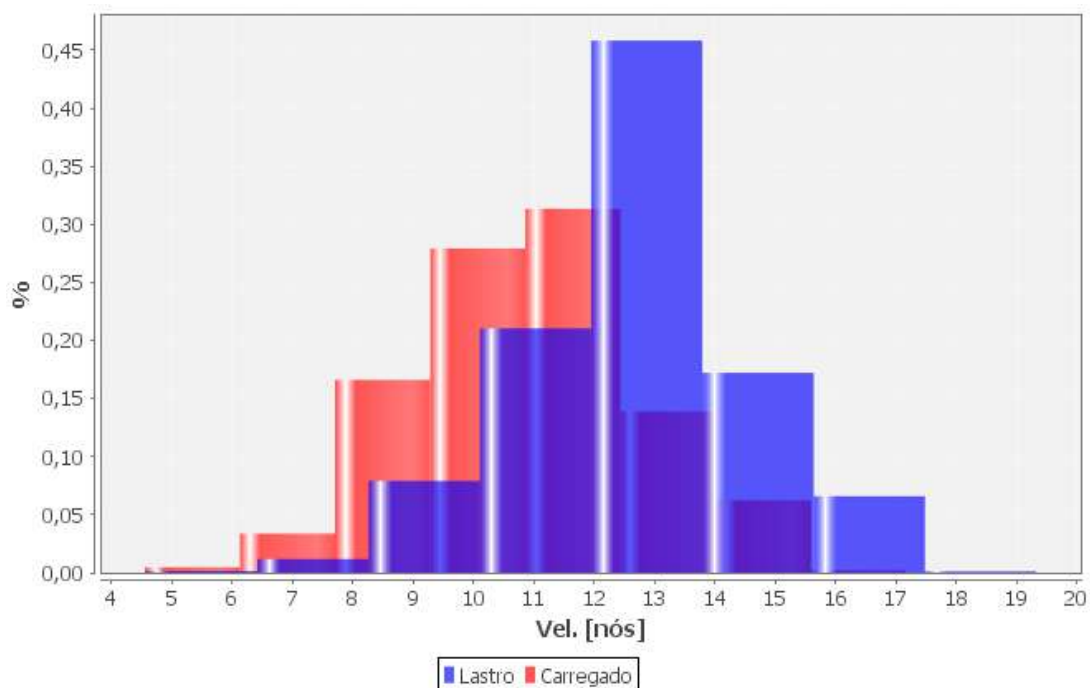


Figura 12 - Histograma – Velocidade Calculada

Para o processo de eliminação dos valores extremos foi utilizado o método baseado na amplitude interquartil. Para cada atributo serão calculados os Quartis 1 e 3 (Q1 e Q3) e a diferença será chamada de distância interquartil (IQ). Nessa técnica todos

os valores fora das delimitações superior e inferior serão considerados *Outliers* e, portanto, excluídos. Os limites são estabelecidos pelas equações abaixo:

$$\text{Limite Superior} = Q3 + 1,5 \times IQ$$

$$\text{Limite Inferior} = Q1 - 1,5 \times IQ$$

Os atributos numéricos passarão por esse processo com exceção do número da viagem, da contagem de dias desde o lançamento e intervenção e da distância, visto que esta última é uma função da velocidade calculada e tempo de navegação, que passarão pelo processo de remoção de valores extremos.

A seguir são apresentadas as análises estatísticas de todos esses parâmetros e os valores mínimos e máximos que serão considerados para a análise a partir deste ponto:

Tabela 5 – Estatística de atributos para eliminação de *Outliers* – Condição Carregada

	Calado Médio	Quantidade de Carga	Velocidade Calculada	Tempo de Navegação
Mínimo	15,64	150000	2,56	0,2
Limite Inferior	22,59	386000	5,97	21,5
Q1	22,77	390000	9,65	23
Média	22,91	392016	10,92	24
Q3	22,96	393055	12,12	24
Limite Superior	23,13	395384	15,81	25,2
Máximo	23,13	395384	17,17	48
	Intensidade Corrente	Vento BF	Swell BF	
Mínimo	0.0	0.0	0.0	
Limite Inferior	0.0	0.0	3.0	
Q1	0.3	3.0	4.0	
Média	0.5	4.0	4.0	
Q3	0.9	5.0	5.0	
Limite Superior	1.8	8.0	6.0	
Máximo	4.0	9.0	9.0	

Devido à eliminação de Outliers, as seguintes viagens foram eliminadas:

Tabela 6 – Viagens descartadas após eliminação de outliers - Carregado

Viagens descartadas - Carregado	
Navio A	4 e 10
Navio B	4
Navio C	3
Navio D	1, 11 e 14
Navio E	3, 4, 6, 7, 8 e 9
Navio F	2, 5 e 10
Navio G	2, 5 e 8

Um dos parâmetros essenciais dessa análise, o consumo diário, ainda precisa passar pelo processo de eliminação de valores extremos, visto que além de impactar o estudo, também está sujeito à inúmeros erros de medição.

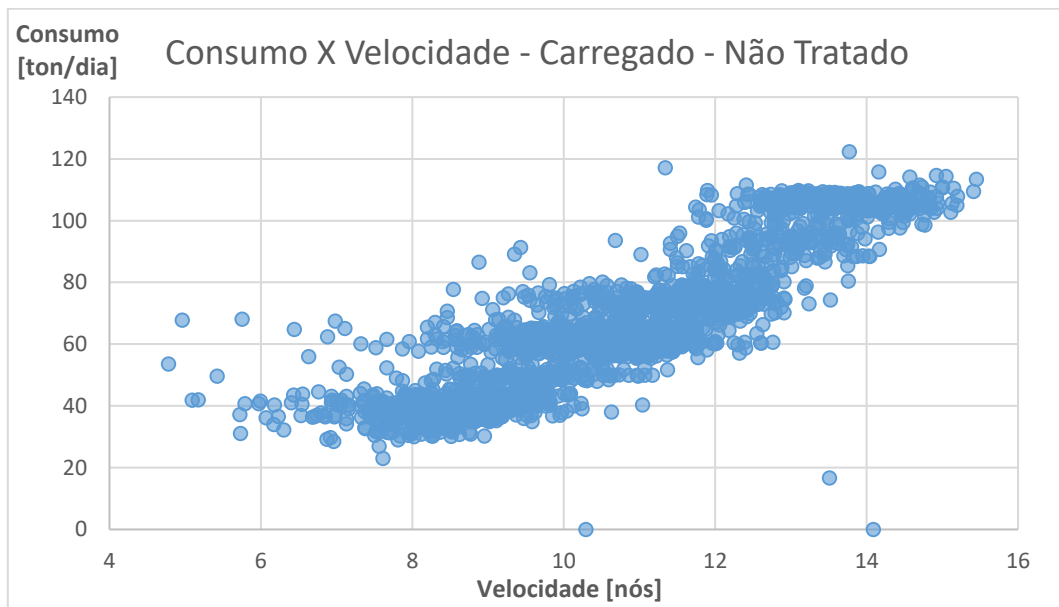


Figura 13 – Gráfico Consumo X Velocidade antes do tratamento - Carregado

No entanto, o processo não pode ser o mesmo utilizado para os demais parâmetros. Se fosse realizado da mesma maneira, somente os valores abaixo e acima dos limites superiores e inferiores de todo o conjunto seriam eliminados. A intenção agora é eliminar os *Outliers* para cada faixa de velocidade ao invés de eliminar somente em relação ao conjunto inteiro de dados.

Através da regressão não-linear dos dados de todos os navios na condição carregada obtêm-se a equação potencial, que descreve a curva que relaciona o consumo com a velocidade. A diferença entre essa curva e os valores observados, chamado de

desvio de consumo, mostrará todos os dados que se distanciam além do limite inferior e superior, sendo assim possível eliminar os valores extremos.

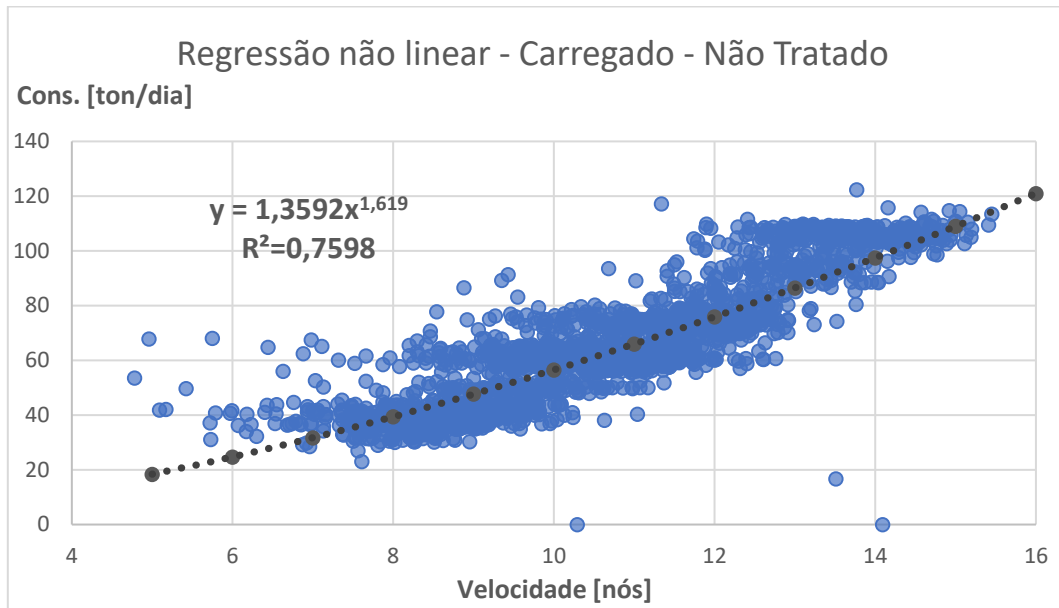


Figura 14 – Curva obtida através da regressão não-linear - Carregado

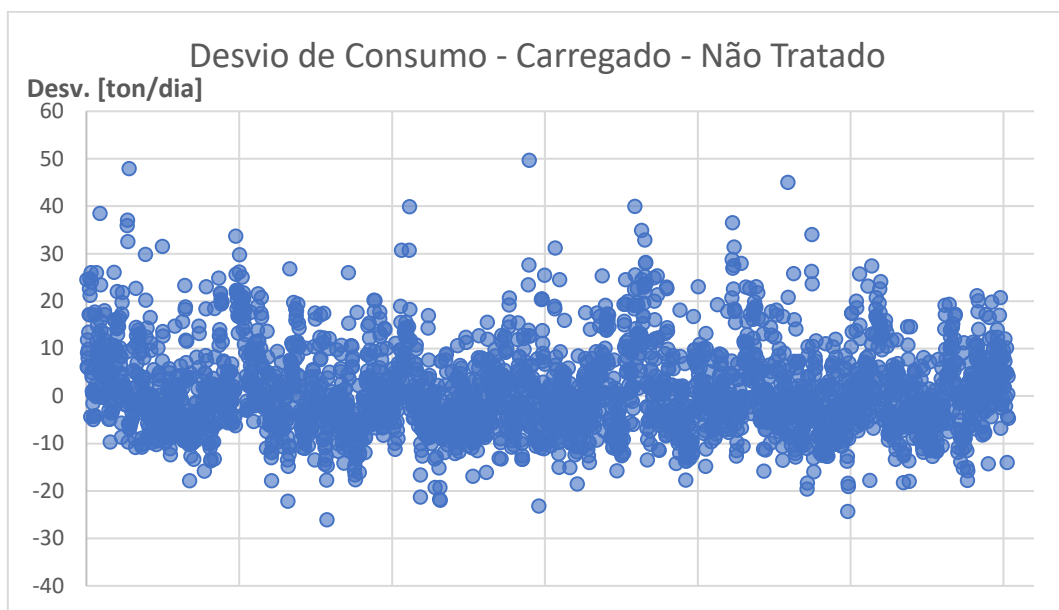


Figura 15 – Desvio de Consumo antes do tratamento - Carregado

Agora é possível gerar os dados estatísticos do desvio de consumo e eliminar os valores anômalos, assim como foi feito para os demais parâmetros anteriormente: todas as entradas com o valor deste atributo maior do que 23,26 e menor do -23,69 serão excluídas.

Tabela 7 – Estatística do Desvio de consumo - Carregado

	Desvio de Consumo
Mínimo	-98.49
Limite Inferior	-23.69
Q1	-6.06
Média	-0.90
Q3	5.70
Limite Superior	23.26
Máximo	97.47

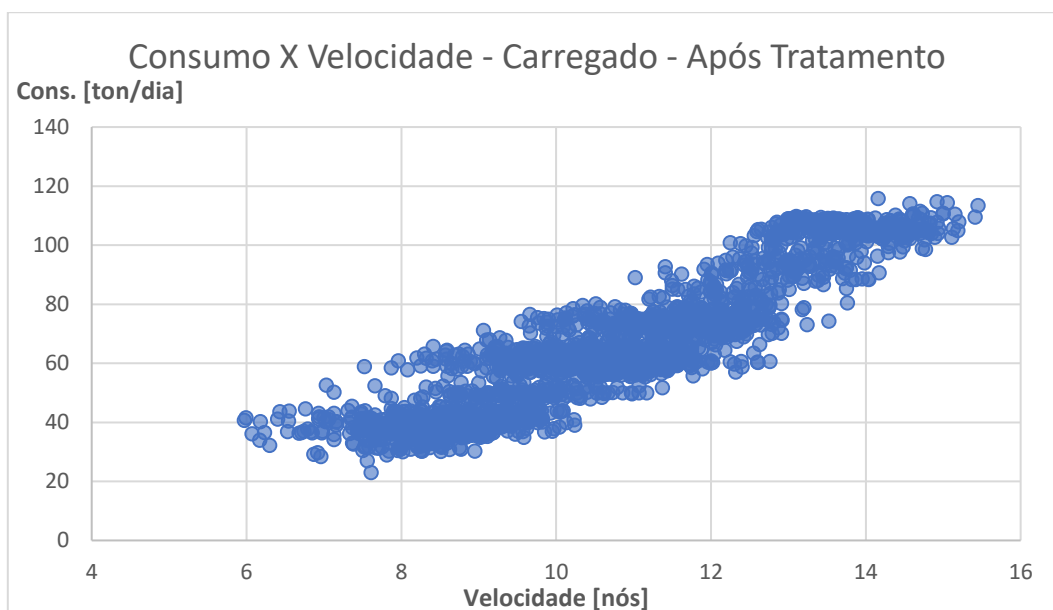


Figura 16 - Gráfico Consumo X Velocidade após tratamento - Carregado

O gráfico apresenta o conjunto de dados tratado através do método descrito. É possível observar que vários dados que faziam parte da região central foram eliminados, pois apresentavam alto desvio de consumo. Isso não ocorreria se o método comum de eliminação de *outliers* fosse aplicado sobre o consumo, neste caso somente os dados no topo e abaixo do gráfico seriam descartados.

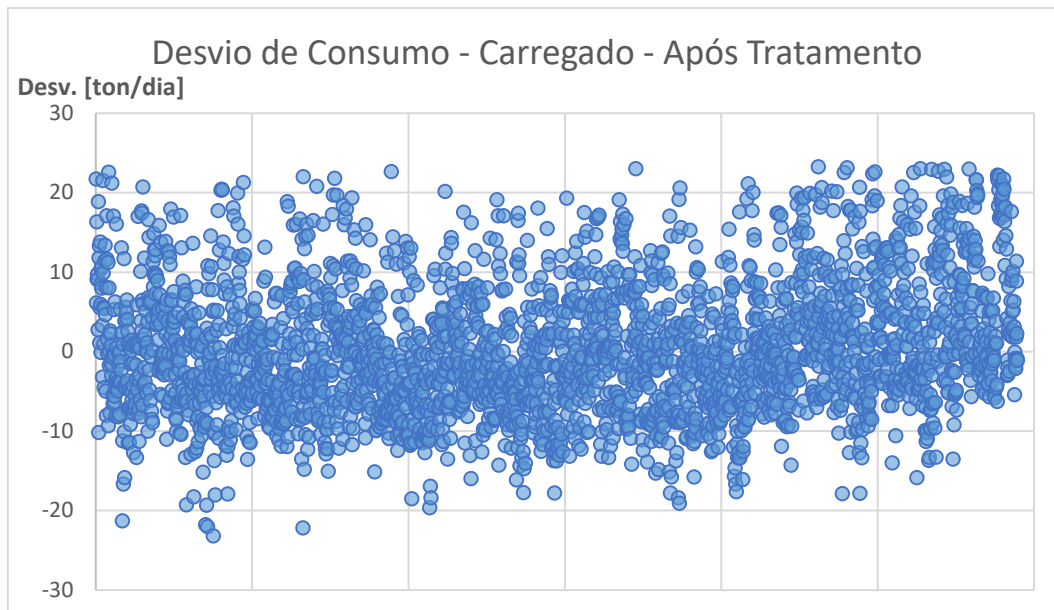


Figura 17 - Desvio de Consumo após tratamento – Carregado

Comparando o gráfico de desvio antes e após o tratamento percebe-se o efeito dessa eliminação. Anteriormente a faixa superior do gráfico atingia o valor de 50 toneladas de desvio, claramente um registro errado. Agora o desvio máximo apresentado é cerca de 26 toneladas, algo admissível dependendo das condições enfrentadas e da velocidade de navegação.

Chega ao fim o processo de pré-processamento dos dados da condição carregada e o mesmo processo precisa ser aplicado à condição em lastro, com exceção da eliminação de *outliers* do atributo *quantidade de carga*.

Tabela 8 - Estatística de atributos para eliminação de Outliers – Condição Lastro

	Calado Médio	Velocidade Calculada	Tempo de Navegação	Intensidade Corrente	Vento BF	Swell BF
Mínimo	7,00	4,57	0,5	0.0	1	0
Limite Inferior	10,60	8,52	22,5	0.0	1	3
Q1	12,10	11,64	24,0	0.3	3	4
Média	13,89	12,67	24,0	0.6	4	4
Q3	14,85	13,72	25,0	0.9	5	5
Limite Superior	15,60	16,77	26,5	1.8	8	6
Máximo	19,09	19,33	50,0	4.0	9	9

Nenhuma viagem em lastro foi eliminada, como ocorreu no caso da condição carregada, na qual houve viagens onde as embarcações navegaram com carregamento parcial, provavelmente devido às condições operacionais.

Em seguida o consumo diário é tratado da mesma maneira que a condição em lastro. Primeiramente é realizada a regressão não linear do consumo em função da velocidade, para então aplicar o *KPI* chamado desvio de consumo. O método de eliminação de *outliers* de quartis é utilizado no desvio de consumo para então chegar ao resultado esperado.

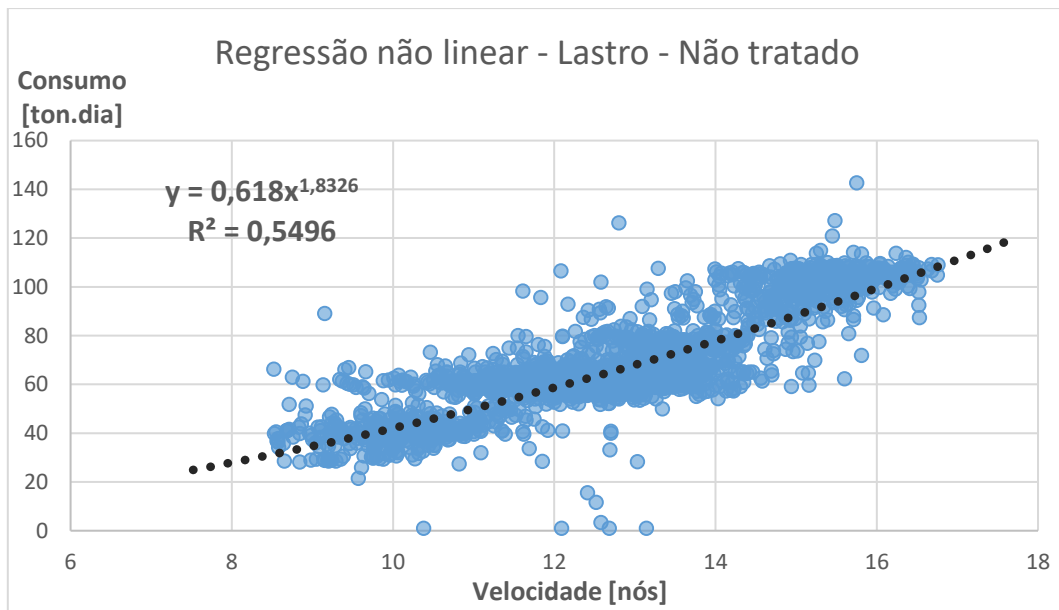


Figura 18 - Curva obtida através da regressão não-linear - Lastro

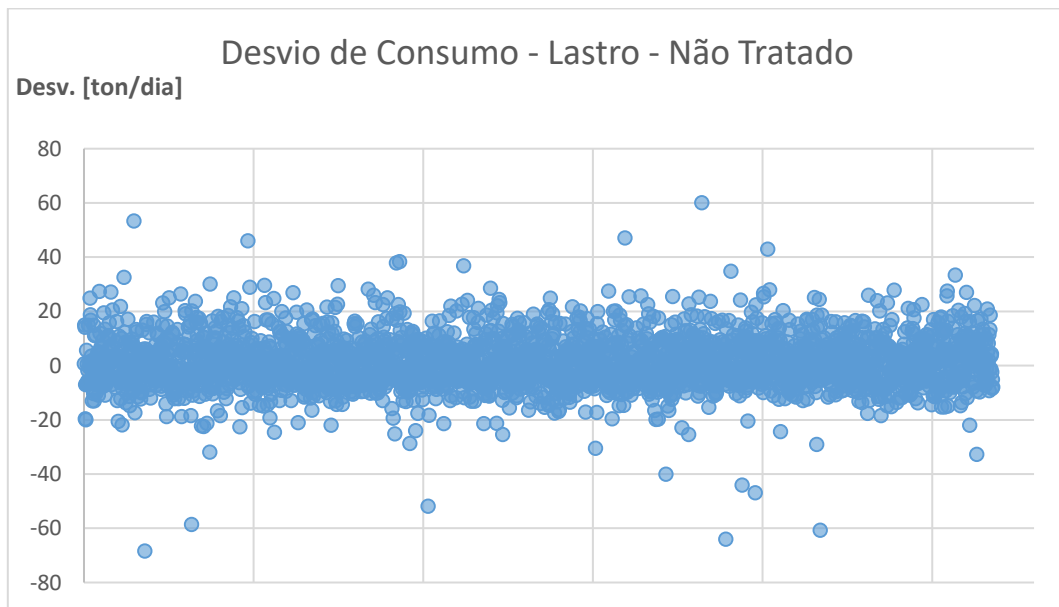


Figura 19 - Desvio de Consumo antes do tratamento - Lastro

Agora é possível gerar os dados estatísticos do desvio de consumo e eliminar os valores anômalos, assim como foi feito para os demais parâmetros anteriormente: todas as entradas com o valor deste atributo maior do que 23,31 e menor do -22,22 serão excluídas.

Tabela 9 - Estatística do Desvio de consumo – Lastro

	Desvio de Consumo
Mínimo	-68,33
Limite Inferior	-22,22
Q1	-5,05
Média	0,09
Q3	6,45
Limite Superior	23,31
Máximo	60,12

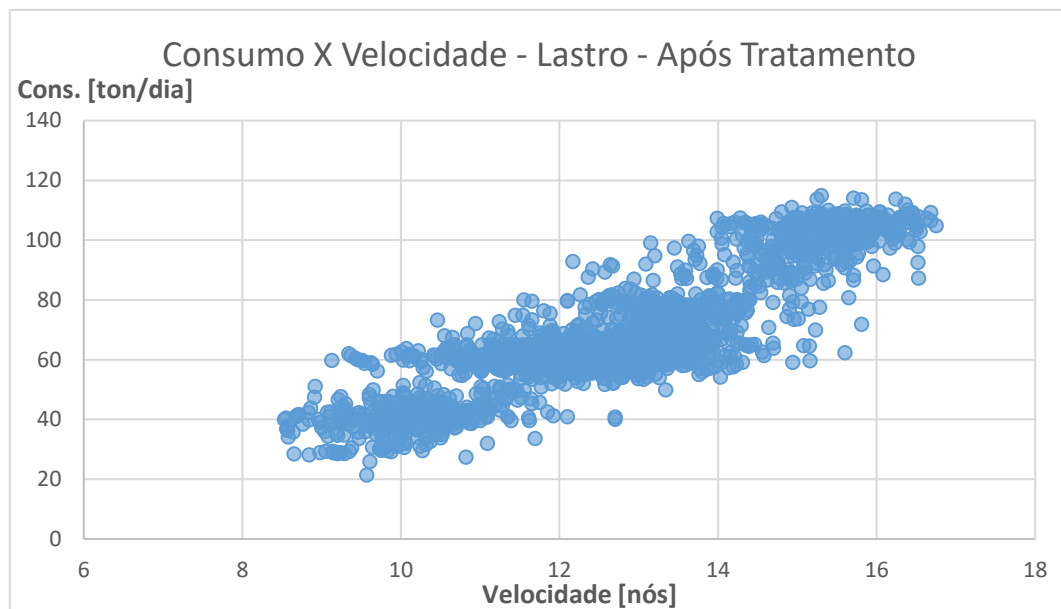


Figura 20 - Gráfico Consumo X Velocidade após tratamento - Lastro

E por fim, o novo o gráfico de desvio de consumo, apontando a melhora na dispersão dos dados.

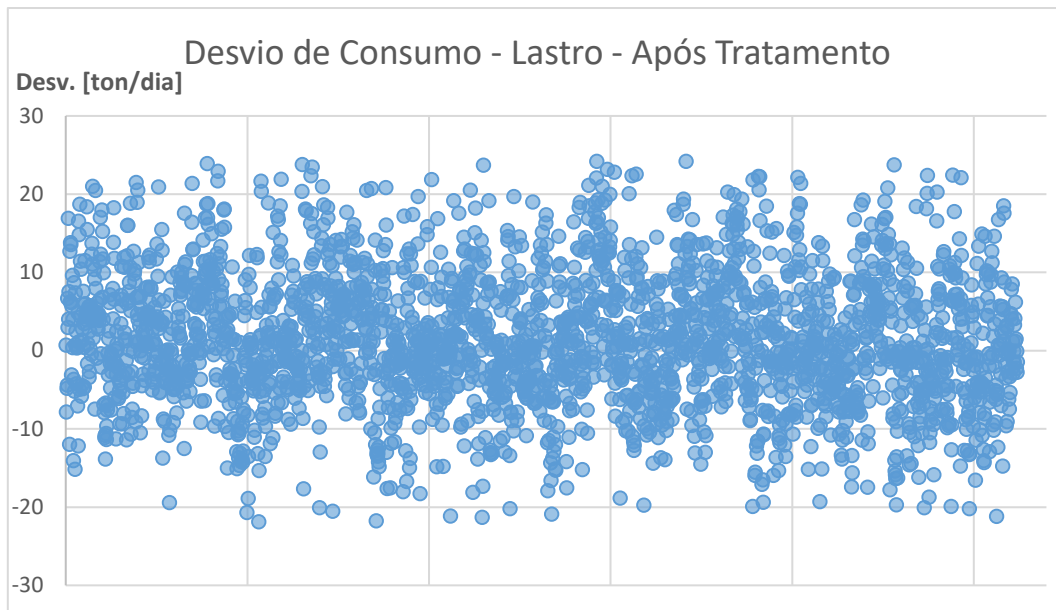


Figura 21 - Desvio de Consumo após tratamento – Lastro

Agregação dos Dados por Viagem

Uma maneira eficiente de analisar os dados é utilizando o método de *Data Transformation* chamado de Agregação. Como cada intervenção nas embarcações foi realizada ou no porto de descarga ou em Singapura, próximo ao porto de descarga, já é possível perceber o efeito das mesmas na viagem em que foi realizada.

O ponto positivo de agregar os dados é que cada ponto tem um peso grande por representar todo o conjunto da viagem. Para agregar os dados foi utilizada a média ponderada, tanto do consumo quanto da velocidade calculada.

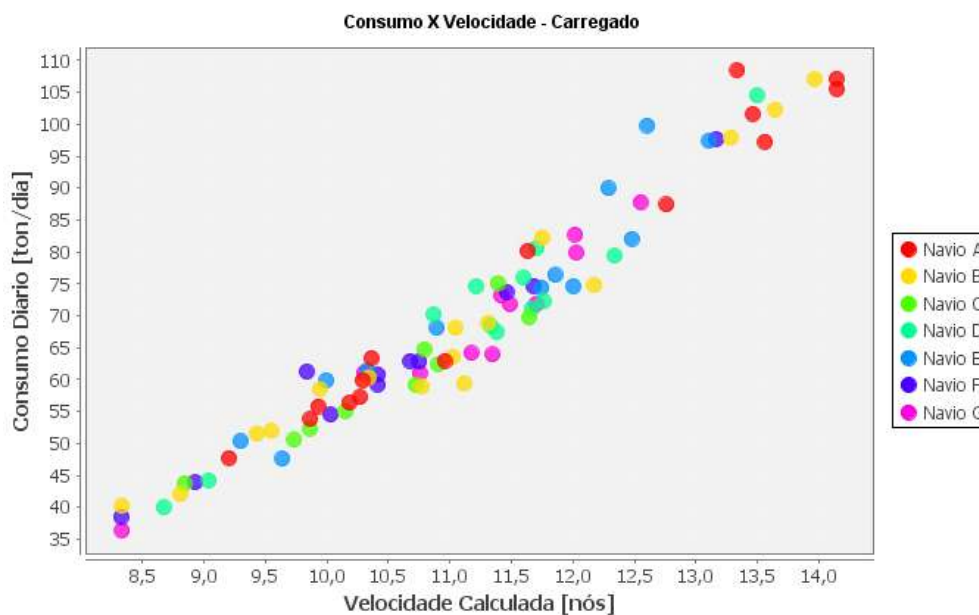


Figura 22 – Consumo X Velocidade – Consolidado por viagem - Carregado

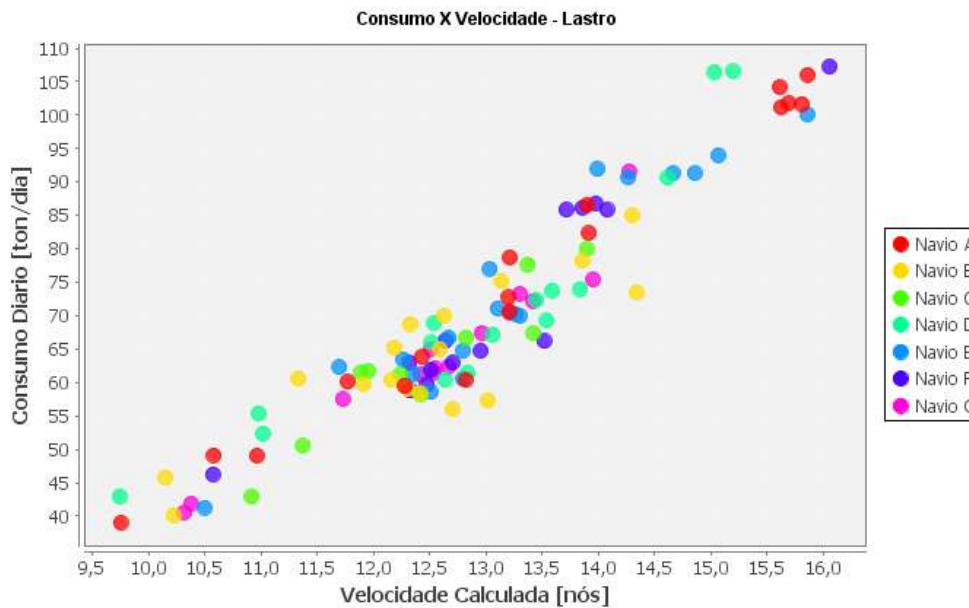


Figura 23 - Consumo X Velocidade – Consolidado por viagem - Lastro

Ajuste do Coeficiente de Almirantado

Para seguir com a construção do modelo de análise é necessário ajustar os coeficientes do *KPI* utilizado para comparar as viagens de cada embarcação. É possível realizar dois ajustes: no expoente do deslocamento e no expoente da velocidade.

Após a limpeza dos dados realizada na seção anterior, foi possível realizar nova regressão não linear do consumo em função da velocidade para cada condição de carregamento. O objetivo é entender se o consumo se comporta de maneira semelhante em cada condição para ajustar o expoente da velocidade no indicador.

$$\text{Consumo Lastro} = 0.7178 \times (\text{Velocidade})^{1.7765}$$

$$\text{Consumo Carregado} = 1.147 \times (\text{Velocidade})^{1.6874}$$

Os expoentes são significativamente próximos e foi então possível utilizar a média entre os dois, 1,732, como novo expoente da velocidade na equação para calcular o coeficiente de almirantado. O objetivo desse ajuste é fazer com que a alteração de velocidade não influencie no indicador, caso contrário uma simples alteração de velocidade de uma viagem para a outra alteraria o indicador, influenciando na análise.

Já o ajuste do expoente do deslocamento se faz necessário para que o indicador não seja impactado pela mudança de calado. Sendo assim, as viagens podem ser comparadas independentemente da quantidade de carga ou calado. Para esse ajuste foi utilizada a ferramenta de atingir meta do *Excel*.

O primeiro passo foi calcular o coeficiente para uma faixa de velocidade tanto na condição carregada quanto em lastro. Em seguida é feita a média do indicador para cada condição e comparado. O objetivo da ferramenta era reduzir a diferença entre os indicadores em cada condição para zero. O resultado é um novo expoente para o deslocamento igual a 0,44.

Tabela 10 – Ajuste do coeficiente de almirantado - Lastro

Lastro							
Velocidade [nós]	9	10	11	12	13	14	15
Consumo [ton/dia]	35,6	42,9	50,8	59,3	68,4	78,0	88,2
Deslocamento [ton]	250019	250019	250019	250019	250019	250019	250019
Vel.^{1,732}	44,9	53,9	63,6	74,0	85,0	96,6	108,9
Desl.^{0.44}	237,2	237,2	237,2	237,2	237,2	237,2	237,2
Coef. Alm.	299,6	298,2	296,9	295,8	294,7	293,8	292,9
Média Coef. Alm.	296,0						

Tabela 11 – Ajuste do coeficiente de almirantado -Carregado

Carregado							
Velocidade [nós]	8	9	10	11	12	13	14
Consumo [ton/dia]	38,3	46,7	55,8	65,6	76,0	86,9	98,5
Deslocamento [ton]	443892	443892	443892	443892	443892	443892	443892
Vel.^{1,732}	36,7	44,9	53,9	63,6	74,0	85,0	96,6
Desl.^{0.44}	305,3	305,3	305,3	305,3	305,3	305,3	305,3
Coef. Alm.	292,0	293,6	294,9	296,2	297,3	298,4	299,4
Média	296,0						

Os resultados acima confirmam o ajuste bem sucedido do expoente do deslocamento, através da diferença nula entre a média do indicador na condição em lastro e carregada. Já para o coeficiente de velocidade é possível observar uma ligeira flutuação do indicador dependendo da velocidade. A amplitude dessa flutuação é de cerca de 7 unidades para as duas condições, ou seja, 2,4% do indicador. Sendo assim, os dois ajustes são considerados satisfatórios.

Classificação das Intervenções

É importante classificar cada tipo de manutenção realizada nos navios a fim de comparar com o resultado do indicador de desempenho. Como já ressaltado, algumas intervenções podem impactar de maneira mais intensa do que outras, dependendo do momento e condição em que tenha sido realizada. Ao utilizar essas informações complementares é possível justificar a amplitude do efeito registrada no *KPI*.

Como não existe um modelo preciso para este tipo de análise visual serão considerados três níveis de classificação: baixo, médio e alto. O critério de avaliação é baseado na comparação da condição antes e após cada manutenção e na comparação entre intervenções do mesmo tipo em diferentes embarcações.

- Navio A
 - 1º Intervenção – Limpeza do Hélice – 22/10/2012 – Nível: Médio



Figura 24 – Navio A - 1º Intervenção

- 2º Intervenção – Limpeza do Hélice – 14/11/2014 – Nível: Médio

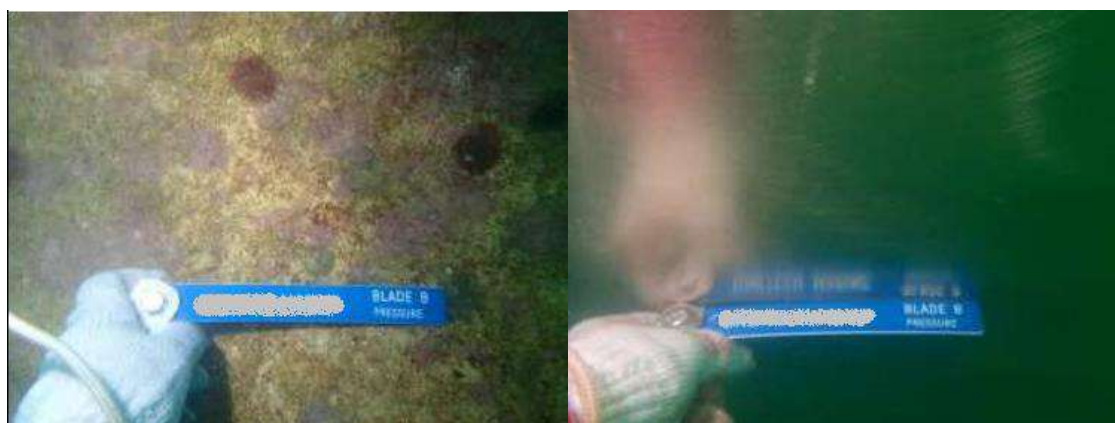


Figura 25 – Navio A - 2º Intervenção

- Navio B

- 1ª Intervenção – Limpeza do Hélice – 06/10/2012 – Nível: Médio



Figura 26 - Navio B - 1ª Intervenção

- 2ª Intervenção – Limpeza do Hélice – 27/01/2014 – Nível: Alto



Figura 27 - Navio B - 2ª Intervenção

- Navio C

- 1ª Intervenção – Limpeza do Hélice – 19/01/2015 – Nível: Baixo



Figura 28 - Navio C - 1ª Intervenção

- Navio D

- 1º Intervenção – Limpeza do hélice – 22/07/2013 – Nível: Baixo

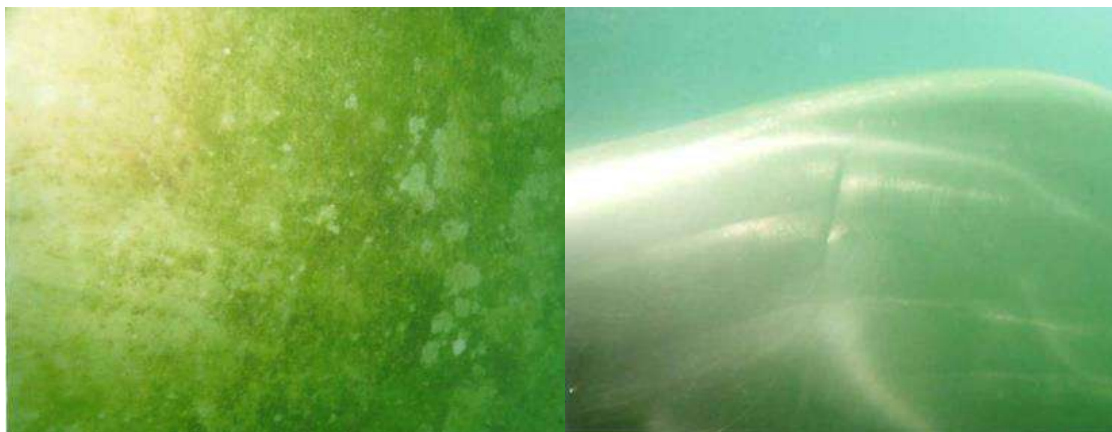


Figura 29 - Navio D - 1º Intervenção

- 2º Intervenção – Limpeza do hélice – 17/11/2014 – Nível: Baixo



Figura 30 - Navio D - 2º Intervenção

- Navio E

- 1º Intervenção – Limpeza do hélice – 17/09/2012 -- Nível: Alto



Figura 31 - Navio E - 1º Intervenção

- 2ª Intervenção – Limpeza do hélice – 26/11/2013 – Nível: Alto

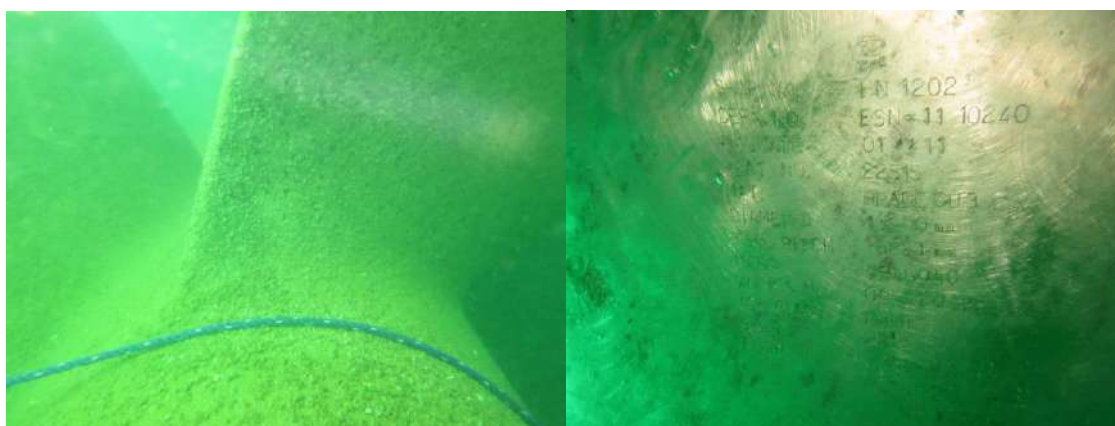


Figura 32 - Navio E - 2ª Intervenção

- 3ª Intervenção – Limpeza do casco e hélice – 19/08/2014 – Nível: Alto



Figura 33 - Navio E - 3ª Intervenção

- 4ª Intervenção – Limpeza do casco e hélice – 29/01/2016 – Nível: Alto



Figura 34 - Navio E - 4ª Intervenção

- Navio F
 - 1º Intervenção – Limpeza do casco e hélice – 21/05/2014 – Nível: Baixo



Figura 35 - Navio F - 1º Intervenção

- Navio G
 - 1º Intervenção – Limpeza do hélice – 30/07/2013 – Nível: Alto



Figura 36 - Navio G - 1º Intervenção

- 2º Intervenção – Limpeza do casco e hélice – 19/01/2015 – Nível: Baixo



Figura 37 - Navio G - 2º Intervenção

Modelo de Análise

Após o extenso trabalho de processamento para limpeza e adequação, a base de dados se encontra pronta para análise. É necessário criar um modelo que utilize as informações geradas e que facilite a chegada à conclusão.

Os dois *KPIs* utilizados para avaliação são o coeficiente de almirantado e o tempo de parada em porto. Apesar das intervenções realizadas não serem indicadores de desempenho, elas precisam estar indicadas pois são os seus efeitos que trarão as informações de ganho de desempenho. Para isso, através da tabela de tipos de intervenções e suas datas, foi colocado um marco nos gráficos por viagem para que o analista avalie o impacto da referida ação, sempre mantendo em mente que tipo de ação foi tomada, limpeza de casco e/ou hélice.

Em seguida, o tempo de parada precisa ser apresentado em uma tabela por navio junto ao gráfico de coeficiente de almirantado. Como já abordado, o tempo de parada em regiões críticas de acúmulo de algas e cracas é um indicador importante para avaliar o desempenho. Quanto mais tempo uma embarcação permanece parada maior será o acúmulo de organismos, que por sua vez elevarão a rugosidade do casco ou danificarão a camada de tinta e, conseqüentemente, ocorrendo a elevação de consumo.

Ao final, será feito um balanço do resultado de cada intervenção e comparado com a classificação qualitativa feita na seção anterior. O objetivo é mostrar que o impacto de cada intervenção varia dependendo da condição em que as obras vivas se encontram. Se um hélice com baixa presença de limo é limpo, dificilmente será possível identificar ganho de desempenho, por exemplo.

Um ponto importante é que a simples análise quantitativa do indicador de desempenho não é suficiente, o histórico de cada embarcação deve ser utilizado para complementar os resultados do modelo e buscar um melhor entendimento do fenômeno observado.

A navegação é um evento que depende de um grande número de variáveis e, até hoje, muitas fora do controle humano como por exemplo as condições de navegação. Existem também eventos que podem impactar o desempenho da navegação, e que apesar da possibilidade de controle, não são controlados pois afetam a viabilidade econômica do negócio.

Um exemplo é a simples decisão de parar uma embarcação para fazer uma grande manutenção em um cilindro do motor ou simplesmente isola-lo e realizar a manutenção no próximo porto. Parar e realizar a manutenção naquele momento pode parecer o correto, visto que irá melhorar a eficiência do motor e diminuir o consumo. Por outro lado, se há carga a bordo, atrasar a entrega pode causar maior prejuízo do que o aumento de consumo. Além disso, podem não haver peças sobressalentes o suficiente a bordo, não há mão de obra qualificada a bordo para tal manutenção específica, dentre diversos outros casos, que simplesmente não são evitados pois tornariam o negócio menos rentável ou até inviável economicamente. Sendo assim, o resultado de algumas viagens pode conter a influência da postergação de alguma manutenção entre outras variáveis.

Outro fato importante é reconhecer que algumas intervenções foram realizadas de maneira preventiva, ou seja, antes que houvesse um impacto perceptível no desempenho do navio. Isso faz com que a condição de operação estável se mantenha por mais tempo, no caso de uma limpeza de hélice. Já no caso de uma limpeza de casco, a ação preventiva contribuiu para a deterioração no curto prazo visto que aumenta a rugosidade do casco, que por sua vez aumenta a resistência friccional e a capacidade de aderência de organismos no casco.

Discussão de Resultados

De posse dos resultados é possível avaliar em cada caso qual foi o real impacto das intervenções e assim planejar de maneira mais assertiva a manutenção do casco e hélice das embarcações. Como são embarcações semelhantes, podemos agregar o conhecimento obtido através da análise de cada caso para chegar à uma conclusão.

A seguir o resultado da análise de cada embarcação é apresentado e discutido tendo em vista o exposto.

Navio A

Tabela 12 – Tempo de parada por tipo de porto – Navio A

Período de parada por tipo de porto e por viagem para cada navio [dias]										
Navio	Viagem	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Navio A	Carga	14,75	4,38	5,88	3,75	16,60	20,27	3,23	6,93	31,71
	Descarga	10,32	12,17	12,44	22,85	10,03	49,92	8,94	13,98	26,15
	Viagem	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Carga	10,75	14,73	11,63	5,74	7,71	5,29	4,48	3,80	-
	Descarga	44,06	17,02	25,33	10,64	10,71	17,39	10,80	-	-

As viagens sombreadas em cinza foram descartadas na eliminação de *outliers*.

Tabela 13 – Classificação das intervenções – Navio A

Intervenção	Tipo	Classificação
1º	Hélice	Médio
2º	Hélice	Médio

O navio A operou por cerca de 5 anos, apresentando baixo desempenho no primeiro e no último ano da janela analisada. Por ser o primeiro navio de uma classe nova a embarcação precisava de ajustes operacionais e apresentou problemas mecânicos e estruturais antes desconhecidos, visto que se tratava de porte maior até então inexistente na frota mundial.

As linhas de tendência tanto para condição em lastro quanto para condição carregada apontam um desempenho médio estável na janela de operação, porém se o primeiro ano de operação é desconsiderado, é possível verificar uma queda progressiva, desde a viagem 6 até a viagem 17. São cerca de 48 pontos de queda no indicador para a condição em lastro, que representa um aumento de consumo de 19% e 28 pontos de queda para a condição carregada, que representa um aumento de consumo de 10%.

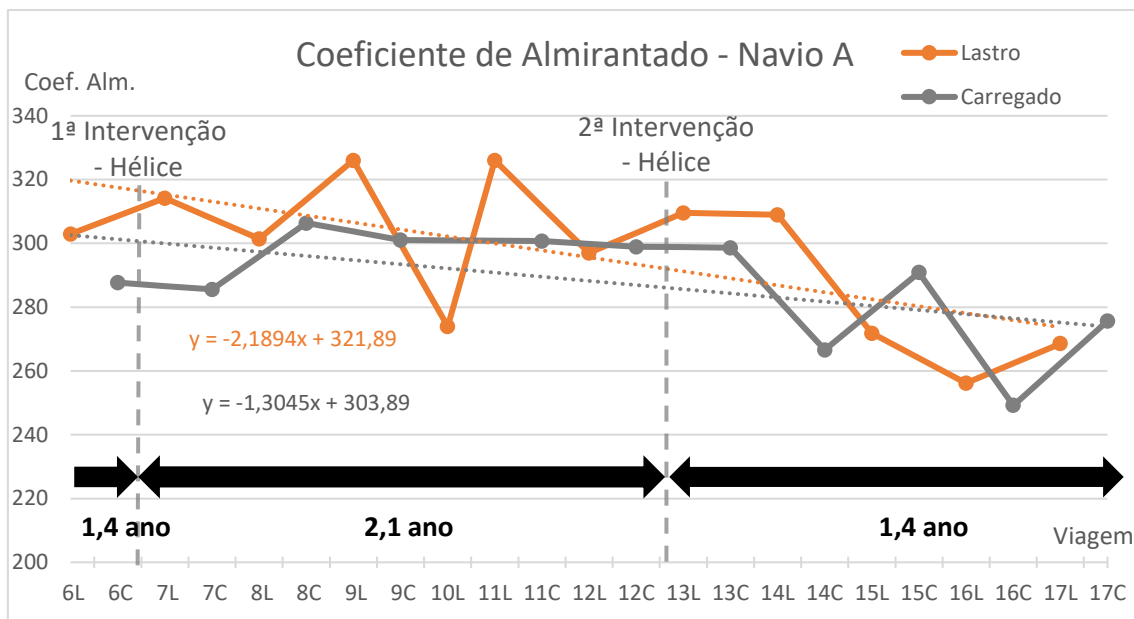


Figura 38 – Resultado desconsiderando primeiro ano de operação – Navio A

Já com relação às intervenções, é possível destacar uma melhora na condição em lastro para as duas intervenções, cerca de 11 pontos de melhora do indicador, que representa uma diminuição de cerca de 3% no consumo, e um efeito nulo na condição carregada.

Isso mostra que o problema de incrustação estava apenas no início e produzia pouco efeito sobre a condição em lastro, que é mais propensa a demonstrar efeitos quando se trata de uma manutenção no hélice. Uma forte evidência que aponta para a motivação preventiva para essa manutenção é o tempo de parada nos portos imediatamente anteriores às intervenções, foram cerca de 70 dias na viagem 6 e 37 dias na viagem 12.

Houve também grandes paradas nas viagens 9 e 10, que contribuíram para a deterioração do desempenho apontada. A partir da viagem 14, com cerca de 4 anos de operação é possível verificar uma queda acentuada no desempenho, pouco tempo depois de uma limpeza de hélice, o que permite afirmar que a condição do casco causou essa queda de desempenho.

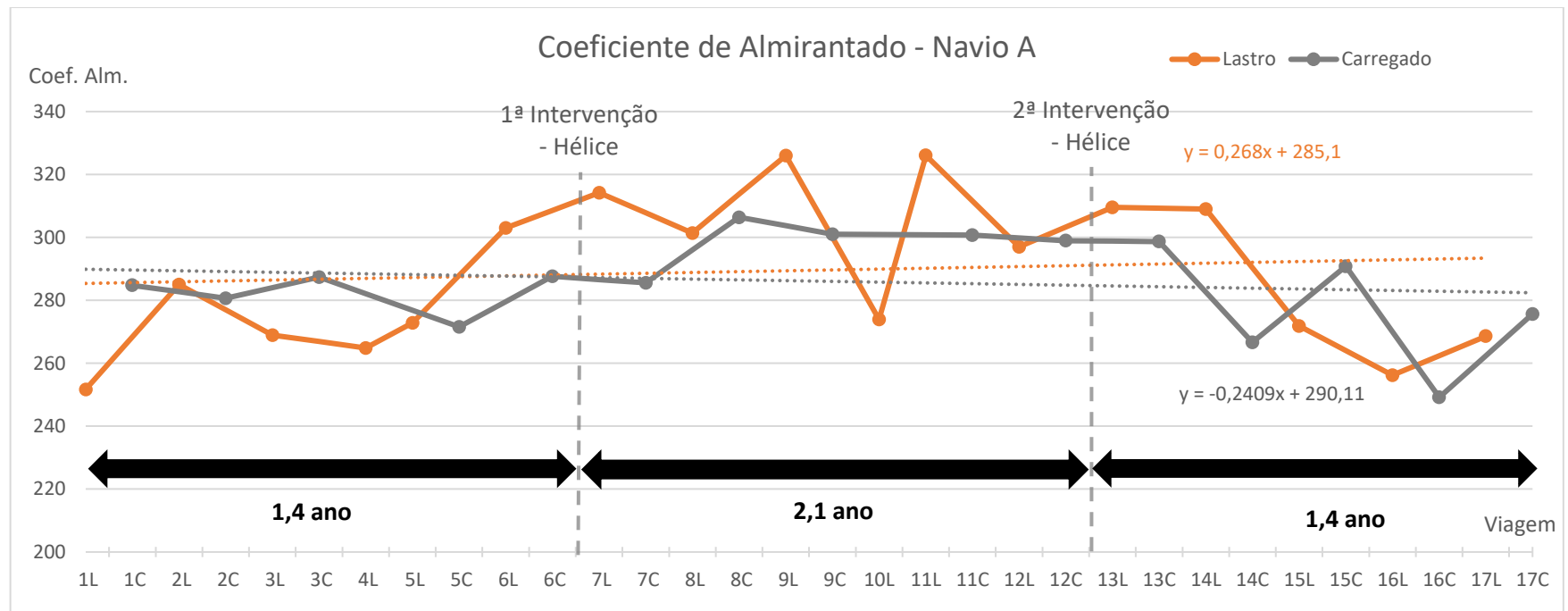


Figura 39 – Resultado – Navio A

Navio B

Tabela 14 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio B

Período de parada por tipo de porto e por viagem para cada navio [dias]										
Navio	Viagem	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Navio B	Carga	20,95	19,67	19,29	14,50	12,50	28,38	18,94	2,83	7,40
	Descarga	13,47	7,72	8,05	9,48	30,69	11,54	10,66	30,27	21,00
	Viagem	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Carga	5,75	4,75	7,33	11,25	10,23	3,67	2,63	12,63	-
	Descarga	38,75	6,91	14,33	6,02	24,17	9,46	4,94	-	-

Tabela 15 - Classificação das intervenções – Navio B

Intervenção	Tipo	Classificação
1º	Hélice	Médio
2º	Hélice	Alta

No navio B foram realizadas duas limpezas de hélice. O nível de impacto previsto através da análise qualitativa foi diferente para ambos os casos: no primeiro foi previsto um impacto médio enquanto no segundo um impacto alto devido à grande quantidade de incrustações presentes no hélice.

Na comparação das viagens 5 e 6, antes e após a primeira manutenção, é possível perceber um efeito positivo de 10 pontos no indicador na condição carregada e um efeito positivo de 6 pontos no indicador na condição em lastro, representando respectivamente 3% e 2% de redução de consumo.

Já para a segunda intervenção é possível perceber um impacto maior, confirmando a previsão da análise qualitativa: para a condição em lastro houve um ganho de 52 pontos no indicador, redução de 21% no consumo, e para a condição carregada um ganho de 10 pontos no coeficiente de almirantado, uma redução de 2% no consumo.

Contudo, o indicador voltou a cair após a parada no porto de 39 dias ao fim da viagem carregada número 10. Esse extenso período estático, maior da série dessa embarcação, contribuiu para o rápido acúmulo de incrustações, não somente no hélice, mas também no casco, já que a embarcação operava há três anos e meio.

Assim como para o navio A, é possível observar que nas duas primeiras viagens o navio B apresentou um mal desempenho. Novamente, esse mal desempenho logo no início da operação não representa o efeito do casco ou hélice sobre o consumo e sim do ajuste técnico das máquinas.

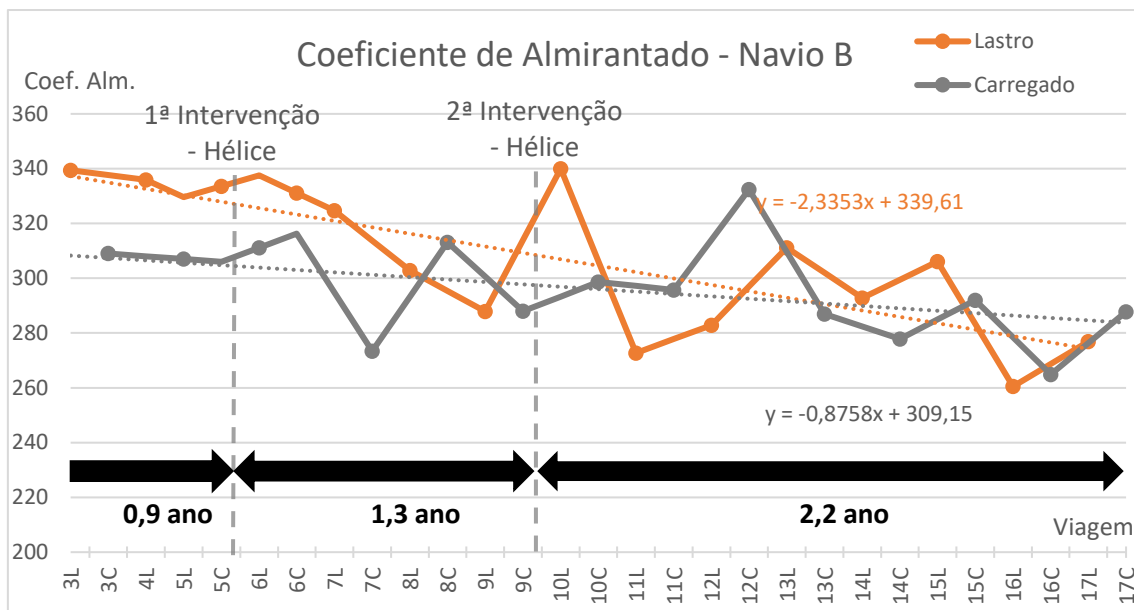


Figura 40 - Resultado desconsiderando as duas primeiras viagens – Navio B

Estima-se uma taxa anual de deterioração do indicador de 16 pontos para a condição em lastro e de 6,2 pontos para a condição carregada, no total 65 pontos de queda em lastro e 24 na condição carregada.

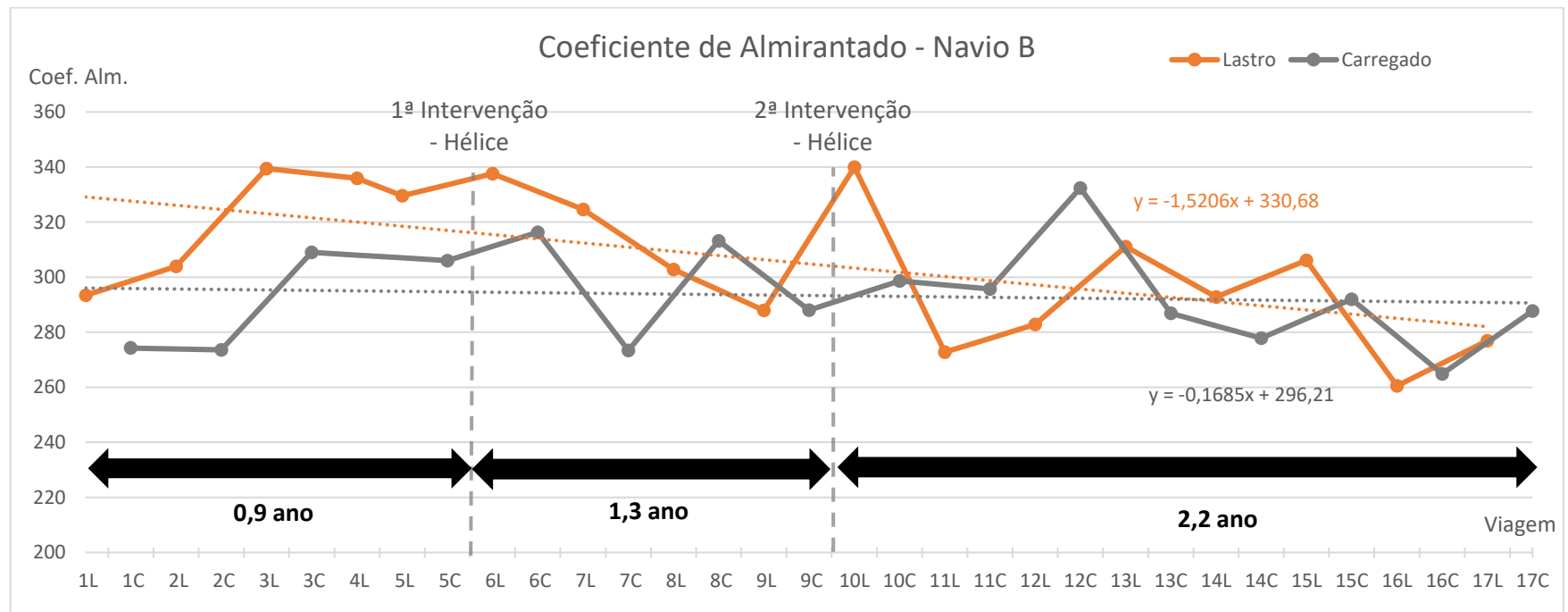


Figura 41 - Resultado - Navio B

Navio C

Tabela 16 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio C

Período de parada por tipo de porto e por viagem para cada navio [dias]						
Navio	Viagem	1	2	3	4	5
Navio C	Carga	46,81	15,56	4,86	6,67	4,00
	Descarga	25,34	13,06	4,99	42,23	15,25
	Viagem	6	7	8	9	10
	Carga	8,71	5,65	5,58	7,50	2,72
	Descarga	20,00	17,59	14,53	13,13	17,12

Tabela 17 - Classificação das intervenções – Navio C

Intervenção	Tipo	Classificação
1º	Hélice	Baixo

No navio C, o mais novo da classe com cerca de 3 anos de operação, foi realizada somente uma limpeza de hélice após a viagem 6. Essa limpeza não trouxe ganho de desempenho como já era previsto na análise qualitativa. O hélice ainda se encontrava em condição satisfatória e por isso o indicador não sofreu alteração.

Contudo, é possível perceber pequena taxa de queda de desempenho no período de operação: 2,7 pontos na condição em lastro e 3 pontos na condição carregada. Esse efeito se deve à deterioração da condição do casco, visto que o hélice se encontrava em boa condição na limpeza e o período após a mesma é menor que o período anterior. Além disso, é possível dizer que a área do casco acima da linha d'água do calado em lastro foi mais afetada já que o indicador da condição carregada apresenta maior taxa de queda.

Essa embarcação, porém, não atingiu a faixa de idade em que os outros navios apresentaram intensificação na queda de desempenho. Ademais, a entrega deste navio ocorreu cerca de 2 anos após a entrega do primeiro da série, isso faz com que os problemas de operação sejam mitigados, como por exemplo o longo período de estadia em porto. As embarcações A e B apresentaram mais de seis paradas de longo período enquanto o navio C apresentou somente duas.

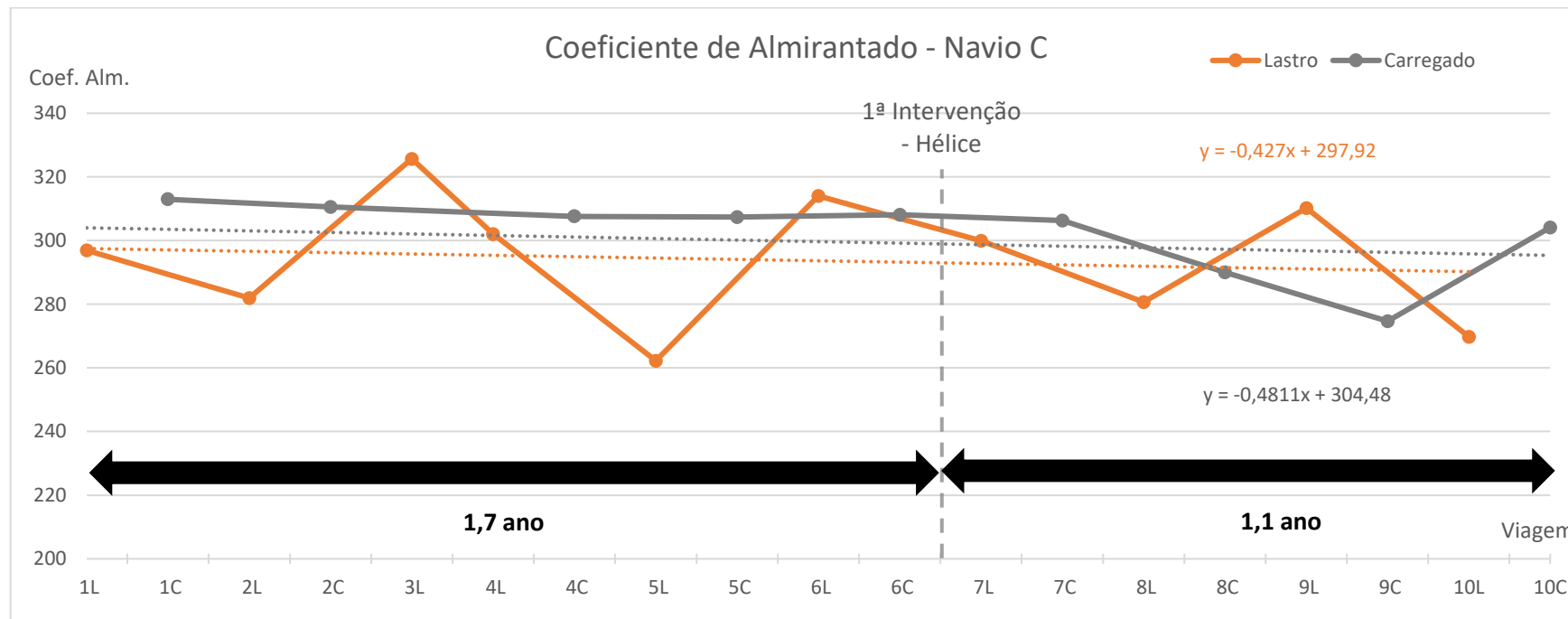


Figura 42 - Resultado - Navio C

Navio D

Tabela 18 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio D

Período de parada por tipo de porto e por viagem para cada navio [dias]									
Navio	Viagem	1	2	3	4	5	6	7	8
Navio D	Carga	3,98	3,20	27,13	54,00	3,00	12,53	9,66	6,68
	Descarga	18,27	21,32	10,00	9,04	6,17	18,60	11,79	7,90
	Viagem	9	10	11	12	13	14	15	16
	Carga	10,89	8,99	7,30	7,67	2,99	2,77	10,38	-
	Descarga	6,60	21,86	8,79	6,03	5,64	5,82	-	-

Tabela 19 - Classificação das intervenções – Navio D

Intervenção	Tipo	Classificação
1º	Hélice	Baixo
2º	Hélice	Baixo

Foram realizadas duas limpezas de hélice como nos navios A e B. Na primeira intervenção o indicador apresentou leve melhora na condição carregada e piora na condição em lastro. Contudo, o comportamento nas viagens subsequentes mostra a influência praticamente nula, como evidenciado na análise qualitativa. O comportamento se repetiu na segunda intervenção: um aumento no indicador na condição carregada e um efeito nulo na condição em lastro.

A taxa anual de deterioração de desempenho calculada para esse navio é de 12 pontos na condição em lastro e de 6 pontos para a embarcação carregada. Pode-se concluir que essa taxa não foi influenciada pelo hélice, que apresentou boa condição durante as duas intervenções.

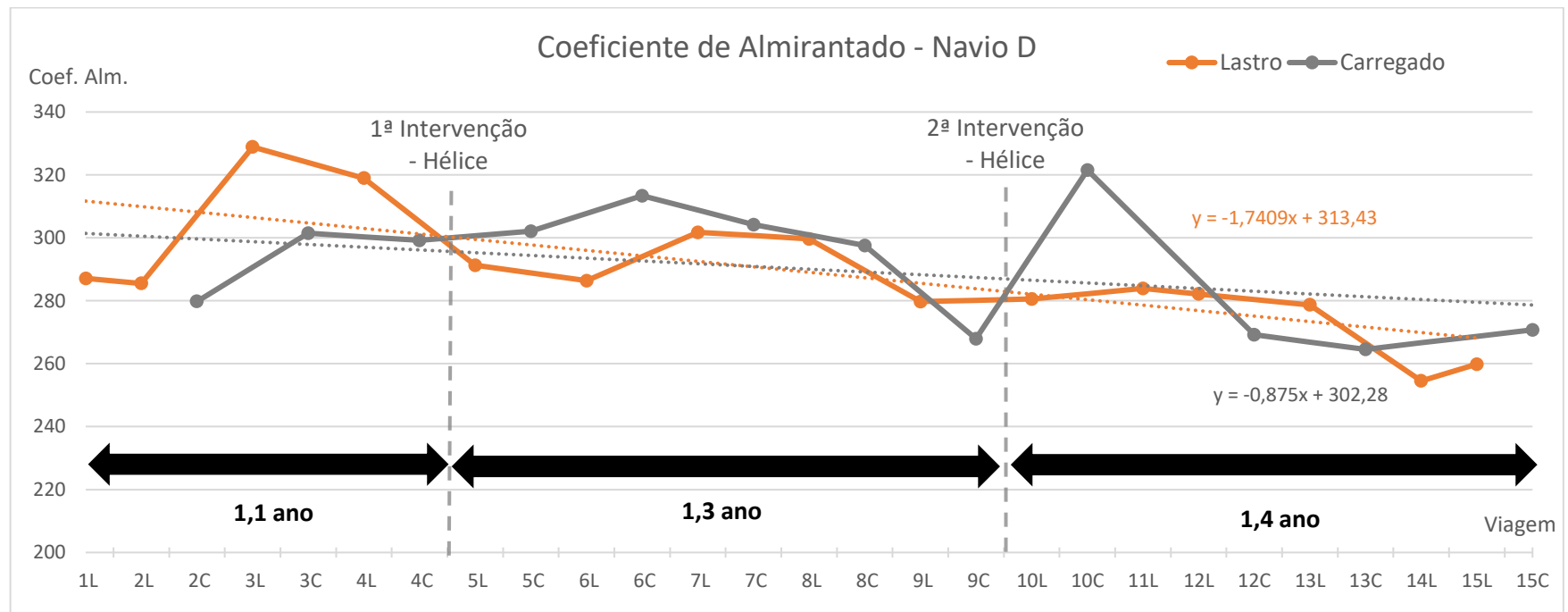


Figura 43 - Resultado - Navio D

Navio E

Tabela 20 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio E

Período de parada por tipo de porto e por viagem para cada navio [dias]										
Navio	Viagem	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Navio E	Carga	5,02	8,79	4,89	20,41	11,48	11,21	20,53	31,79	31,82
	Descarga	6,05	9,61	10,63	6,11	35,34	15,20	5,18	5,71	6,69
	Viagem	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Carga	8,38	5,44	8,29	7,67	19,14	7,15	5,93	10,09	2,83
	Descarga	19,40	30,58	77,69	17,35	10,38	11,73	4,72	3,53	48,58

Tabela 21 - Classificação das intervenções – Navio E

Intervenção	Tipo	Classificação
1º	Hélice	Alto
2º	Hélice	Alto
3º	Casco/Hélice	Alto
4º	Casco/Hélice	Alto

O navio E foi o único da classe a realizar quatro intervenções as quais todas possuem classificação de impacto alto, ou seja, casco e hélice apresentavam condições críticas e se esperava um alto impacto de melhoria de desempenho depois da manutenção.

A primeira manutenção no hélice resultou em uma melhora no indicador de 22 pontos para a condição em lastro. Para a navegação carregada não é possível mensurar o impacto visto que as quatro viagens subsequentes foram desconsideradas devido à baixa quantidade de carga, consideradas *outliers*.

A segunda intervenção no hélice causou uma elevação de 36 pontos no coeficiente de almirantado para a condição carregada. Na viagem seguinte o indicador voltou a recuar devido à longa parada no porto de 30 dias após a viagem 11.

Já para a condição em lastro o indicador recuou cerca de 86 pontos da viagem 10 para a viagem 11. Ao investigar o período próximo à essa intervenção é possível concluir que o efeito positivo do indicador nas viagens 9 e 10 é descolado de toda a história da embarcação, o que demonstra que havia alguma condição externa de navegação melhorando o desempenho da embarcação.

Na terceira manutenção, ocorreu a limpeza do hélice e casco. Este último se encontrava em condição crítica como é possível identificar na seção de análise qualitativa. O impacto foi positivo para ambas as condições: 16 pontos para a condição em lastro e

21 pontos para a condição carregada, respectivamente 5,7% e 7,8% de redução de consumo.

Ao final da operação analisada se repetiu a limpeza de casco e hélice a fim de manter a taxa de deterioração baixa até a próxima docagem. O impacto foi 13 pontos positivos para a condição em lastro e 8 pontos negativos para a condição carregada.

É importante apontar para o momento em que cada intervenção foi realizada, principalmente a primeira limpeza de casco e hélice, com cerca de três anos de operação. Essa manutenção era claramente necessária depois da parada de 77 dias no porto de descarga. Visualmente era possível perceber a necessidade e prever o impacto positivo que haveria após realiza-la.

Essa embarcação apresentou taxas anuais de deterioração de 4,1 pontos na condição em lastro e 0,7 pontos na condição carregada.

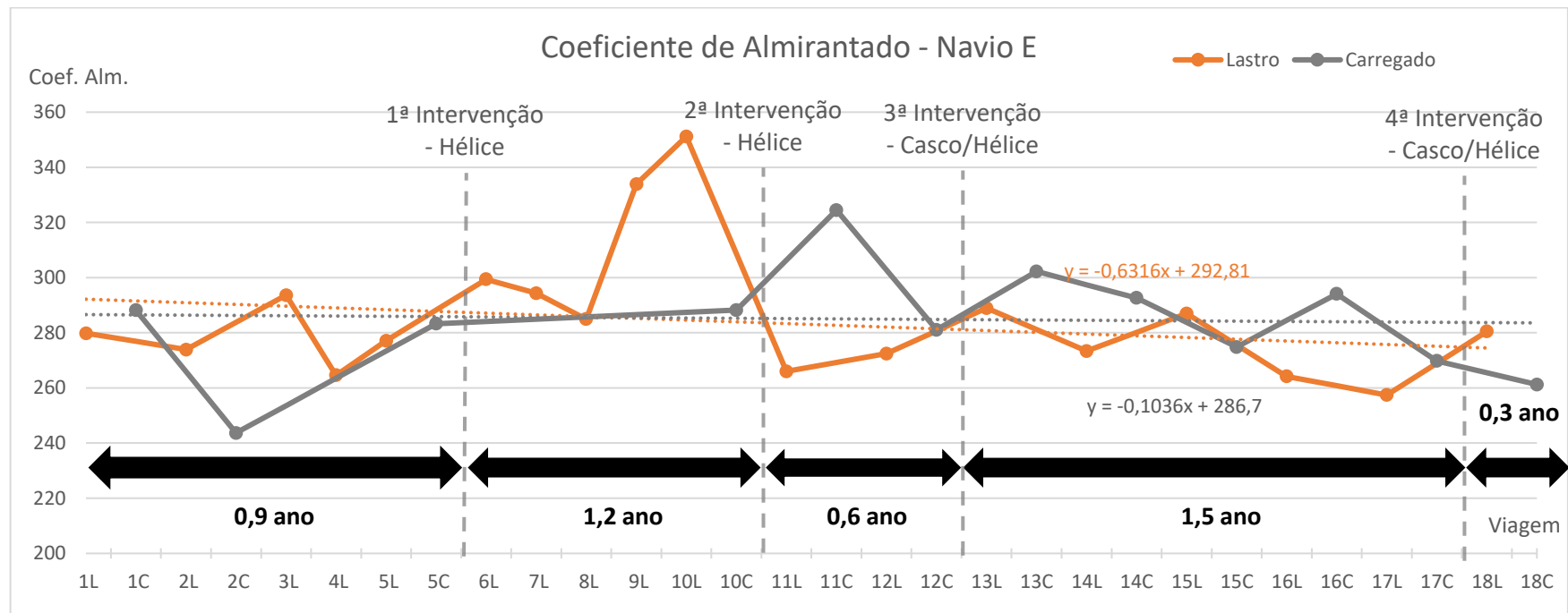


Figura 44 - Resultado - Navio E

Navio F

Tabela 22 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio F

Período de parada por tipo de porto e por viagem para cada navio [dias]								
Navio	Viagem	1	2	3	4	5	6	7
Navio F	Carga	17,67	14,39	29,68	30,71	9,77	9,63	9,21
	Descarga	18,74	52,20	6,75	10,20	6,10	10,69	25,57
	Viagem	8	9	10	11	12	13	14
	Carga	6,15	8,92	3,70	6,43	2,17	4,02	4,29
	Descarga	33,78	21,04	9,17	7,02	3,83	11,08	-

Tabela 23 - Classificação das intervenções – Navio F

Intervenção	Tipo	Classificação
1º	Casco/Hélice	Baixo

No navio F foi realizada somente uma limpeza de casco e hélice. O impacto esperado era baixo pois o relatório de serviço apontava baixa presença de craca e limo no casco. Apesar do impacto positivo na viagem carregada imediatamente posterior à limpeza e negativo na viagem em lastro, é possível perceber que o indicador se comporta de maneira estável até a viagem 10, apesar dos longos períodos estáticos registrados nas viagens anteriores.

A partir da viagem 11, com 3 anos de operação, é possível perceber uma nova tendência de queda no desempenho para ambas as condições de navegação. A conclusão é de que a intervenção no casco foi realizada de maneira precoce e era necessária nova intervenção para que o indicador voltasse a estabilizar, como no navio E. Ainda assim, se comparado com os navios que não realizaram limpeza de casco, houve melhora de desempenho. A taxa anual de deterioração calculada para essa embarcação foi de 4,5 pontos na condição em lastro e 5,4 pontos na condição carregada.

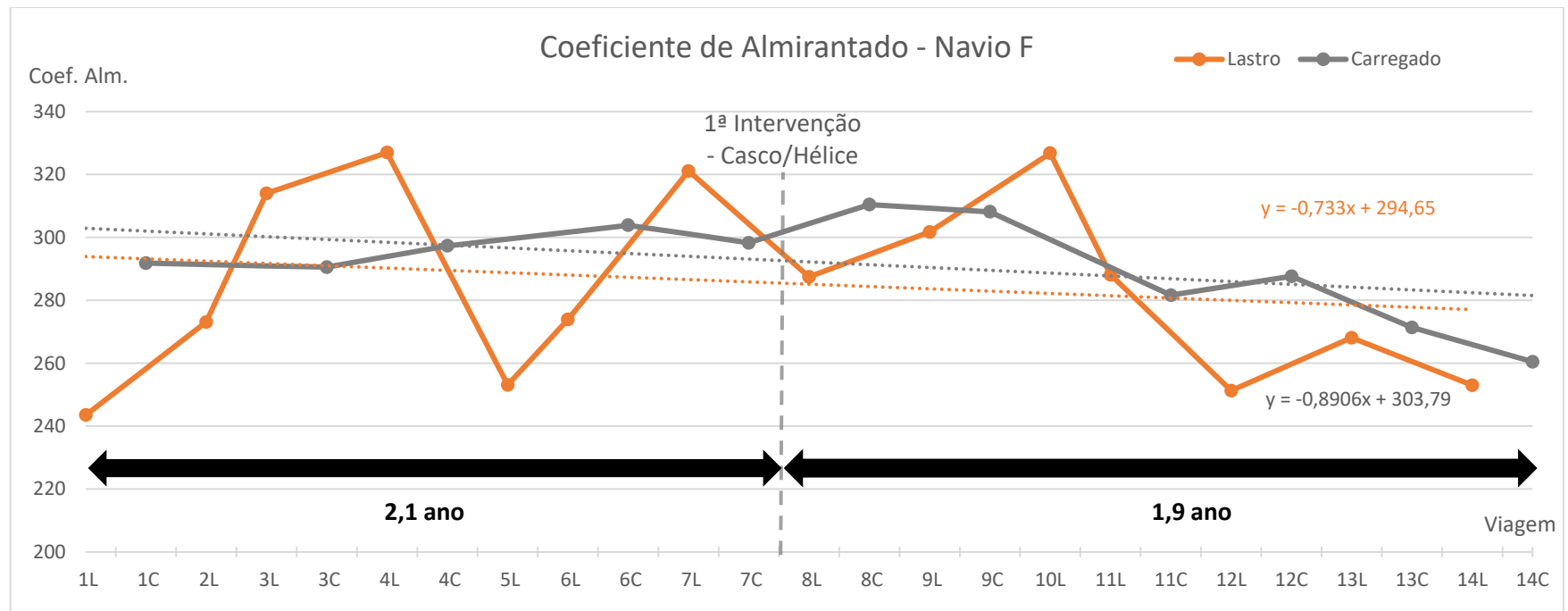


Figura 45 - Resultado - Navio F

Navio G

Tabela 24 - Tempo de parada por tipo de porto – Navio G

Período de parada por tipo de porto e por viagem para cada navio [dias]								
Navio	Viagem	1	2	3	4	5	6	7
Navio G	Carga	4,50	11,37	10,00	45,48	7,19	5,32	12,48
	Descarga	13,86	7,57	11,40	14,57	10,10	25,83	27,63
	Viagem	8	9	10	11	12	13	14
	Carga	9,08	8,06	14,04	5,68	8,95	6,30	7,80
	Descarga	7,79	22,04	10,73	5,52	2,96	8,15	-

Tabela 25 - Classificação das intervenções – Navio G

Intervenção	Tipo	Classificação
1º	Hélice	Alto
2º	Casco/Hélice	Baixo

O navio G também realizou duas intervenções: uma limpeza de hélice e a uma limpeza de casco e hélice. Na primeira, houve um ganho de 22 pontos no indicador para a condição em lastro e 26 pontos para a condição carregada, respectivamente, 7,9% e 9,8% de queda de consumo. A condição crítica em que o hélice se encontrava era devido aos longos períodos de parada da viagem 4, tanto no porto de carga quanto no porto de descarga.

Na segunda intervenção, assim como no navio F, o impacto foi baixo devido à presença escassa de organismos no casco. O ganho de 43 pontos na condição carregada foi pontual, assim como a perda de 23 pontos na condição em lastro, retornando após uma viagem ao patamar anterior de desempenho.

Contudo, como registrado para os navios que realizaram limpeza de casco, é possível perceber um retardamento na deterioração do desempenho. A taxa anual de queda de performance para essa embarcação foi de 7,7 pontos na condição em lastro e 5,6 pontos na condição carregada.

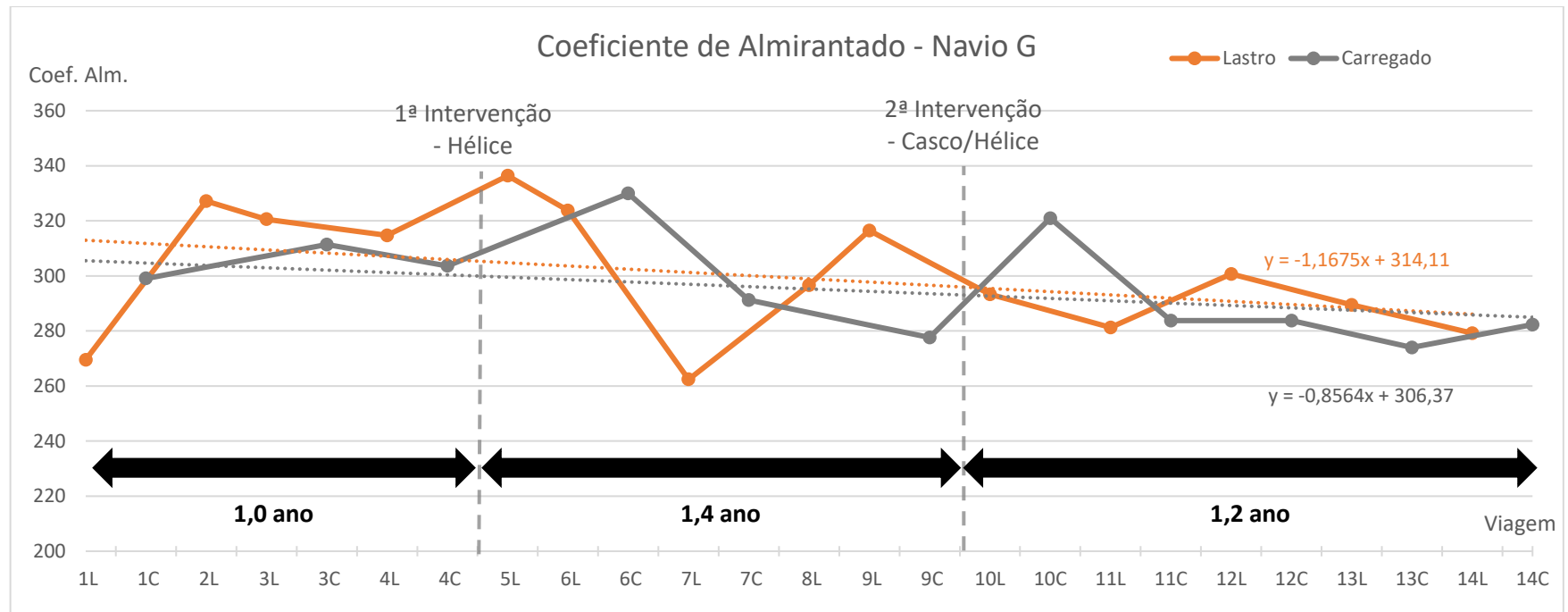


Figura 46 - Resultado - Navio G

Resultados Gerais

Ao comparar o comportamento do indicador antes e após cada intervenção em cada navio com a classificação de impacto é possível observar uma correlação significativa. Quando a classificação de impacto é baixa, percebe-se que o indicador flutua até negativamente, mostrando que houve pouca influência. Na segunda intervenção do navio D, houve uma melhora significativa no indicador em condição carregada, mas que não foi devido à intervenção e sim às condições externas, como já apontado.

Já quando a classificação de impacto é média e alta, é perceptível a alteração imediata no comportamento do indicador, salvo no caso da segunda limpeza de hélice do navio E, que apresentou queda significativa no indicador de lastro, já explicada na seção anterior.

Um ponto importante é que, independente da classificação e do impacto registrado, a limpeza do hélice é sempre benéfica, pois evita o acúmulo excessivo de organismos mesmo que nos estágios iniciais. Ocorre a extensão do período até a necessidade da próxima intervenção desse tipo.

Tabela 26 – Impacto das intervenções no hélice

Navio	Ganho / (Perda)			Classificação
	Lastro	Carregado	Média	
Navio A	11,15	-2,11	4,52	Médio
Navio A	12,53	-0,27	6,13	Médio
Navio B	8,05	10,30	9,17	Médio
Navio B	52,09	10,58	31,34	Alto
Navio C	-14,13	-1,87	-8,00	Baixo
Navio D	-27,67	2,91	-12,38	Baixo
Navio D	0,84	53,63	27,24*	Baixo
Navio E	22,31	-	11,15	Alto
Navio E	-85,21	36,22	-24,50*	Alto
Navio G	21,71	17,50	19,61	Alto

Quando há impacto no indicador de desempenho, significa que a embarcação há sofrido influência negativa em sua resistência. Sendo assim, as intervenções de classificação média e alta podem ser consideradas como remediadora e não preventivas, como no caso das intervenções com classificação baixa. A política de manutenção ideal nesse caso é realizar a limpeza do hélice em intervalos curtos, aproveitando-se do baixo custo e evitando consumo indevido.

Diferentemente da limpeza de hélice, a limpeza de casco, além de mais cara, tem impacto negativo se realizada de maneira indevida e em excesso. Isso ocorre, pois, o filme de tinta pode ser danificado, aumentando a rugosidade e conseqüente aumento na resistência friccional. É o mesmo efeito causado pelas incrustações, porém sem a possibilidade de remediação durante a operação, somente durante uma docagem a seco.

Foi possível observar esse fenômeno na segunda intervenção do navio E, na qual após a limpeza, apesar da grande quantidade de organismos no casco, o impacto foi baixo, apesar da classificação alta. O casco foi bastante danificado devido às duas limpezas realizadas.

Tabela 27 – Impacto das Intervenções no casco e hélice

Navio	Ganho / (Perda)			Classificação
	Lastro	Carregado	Média	
Navio E	16,52	21,17	18,84	Alto
Navio E	23,08	-8,58	7,25	Alto
Navio F	-33,63	12,16	-10,74	Baixo
Navio G	-23,24	43,38	10,07	Baixo

O ganho de se realizar a limpeza do casco é demonstrado através da comparação da taxa anual de deterioração do indicador entre as embarcações que realizaram a limpeza e as que somente fizeram manutenção no hélice.

Tabela 28 – Taxa anual de deterioração do indicador por navio

Taxa anual de deterioração – Coeficiente de Almirantado			
Navio	Lastro	Carregado	Média
Navio A*	13,0	7,8	10,4
Navio B*	16,5	6,2	11,3
Navio C	2,7	3,0	2,9
Navio D	12,0	6,0	9,0
Navio E	4,1	0,7	2,4
Navio F	4,5	5,4	4,9
Navio G	7,7	5,6	6,6
*Desconsiderando período de operação inicial			

É possível perceber que os navios que realizaram a limpeza de casco, mesmo que de maneira precoce, mitigaram problema de desempenho que foi observado nas demais embarcações. Nesses casos o indicador reagiu de forma mais estável, no longo prazo.

O navio E, que apresentou maior estabilidade no desempenho foi o que mais realizou intervenções, um total de quatro, sendo duas limpezas de casco. Em comparação com os navios F e G, que também realizaram manutenção no casco, o impacto observado foi mais intenso, pois foi realizado após um período maior desde o início de sua operação. Aqueles por sua vez não apresentaram tamanha estabilidade no indicador, pois além de sua realização precoce, o que aumenta a rugosidade do casco, também não houve intervenção posterior, no caso do navio F foram quase 2 anos sem manutenção, contribuindo para o retorno do problema.

O navio C é considerado uma exceção nesse estudo pois apresenta pouco tempo de operação em comparação com as outras embarcações, não apresentando problema de desempenho significativo.

Tabela 29 – Período de operação analisado por navio

Navio	Tempo de Operação [anos]
Navio A	4,9
Navio B	4,4
Navio C	2,9
Navio D	3,8
Navio E	4,5
Navio F	4,0
Navio G	3,7

Finalmente, pode-se concluir que a melhor política de manutenção no casco e hélice é a do Navio E, que considera limpezas periódicas do hélice durante toda a operação da embarcação e limpezas esporádicas do casco concentradas ao final da janela de operação entre docagens, mais especificamente a partir do terceiro ano.

Como visto na discussão da literatura, fica claro que a condição do casco e hélice impacta no desempenho dos navios e que a adoção de uma política de manutenção diferenciada tem grande relevância. Porém, o ganho da adoção de diferentes políticas nunca foi medido na operação real de uma embarcação e esse foi o resultado desse trabalho.

Através da comparação entre 7 embarcações semelhantes com diferentes dinâmicas de intervenções foi possível encontrar qual a melhor dentre as analisadas e quantificar esse ganho. Na próxima seção uma breve análise econômica é apresentada levando em consideração os custos de cada intervenção e os ganhos identificados.

Análise Econômica

Nesta seção é realizada uma comparação entre os resultados encontrados no trabalho para cada navio levando em consideração os custos incorridos em cada caso. O Navio E será a referência de melhor política de manutenção e apresenta o maior custo por ter realizado maior quantidade intervenções. Todos navios, com exceção do Navio C, são comparados então com a referência.

Durante a operação normal é possível utilizar o tempo de abastecimento de combustível e de descarregamento de carga para realizar as intervenções no casco e hélice, sendo assim, não será considerado custo por tempo ocioso nessa análise. Para a manutenção no hélice são utilizados mergulhadores e o custo médio é de US\$ 4 mil. Da mesma maneira, a limpeza submarina do casco é realizada com uma equipe de mergulhadores e tem um custo médio de US\$ 20 mil.

Para o custo de combustível, por tonelada, foram considerados dois cenários: um preço médio de US\$ 350 por tonelada de óleo pesado e um preço mínimo de US\$ 200 por tonelada.

Tabela 30 – Desempenho médio inicial da frota

Navio	Lastro		Carregado	
	Vel. [nós]	Cons. [ton/dia]	Vel. [nós]	Cons. [ton/dia]
Navio A	12,4	63,8	10,3	59,9
Navio B	14,3	73,5	12,2	74,8
Navio D	12,5	68,9	11,6	75,9
Navio E	13,0	77,0	11,9	76,4
Navio F	13,9	86,2	10,7	62,9
Navio G	13,3	73,2	11,7	71,9
Média	13,3	73,8	11,4	70,3

Em seguida, o desempenho na viagem inicial de cada embarcação é tomado e então calcula-se a média da velocidade e consumo. O resultado representa o desempenho médio da frota no início da operação.

O próximo passo é aplicar as taxas de deterioração encontradas para cada embarcação e calcular a diferença de gasto com combustível entre cada caso e a referência, Navio E.

Tabela 31 – Consumo médio calculado para período de 5 anos

Navio	Consumo Final [ton/dia]		Consumo Médio [ton/dia]	
	Lastro	Carregado	Lastro	Carregado
Navio E - Referência	79,2	71,1	76,5	70,7
Navio A	94,3	80,8	84,0	75,5
Navio B	101,8	78,4	87,8	74,4
Navio D	92,2	78,2	83,0	74,2
Navio F	79,7	77,3	76,7	73,8
Navio G	84,6	77,6	79,2	73,9

Foi considerada uma taxa de atividade de 70%, ou seja, por ano cada embarcação navegou durante 256 dias, sendo 128 dias em lastro e 128 dias carregado. Utilizando o consumo diário médio e a quantidade de dias navegados por condição durante o período de 5 anos foi encontrado o consumo total de combustível para cada embarcação.

Tabela 32 – Diferença de consumo total entre embarcações

Navio	Consumo Total [ton]		Diferença para referência [ton]	
	Lastro	Carregado	Lastro	Carregado
Navio E - Referência	48951	45248	0,0	0,0
Navio A	53769	48338	4818,3	3090,7
Navio B	56186	47587	7235,8	2339,4
Navio D	53127	47513	4176,2	2265,2
Navio F	49114	47218	162,9	1970,5
Navio G	50676	47319	1725,7	2071,7

Em seguida multiplica-se a diferença de consumo total pelo preço mínimo e médio do óleo combustível por tonelada a fim de encontrar o custo total adicional devido a diferença de desempenho.

Tabela 33 – Custo da diferença de consumo

Navio	Diferença de consumo [ton]	Diferença a preço mínimo – (IFO@US\$200/ton)	Diferença a preço médio - (IFO@US\$350/ton)
Navio A	7909,1	\$ 1.581.813,57	\$ 2.768.173,74
Navio B	9575,2	\$ 1.915.037,02	\$ 3.351.314,78
Navio D	6441,4	\$ 1.288.278,59	\$ 2.254.487,53
Navio F	2133,4	\$ 426.680,73	\$ 746.691,28
Navio G	3797,5	\$ 759.491,92	\$ 1.329.110,87

Tabela 34 – Comparação dos custos das intervenções e gastos adicionais devido à diferença de desempenho

Navio	Diferença a preço mínimo	Diferença a preço médio	Limpeza no Hélice	Limpeza no Casco	Custo das intervenções
Navio E	\$ -	\$ -	4	2	\$ 56.000,00
Navio F	\$ 426.680,73	\$ 746.691,28	1	1	\$ 24.000,00
Navio G	\$ 759.491,92	\$1.329.110,87	2	1	\$ 28.000,00
Navio D	\$1.288.278,59	\$2.254.487,53	2	0	\$ 8.000,00
Navio A	\$1.581.813,57	\$2.768.173,74	2	0	\$ 8.000,00
Navio B	\$1.915.037,02	\$3.351.314,78	2	0	\$ 8.000,00

Percebe-se então que as pequenas diferenças do custo das políticas de manutenção são facilmente compensadas pela melhoria de desempenho apresentada. Adicionalmente, comprovando o ganho da limpeza de casco, pode-se observar uma grande diferença também dos Navios F e G para as demais embarcações.

Conclusões

A preocupação manifestada no cenário global em busca de tecnologias que favoreçam o desenvolvimento sustentável atraiu a atenção de diversos órgãos e países, desencadeando uma série de medidas. Essas, por sua vez, colocaram uma pressão na indústria de navegação para a busca de melhoria de desempenho de suas atividades.

O consumo de combustível das navegações, enquanto navegam, é a atividade que mais polui nessa indústria e, portanto, o alvo de possíveis taxações nos próximos anos. Esse consumo está intimamente ligado à condição do casco e hélice das embarcações, cerca de 80% do consumo é devido à resistência friccional para navios graneleiros.

Contudo, o investimento nessa área depende do movimento cíclico do mercado em todo o mundo. É necessário aproveitar ao máximo os recursos e tecnologias existentes para promover o ganho de eficiência e evitar futuras penalizações. Esse trabalho buscou identificar uma maneira de planejar a manutenção do casco e hélice das embarcações através do estudo de seus efeitos e do processo natural de deterioração.

Através da mineração dos dados de navegação e coleta de informações operacionais, foi possível gerar um modelo de análise que identifique os impactos de cada tipo de intervenção em cada navio. Além disso, o modelo permite calcular a taxa de deterioração de performance e comparar as embarcações da mesma classe a fim de avaliar a política de manutenção empregada em cada.

A classificação de impacto das intervenções foi gerada através da análise dos relatórios de limpeza. Ao associar essas informações com os tempos de parada nos portos, catalizador de acúmulo de organismos no casco e hélice, junto com os resultados do indicador de desempenho, foi possível obter um panorama completo da operação de cada embarcação, sobre o viés de desempenho.

Essa análise é específica para as embarcações que foram alvo do estudo, não somente pelas suas dimensões principais, mas também devido ao regime de operação específico, a rota navegada, ambiente de exposição e esquema de pintura aplicado. Porém, o método estudado pode ser aplicado para qualquer embarcação, fazendo as adaptações necessárias.

O modelo possui limitações que afetam a precisão dos resultados. Como já pontuado, as condições de navegação influenciam significativamente no desempenho das

embarcações. No trabalho, condições de navegação adversas foram eliminadas, a fim de minimizar o efeito destas no desempenho. É necessário utilizar um modelo avançado para tentar eliminar o impacto desse fenômeno sobre a análise. Uma possível solução seria por meio de uma correção de velocidade.

Além disso, os dados utilizados são fruto de um processo manual realizado diariamente por mais de um tripulante, desde a coleta dos dados até a inserção no sistema da embarcação. Sendo assim, há interferência humana no processo, que procurou ser minimizada através do pré-processamento dos dados. A automatização dos dados de consumo e de navegação pode elevar a precisão desse modelo e aumentar o número de dados, o que também tornaria possível uma análise mais completa considerando outras condições de calado e carregamento.

Por fim, o modelo deixa de considerar falhas no processo de manutenção de máquinas do navio, que pode trazer influência direta sobre o consumo das embarcações, como por exemplo: postergação de manutenção em um cilindro que obrigue a embarcação a navegar com esse cilindro isolado ou simplesmente um problema nas válvulas de exaustão, reduzindo a pressão de combustão. A criação de uma sinalização de que há algum tipo de manutenção pendente no sistema que influencie a eficiência também é importante para que o analista possa considerar o impacto ou descartar a amostra contaminada.

Referências Bibliográficas

1. IMO. MARPOL Consolidated Edition 2011. Fifth edition. London, 2011. 447 p.
2. IMO. Guidelines for development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP). MEPC.213/Circ.63/Annex.9, IMO – International Maritime Organization. March 2012.
3. Giorgiutti Y., Rezende F., Van S., Monteir, C., Preterote G. (2014). ‘Impact of Fouling on Vessel’s Energy Efficiency’, Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 25.
4. Cassé F., Swain G. W. (2006). ‘The development of microfouling on four commercial antifouling coatings under static and dynamic immersion’, International Biodeterioration & Biodegradation, 57, pp. 179-185.
5. MAN B&W (2012), “Basic Principles of Ship Propulsion”. April 2004. Extraído de: “<https://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/propeller-aftship/basic-principles-of-propulsion.pdf?sfvrsn=0>”
6. Kan S., Shiba H., Tsuchida K., Yokoo K. (1958). ‘Effect of fouling of a ship’s hull and propeller upon propulsive performance’, International Shipbuilding Progress, 5, pp. 15-34.
7. Ming-Cheng Tsou (2010). ‘Discovering Knowledge from AIS Database for Application in VTS. Journal of Navigation’, 63, pp 449-469.
8. Wang K., Yan X., Yuan Y., Li F. (2016). ‘Real-time optimization of ship energy efficiency based on the prediction technology of working condition’, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 46, pp. 81-93.
9. Lewthwaite J. C., Molland A. F., Thomas K. W. (1985). ‘An investigation into the variation of ship skin frictional resistance with fouling’, Trans RINA, 127, pp. 268-279.
10. Bohlander G. S. (1991). ‘Biofilm effect on drag: measurements on ships’, Polymers in a Marine Environment, Marine Management (Holdings), 16, pp.1-4.
11. Kempf G. (1937). ‘On the effect of roughness on the resistance of ships’, Trans RINA 79, pp. 362-389.
12. Winter School on “Data Mining Techniques and Tools for Knowledge Discovery in Agricultural Datasets”, 2011, New Delhi, India. ‘Data Mining Techniques and Tools

for Knowledge Discovery in Agricultural Datasets’, Division of Computer Applications Indian Agricultural Statistics Research Institute (ICAR).

13. Duarte B., Santos R. F. D. M., Henriques L. G. C., Guimarães R.; “Modelo de Acompanhamento de Desempenho Através do Consumo de Óleo Combustível e Óleo Lubrificante de Cilindro”. 25º Congresso da SOBENA, Rio de Janeiro. 2014.
14. Schultz M. P. (2007). “Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering”. *Biofouling*, 23:5, pp. 331-341.
15. Woo E. L., Karafiath G., Borda G. (1983). “Ship-model correlation of powering performance on USS Oliver Hazard Perry, FFG-7 class”. *Mar Technol* 20, pp. 35-52.
16. Turan O., Demirel Y. K., Day S., Tezdogan T. (2016). “Experimental determination of added hydrodynamic resistance caused by marine biofouling on ships”. *Transportation Research Procedia*, 14, pp;1649-1658.
17. Townsin R. L. (2003). “The Ship Hull Fouling Penalty”. *Biofouling*, 19, pp. 9-15.
18. Schultz M. P. (2000). “Turbulent boundary layers on surfaces covered with filamentous algae”. *Fluids Eng*, 122, pp. 357-363.
19. Schultz M. P., Swain G. M. (1999). “The effect of biofilms on turbulent boundary layers. *Fluids Eng*, 121, pp. 44-51.
20. Townsin R. L., Byrne D., Svensen T. E., Milne A. (1981). “Estimating the Technical and Economic Penalties of Hull and Propeller Roughness”. *SNAME Transactions*, 89, pp. 295-318.

Anexo I

Tabela 35 – Tempo de parada em portos

Período de parada por tipo de porto e por viagem para cada navio [dias]																			
Navio	Portos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Navio A	Carga	14,75	4,38	5,88	3,75	16,60	20,27	3,23	6,93	31,71	10,75	14,73	11,63	5,74	7,71	5,29	4,48	3,80	-
	Descarga	10,32	12,17	12,44	22,85	10,03	49,92	8,94	13,98	26,15	44,06	17,02	25,33	10,64	10,71	17,39	10,80	-	-
Navio B	Carga	20,95	19,67	19,29	14,50	12,50	28,38	18,94	2,83	7,40	5,75	4,75	7,33	11,25	10,23	3,67	2,63	12,63	-
	Descarga	13,47	7,72	8,05	9,48	30,69	11,54	10,66	30,27	21,00	38,75	6,91	14,33	6,02	24,17	9,46	4,94	-	-
Navio C	Carga	46,81	15,56	4,86	6,67	4,00	8,71	5,65	5,58	7,50	2,72	-	-	-	-	-	-	-	-
	Descarga	25,34	13,06	4,99	42,23	15,25	20,00	17,59	14,53	13,13	17,12	-	-	-	-	-	-	-	-
Navio D	Carga	3,98	3,20	27,13	54,00	3,00	12,53	9,66	6,68	10,89	8,99	7,30	7,67	2,99	2,77	10,38	-	-	-
	Descarga	18,27	21,32	10,00	9,04	6,17	18,60	11,79	7,90	6,60	21,86	8,79	6,03	5,64	5,82	-	-	-	-
Navio E	Carga	5,02	8,79	4,89	20,41	11,48	11,21	20,53	31,79	31,82	8,38	5,44	8,29	7,67	19,14	7,15	5,93	10,09	2,83
	Descarga	6,05	9,61	10,63	6,11	35,34	15,20	5,18	5,71	6,69	19,40	30,58	77,69	17,35	10,38	11,73	4,72	3,53	48,58
Navio F	Carga	17,67	14,39	29,68	30,71	9,77	9,63	9,21	6,15	8,92	3,70	6,43	2,17	4,02	4,29	-	-	-	-
	Descarga	18,74	52,20	6,75	10,20	6,10	10,69	25,57	33,78	21,04	9,17	7,02	3,83	11,08	-	-	-	-	-
Navio G	Carga	4,50	11,37	10,00	45,48	7,19	5,32	12,48	9,08	8,06	14,04	5,68	8,95	6,30	7,80	-	-	-	-
	Descarga	13,86	7,57	11,40	14,57	10,10	25,83	27,63	7,79	22,04	10,73	5,52	2,96	8,15	-	-	-	-	-

As células marcadas em cinza escuro representam os portos após as viagens eliminadas devido à pequena quantidade de carga, de acordo com a eliminação de *Outliers*. Além disso, algumas viagens ao final do período de cada embarcação não possuem tempo de permanência nos portos de descarga. Isso ocorre pois a base de dados foi interrompida antes que essas embarcações deixassem o último porto.