

Marcos Alexandre Tavares dos Santos

**Seleção de opções de afretamento de navios para
exportação e importação de petróleo e derivados:
proposta de um modelo multicritério segundo o
novo paradigma do transporte marítimo
internacional**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Metrologia pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio.

Orientadora: Prof^a Maria Fatima Ludovico de Almeida

Rio de Janeiro,
maio de 2022

Marcos Alexandre Tavares dos Santos

**Seleção de opções de afretamento de navios
para exportação e importação de petróleo e
derivados: proposta de um modelo
multicritério segundo o novo paradigma do
transporte marítimo internacional**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof.^a Maria Fatima Ludovico de Almeida

Orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

Prof. Severino Fonseca da Silva Neto

Programa de Engenharia Oceânica

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Prof. Marcelo Maciel Monteiro

Departamento de Engenharia de Produção

Universidade Federal Fluminense – UFF

Prof. Rodrigo Flora Calili

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 04 de maio de 2022

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, do autor e da orientadora.

Marcos Alexandre Tavares dos Santos

Graduado em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1994). Atualmente é engenheiro master na Petrobras Transporte S.A. e mestrando do Programa de Pós-graduação em Metrologia da PUC-Rio.

Ficha Catalográfica

Santos, Marcos Alexandre Tavares dos

Seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados: proposta de um modelo multicritério segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional / Marcos Alexandre Tavares dos Santos ; orientadora: Maria Fatima Ludovico de Almeida. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Centro Técnico Científico, Programa de Pós-Graduação em Metrologia, 2022.

92f.: il. color. ; 30 cm

1. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Centro Técnico Científico, Programa de Pós-Graduação em Metrologia.

Inclui referências bibliográficas.

1. Metrologia – Teses. 2. Transporte marítimo. 3. Afretamento de navios. 4. Transformação digital. 5. Sustentabilidade. 6. Métodos multicritério de apoio à decisão. I. Almeida, Maria Fatima Ludovico de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Centro Técnico Científico. Programa de Pós-Graduação em Metrologia. III. Título.

CDD: 389.1

Agradecimentos

A todos que ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, direta ou indiretamente, meus profundos agradecimentos.

A minha orientadora Prof^a Maria Fatima Ludovico de Almeida, que com suas imprescindíveis orientações permitiram que esse trabalho fosse levado adiante. Seus ensinamentos foram além das orientações técnicas, sua experiência e profissionalismo foram essenciais. Agradeço também aos nossos encontros, um privilégio e honra dividir esses momentos.

À Coordenação do Programa de Mestrado em Metrologia pelo apoio institucional.

À Petrobras transporte S A - Transpetro, por estimular a qualificação de seus funcionários e pela oportunidade e incentivo em desenvolver esta pesquisa, focalizando um tema de interesse para a empresa.

Aos colegas de trabalho na Transpetro, agradeço sua disponibilidade e importantíssima contribuição no desenvolvimento do estudo empírico na empresa. Em especial, aos meus supervisores e gerentes que sempre me incentivaram.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Metrologia da PUC-Rio pelos ensinamentos durante todo o curso.

Às secretárias do Programa de Pós-graduação em Metrologia da PUC-Rio, pelo excelente apoio administrativo em todas as etapas do mestrado.

A minha família que sempre torceu por mim e sofreu junto. Em especial aos meus pais minha referência e apoio, minha esposa, filho e enteada por entender o momento de dedicação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Santos, Marcos Alexandre Tavares dos; Maria Fatima Ludovico de (Orientadora). **Seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados: proposta de um modelo multicritério segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional**. Rio de Janeiro, 2022. 92p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo desta dissertação é desenvolver e demonstrar a aplicabilidade de um modelo multicritério para a seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, segundo dois vetores de transformação do transporte marítimo internacional – *Shipping 4.0* e *Green Shipping*. A pesquisa pode ser considerada aplicada, descritiva e metodológica. Quanto aos meios de investigação, a metodologia compreende: (i) pesquisa bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa; (ii) caracterização das principais tecnologias digitais embarcadas e sistemas inteligentes que vêm sendo empregados na indústria naval, associando-as a requisitos funcionais e operacionais de navios inteligentes e sustentáveis; (iii) análise morfológica para concepção de configurações alternativas de navios inteligentes e sustentáveis; (iv) desenvolvimento de modelo multicritério para seleção de opções de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis no contexto de exportação e importação de petróleo e derivados; e (v) demonstração da aplicabilidade do modelo conceitual, mediante a realização de um estudo empírico em uma empresa de transporte marítimo, subsidiária da Petrobras – a Transpetro. Destaca-se como resultado principal um modelo multicritério inovador para seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, que emprega análise morfológica para a geração das configurações alternativas de navios inteligentes e sustentáveis e um método multicritério de apoio à decisão para a seleção propriamente dita das alternativas de afretamento, segundo uma visão conjunta dos dois vetores de transformação do transporte marítimo internacional. O estudo empírico desenvolvido da Transpetro permitiu demonstrar a aplicabilidade do modelo em um contexto organizacional real e evidenciar seu potencial de replicação em outras empresas de transporte marítimo no Brasil e no mundo que desejam operar com novos modelos de negócio, segundo o novo paradigma de transporte marítimo internacional.

Palavras-chave

Metrologia; transporte marítimo; afretamento de navios; transformação digital; sustentabilidade; métodos multicritério de apoio à decisão.

Abstract

Santos, Marcos Alexandre Tavares dos; Maria Fatima Ludovico de (Advisor). **Selection of Shipping Freight Options for Export and Import of Crude Oil and Derivatives: Proposal of a Multicriteria Model within the New Paradigm of International Maritime Transport.** Rio de Janeiro, 2022. 92p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation aims to develop and demonstrate the applicability of a multicriteria model for the selection of shipping freight options for export and import of crude oil and derivatives, aligned to the new paradigm of international maritime transport driven by two vectors of transformation - Shipping 4.0 and Green Shipping. The research can be considered applied, descriptive and methodological. The methodology comprised: (i) bibliographic and documental analysis on the central themes of the research; (ii) characterization of the key enabling digital technologies that have been used in the shipping industry, associating them with the functional and operational requirements of intelligent and sustainable ships; (iii) morphological analysis to design alternative configurations of shipping freight options for exporting and importing of oil and derivatives; (iv) development of a multicriteria model for the selection of shipping freight options for exporting and importing oil and derivatives, according to the new paradigm of international maritime transport; and (v) empirical study carried out in a maritime transport company, a subsidiary of Petrobras – Transpetro. The main result of this research is an innovative multicriteria model for the selection of shipping freight options for exporting and importing oil and derivatives, which integrates morphological analysis with a multicriteria approach for selecting shipping freight options, aligned to a joint vision of shipping 4.0 and green shipping. Furthermore, the empirical study developed at Transpetro made it possible to demonstrate the applicability of the model in a corporate context and to highlight its potential for replication in other maritime transport companies in Brazil and in the world, which wish to operate according to new business models in the new paradigm of international maritime transport.

Keywords

Metrology; maritime transport; shipping freight; digital transformation; sustainability; multicriteria decision-making methods.

Sumário

1. Introdução.....	13
1.1 Definição do problema de pesquisa.....	18
1.2 Objetivos: geral e específicos.....	18
1.3 Metodologia.....	19
1.3.1 Fase exploratória e descritiva.....	20
1.3.2 Fase de pesquisa aplicada.....	22
1.3.3 Fase conclusivo-propositiva.....	23
1.4 Estrutura da dissertação.....	23
 2. Transformação digital e sustentabilidade no transporte marítimo.....	 24
2.1 Vetores de transformação digital e sustentabilidade: <i>Shipping 4.0 e Green Shipping</i>	24
2.2 Referencial normativo e regulatório aplicável ao transporte marítimo.....	27
2.3 Tecnologias digitais habilitadoras e aplicação no transporte marítimo.....	30
2.4 Estudos sobre transformação digital e sustentabilidade no transporte marítimo.....	32
2.5 Considerações finais sobre o capítulo.....	36
 3. Modelo conceitual para seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados.....	 37
3.1 Escolha dos métodos que integram o modelo: análise morfológica e método ANP.....	37
3.2 Visão geral do modelo conceitual.....	38
3.3 Visão detalhada do modelo conceitual: quatro fases.....	40
3.3.1 Fase 1 – Geração de configurações alternativas de opções de afretamento de navios: uso da análise morfológica.....	40
3.3.2 Fase 2 – Formulação do problema de decisão e construção da estrutura analítica em rede: uso do método ANP.....	44
3.3.3 Fase 3 – Definição dos pesos dos critérios e seleção das alternativas de afretamento de navios: uso do método ANP.....	45
3.3.4 Fase 4 – Análise de sensibilidade do modelo.....	47
3.4 Considerações finais sobre o capítulo.....	47
 4. Demonstração da aplicabilidade do modelo conceitual: estudo empírico uma empresa de transporte marítimo.....	 49
4.1 Proposição do estudo empírico e definição das questões norteadoras.....	49
4.2 Caracterização da unidade de análise e seu contexto organizacional.....	50
4.2.1 Unidade de análise.....	50
4.2.2 Contexto organizacional.....	50
4.3 Aplicação do modelo conceitual em uma empresa de transporte marítimo de óleo e derivados, gás natural e biocombustíveis.....	51
4.3.1 Coleta e formatação dos dados.....	52
4.3.2 Resultados da Fase 1: Configurações alternativas de afretamento de navios com uso da análise morfológica.....	53
4.3.3 Resultados da Fase 2: Problema de decisão e estrutura analítica em rede com uso do método ANP.....	72
4.3.4 Resultados da Fase 3: Seleção das alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis com uso do método ANP.....	73
4.3.5 Resultados da Fase 4: Análise de sensibilidade do modelo.....	79

4.4 Discussão dos resultados e conclusões do estudo empírico.....	79
5. Conclusões.....	81
6. Referências bibliográficas.....	83
Anexo 1 - Descrição do método <i>Analytic Network Process</i> (ANP).....	86

Siglas

AIS	<i>Automatic Identification System</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
CAS	<i>Collision Avoidance System</i>
C-ES	<i>Cyber Enable Ship.</i>
ECDIS	<i>Electronic Chart Display and Information System</i>
ERA	<i>Evidential reasoning approach</i>
GMDSS	<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>
IFS	<i>Intuitionistic fuzzy set</i>
IMO	International Maritime Organization
IOT	<i>Internet of Things</i>
ISM Code	International Safety Management Code
ISPS Code	International Ship and Port Facility Security Code
LRIT	<i>Long Range Identification & Tracking</i>
MCDM	<i>Multicriteria decision-making methods</i>
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
Petrobras	Petróleo Brasileiro S.A.
PMS	<i>Power Management System</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
Transpetro	Petrobras Transporte S.A.
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
VDR	<i>Voyage Data Recorder</i>

Lista de figuras

Figura 1.1 –	Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos.....	21
Figura 3.1 –	Fluxograma do modelo conceitual para seleção de alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis.....	39
Figura 3.2 –	Matriz morfológica multidimensional para geração de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados.....	43
Figura 3.3 –	Ilustração didática da geração de uma alternativa de afretamento de navio para exportação e importação de petróleo e derivados.....	44
Figura 3.4 –	Estrutura analítica em rede para seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados.....	45
Figura 4.1 –	Estrutura analítica em rede para seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados.....	73

Lista de quadros

Quadro 2.1 –	<i>Shipping 4.0</i> e principais tecnologias digitais habilitadoras.....	31
Quadro 2.2 –	Estudos sobre transformação digital e sustentabilidade no setor de transporte marítimo.....	34
Quadro 3.1 –	Requisitos funcionais e operacionais de navios para afretamento.....	41
Quadro 3.2 –	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo.....	42
Quadro 3.3 –	Escala de nove pontos de Saaty para comparações pareadas	46
Quadro 4.1 –	Matriz morfológica multidimensional para geração de configurações alternativas de afretamento de navios.....	54
Quadro 4.2 –	Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA1.....	57
Quadro 4.3 –	Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA2.....	60
Quadro 4.4 –	Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA3.....	63
Quadro 4.5 –	Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA4.....	66
Quadro 4.6 –	Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA5.....	69
Quadro 4.7 –	Estrutura analítica para seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados.....	72

Lista de tabelas

Tabela 4.1 –	Matriz de controle hierárquico: relações de dependência entre os elementos da camada de controle.....	73
Tabela 4.2 –	Matriz de dominância interfatorial: relações de dependência entre os elementos da camada em rede.....	74
Tabela 4.3 –	Supermatriz original.....	76
Tabela 4.4 –	Supermatriz ponderada	77
Tabela 4.5 –	Supermatriz limite.....	78

1

Introdução

Cerca de 80% de todas as mercadorias que circulam no mundo são transportadas por meio de transporte marítimo, por ser este o meio mais eficiente para o transporte de grandes volumes. Conforme a edição 2021 do relatório intitulado “*Review of Maritime Transport*” e publicado pela Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD), a frota marítima no mundo era composta por 98.140 embarcações comerciais no início do ano de 2022, com peso bruto de 100 toneladas ou mais, e com capacidade de transportar 2.134.639 toneladas. No ano de 2021, essa frota cresceu 3,04% em relação ao ano anterior. A frota para o transporte de gás foi a que mais cresceu, seguida da frota de navios petroleiros, dos graneleiros e de contêineres (UNCTAD, 2021).

A análise da UNCTAD aponta que a pandemia da COVID-19 ressaltou a interdependência das nações e tendências que mudarão a prática atual do transporte marítimo. Impactos no longo prazo ocorrerão em decorrência das mudanças previstas nas cadeias de suprimento e de novos padrões de consumo. O estudo destaca ainda um aumento significativo do uso de documentação em formato eletrônico no comércio marítimo, demonstrando esforços para acelerar o uso de novas tecnologias digitais. De fato, os atores do setor de transporte marítimo estão cada vez mais adotando soluções tecnológicas inovadoras, alinhando-se à chamada transformação digital ou indústria 4.0 (I4.0) e mudando seus modelos de negócios e parcerias. As adoções das novas tecnologias visam promover o comércio eficiente e seguro, por oferecer maior visibilidade da cadeia de suprimento e o uso de documentos eletrônicos, além de menores custos de transação e preços ao consumidor, para citar alguns dos inúmeros benefícios decorrentes da transformação digital na indústria de navegação.

Ainda de acordo com os três últimos relatórios publicados anualmente pela UNCTAD (2021; 2020; 2019), requisitos ambientais mais rigorosos continuam a moldar o setor de transporte marítimo. Emissões de gases de efeito estufa do

transporte marítimo internacional continuam a ocupar um lugar de destaque na agenda de política internacional. Destaca-se a atuação da International Maritime Organization (IMO) em sua estratégia inicial de redução das emissões de gases de efeito estufa dos navios. Isso inclui medidas de eficiência energética do navio, uso de combustíveis alternativos e o desenvolvimento de planos de ação nacionais para reduzir as emissões do transporte marítimo em nível internacional.

O aumento no tamanho dos navios, combinado com vários ganhos de eficiência e reciclagem de embarcações menos eficientes, restringiram o crescimento das emissões de dióxido de carbono, apesar do crescimento da tonelagem total da frota. Alguns ganhos adicionais podem ser razoavelmente esperados na próxima década, como eco designs modernos substituindo os navios antigos e menos eficientes. No entanto, essas melhorias marginais não serão suficientes para reduzir significativamente as emissões de dióxido de carbono, conforme a meta estabelecida pela IMO de reduzir as emissões anuais totais de gases de efeito estufa em pelo menos 50 por cento até 2050 em comparação com os níveis de emissões de 2008 (UNCTAD, 2021).

Nesse contexto, a área de transporte marítimo precisa se adequar ao novo paradigma, alinhando-se a dois principais vetores – a transformação digital (*Shipping 4.0*) e o transporte marítimo sustentável (*Green Shipping*).

O conceito de *Shipping 4.0* refere-se a um amplo ecossistema e abrange uma gama inteira de tecnologias e aplicações. Nesse contexto, duas importantes questões surgem sobre qual é o nível atual do avanço tecnológico no transporte marítimo e como as novas tecnologias e metodologias devem ser desenvolvidas para garantir uma transição rápida para o *Shipping 4.0* (Aiello et al., 2020).

Por outro lado, a tendência crescente de descarbonização no setor marítimo exerce cada vez mais importância nas agendas nacional e internacional, em particular no contexto da Agenda 2030 e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Organização das Nações Unidas (ONU).

Segundo o relatório de 2020 da UNCTAD, a dinâmica dos esforços atuais para lidar com as emissões de carbono do transporte marítimo e a atual transição energética dos combustíveis fósseis deve ser mantida nos próximos anos (UNCTAD, 2020).

Ressalta-se que a regulamentação das emissões de gases de efeito de estufa vem sendo alvo de um monitoramento cada vez mais intenso e nesse contexto a

UNCTAD menciona que o setor do transporte marítimo encaminha-se para uma total supervisão detalhada dos consumos dos navios, posteriormente agregada em blocos de informação. Esses blocos de informação permitirão que a IMO analise e compreenda o estado atual dos consumos e dos índices de poluição, considerado um passo essencial para a implementação de uma estratégia de sustentabilidade energética sustentada pelo vetor de transformação cunhado como *Green Shipping*.

O debate em torno das questões tecnológicas associadas aos dois vetores de transformação – *Shipping 4.0* e *Green Shipping* – tem desencadeado uma série de questões que devem ser exploradas em relação ao emprego de soluções tecnológicas digitais que possam efetivamente contribuir para o aumento de práticas sustentáveis (sociais, ambientais e econômicas) no transporte marítimo.

A adoção dessas práticas irá requerer um esforço contínuo das empresas de transporte marítimo em modernizar sua infraestrutura, buscando aumento da eficiência e segurança operacional, uso de combustíveis alternativos e eficiência energética, buscando reduzir as emissões de gases efeito estufa para atendimento da meta da IMO para 2050. Nesse sentido, as novas tecnologias digitais apresentam um grande potencial no desenvolvimento de práticas que podem atuar diretamente nas questões ambientais. O cuidado com o meio ambiente no transporte marítimo tem impulsionado o surgimento de diversas iniciativas de *Green Shipping*, sendo um exemplo típico a implementação do MarpolAnnex VI (Marpol, abreviação para *Marine Pollution*, em inglês), elaborado pela IMO (Ren et al., 2018).

Assim, as empresas de transporte marítimo devem realinhar seus modelos de negócio, estratégias e práticas aos dois vetores de transformação mencionados, na perspectiva de oferecer processos mais eficientes e sustentáveis de afretamento. Cabe ao afretador, fazendo uso de métodos multicritério de apoio à decisão (MCDM) e definindo critérios de decisão que incluam as três dimensões de sustentabilidade (econômica, social e ambiental), selecionar dentre as diversas alternativas de afretamento a melhor opção segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional.

Na revisão da literatura e análise documental cobrindo o período 2010-2021 sobre o tema central da pesquisa – seleção de alternativas de afretamento de navios segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional – identificaram-se apenas dois trabalhos que consideram

conjuntamente os dois vetores de transformação do transporte marítimo – *Shipping 4.0* e *Green Shipping* em suas abordagens metodológicas e análises (Ramirez-Peña et al., 2020a; Ramirez-Peña et al., 2020b).

Outra lacuna observada nesta revisão refere-se à inexistência de trabalhos que empregaram análise morfológica (Zwicky, 1969; Álvarez e Ritchey, 2015; Arciszewski, 2018) para conceber configurações alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis. Embora o uso de métodos multicritério tenha sido identificado em alguns trabalhos relacionados ao *Green Shipping* (p.ex., Ren et al., 2018), nenhum deles empregou métodos multicritério para a seleção de opções de afretamento, baseando-se numa abordagem conjunta dos dois vetores de transformação do transporte marítimo – *Shipping 4.0* e *Green Shipping*.

Fruth e Teuteberg (2017) forneceram uma visão geral do estado-da-arte da digitalização na logística marítima, discutindo as áreas problemáticas existentes e mostrando o potencial para melhoria. Os resultados desse trabalho mostraram que é essencial capturar o potencial de desenvolvimento para poder usufruir dos inúmeros benefícios da transformação digital no transporte marítimo. No entanto, segundo os autores, faltam trabalhos teóricos e empíricos, bem como abordagens metodológicas que fundamentam recomendações adequadas de medidas para a reestruturação do setor.

Focalizando o vetor de transformação *Green Shipping*, Ren et al. (2018) buscaram identificar os principais fatores de sucesso para que o setor de transporte marítimo se torne mais sustentável. Com base na priorização desses fatores, propuseram algumas medidas estratégicas para aumentar a sustentabilidade das operações de transporte marítimo. Para tal, definiram inicialmente critérios de avaliação nas dimensões econômica, social, ambiental e operacional e adotaram o método *Analytic Network Process* (ANP) para priorizar os fatores de sucesso em termos de sua importância relativa na perspectiva do vetor *Green Shipping*.

Na mesma linha deste primeiro estudo, Munin et al. (2020) conduziram um estudo bibliométrico de 279 trabalhos indexados na Web of Science sobre aplicações de big data e inteligência artificial (IA) no setor marítimo, com emprego do software Bibliometrix. Baseando-se na análise de citações, os autores revelaram os trabalhos, periódicos, autores e instituições mais importantes neste campo. Também identificaram quatro agrupamentos temáticos neste campo: (i) transformação digital no setor marítimo; (ii) aplicações de big data e IA; (iii) eficiência energética; e (iv) análise preditiva. O mapeamento dos estudos em torno

desses quatro temas permitiu que os autores formulassem novas questões de pesquisa relacionados à questão central da sua pesquisa.

Ramirez-Peña et al. (2020a), focalizando o setor de construção naval, analisaram cada um dos nove pilares da Indústria 4.0 para obter uma visão geral do estado-da-arte da adoção dessas tecnologias no referido setor e identificar as principais questões levantadas pela comunidade científica sobre essa temática. A partir dessa visão, os autores propuseram novas pesquisas sobre a adoção de tecnologias digitais habilitadoras nesse setor (vetor *Shipping 4.0*), na perspectiva da sustentabilidade (vetor *Green Shipping*).

Em um segundo trabalho, Ramirez-Peña et al. (2020b) propuseram um modelo para a cadeia de suprimentos da construção naval, contemplando todos os fatores-chave de desempenho associados à Indústria 4.0, bem como as tecnologias digitais habilitadores que permitem alcançá-lo. Ao identificar os fatores-chave no modelo conceitual, os autores concluíram que a cadeia de suprimentos da construção naval pode ser verde e enxuta se níveis superiores de desempenho associados à I4.0 forem alcançados.

Aiello et al. (2020) utilizaram um modelo de prontidão tecnológica para a I4.0, que foi desenvolvido pela IMPULS Foundation of the German Engineering Federation (2020). Esse modelo permite medir o nível de prontidão tecnológica de empresas dos mais diversos setores da economia, com base em requisitos-alvo predefinidos em seis níveis. Ao adotarem esse modelo para o setor de transporte marítimo, Aiello et al. identificaram uma lacuna significativa entre o estado-da-arte da digitalização na indústria em geral e as práticas adotadas nesse setor, tanto do ponto de vista tecnológico, quanto organizacional. Em particular, embora no transporte marítimo mais e mais informações são coletadas e armazenadas como dados, o envolvimento nos processos de tomada de decisão ainda é muito limitado. Segundo essa visão, os autores concluíram que a trajetória das empresas de transporte marítimo rumo à digitalização ainda está no início, sendo o nível de implementação atual, caracterizado por práticas operacionais desiguais, fragmentadas e desatualizadas.

Face ao exposto, considera-se oportuno o desenvolvimento de um modelo multicritério para a seleção de alternativas de afretamento de navios, que considere os dois vetores de transformação no novo paradigma do transporte marítimo internacional.

Essa dissertação pesquisa insere-se na linha de pesquisa “Gestão Estratégica da Inovação e Sustentabilidade” do Programa de Pós-graduação em

Metrologia (PósMQI) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

1.1.

Definição do problema de pesquisa

Considerando o cenário descrito na contextualização e a oportunidade de se demonstrar a aplicabilidade do modelo multicritério para a seleção de opções de afretamento de navios em uma empresa de transporte marítimo de petróleo e derivados no Brasil, definiram-se as seguintes questões norteadoras a serem respondidas ao longo da pesquisa:

- Como selecionar alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional?
- Em que medida o emprego de uma abordagem metodológica que integre análise morfológica (Zwicky, 1969; Álvarez e Ritchey, 2015; Arciszewski, 2018) e o método ANP (Saaty e Takizawa, 1986; Saaty, 1996) pode contribuir para a eficiência e eficácia do processo de seleção de alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis para exportação e importação de petróleo e derivados?

1.2.

Objetivos: geral e específicos

Buscando-se responder as questões norteadoras acima enunciadas, o objetivo geral da dissertação é propor e demonstrar a aplicabilidade de um modelo multicritério em rede para a seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional.

A fim de alcançar esse objetivo, os seguintes objetivos específicos foram formulados:

- Conceituar e discutir as interrelações entre os vetores de transformação no novo paradigma do transporte marítimo internacional e a importância da adoção de tecnologias digitais que contribuam para a sustentabilidade do transporte marítimo (econômica, social e ambiental);
- Levantar as principais tecnologias digitais embarcadas e os sistemas inteligentes que vêm sendo empregados na indústria naval, associando-as aos requisitos funcionais e operacionais de navios inteligentes em geral;

- Desenvolver um modelo conceitual multicritério em rede para a seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional;
- Demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto, mediante o desenvolvimento de um estudo empírico em uma empresa de transporte marítimo, subsidiária da Petrobras – a Transpetro;
- Explicitar os diferenciais metodológicos do modelo proposto em relação a processos de seleção de afretamento de navios inteligentes ao empregar análise morfológica para a concepção de configurações alternativas de navios inteligentes e sustentáveis e o método ANP para a seleção propriamente dita com base em critérios pré-definidos na fase de modelagem.

1.3. Metodologia

Conforme a taxonomia proposta por Vergara (2006), a pesquisa pode ser considerada descritiva, metodológica e aplicada (quanto aos fins).

A pesquisa é descritiva por que trata de um fenômeno claro e bem definido (o problema da seleção entre opções de afretamento de navios inteligentes para o transporte de petróleo e derivados, tomando-se como ponto de partida configurações alternativas geradas com emprego de análise morfológica e considerando-se requisitos funcionais e operacionais aplicáveis à questão de afretamento de navios).

A pesquisa também pode ser classificada metodológica, uma vez que seu objetivo principal é propor um modelo alternativo ao modelo atualmente utilizado que se baseia unicamente em critérios técnicos, sem considerar em conjunto os atributos dos dois vetores – *Shipping 4.0* e *Green Shipping*.

Por fim, a pesquisa também pode ser classificada como aplicada, uma vez que procura solucionar um problema concreto de como estabelecer metas e critérios para a seleção de afretamento de navios segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional.

Quanto aos meios de investigação, a metodologia adota os seguintes métodos:

- Pesquisa bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa, como indicado na fase exploratória e descritiva da figura 1.1;

- Análise de conteúdo de trabalhos selecionados para caracterização das principais tecnologias digitais habilitadoras que vêm sendo empregadas na indústria naval, associando-as aos requisitos funcionais e operacionais de navios inteligentes e sustentáveis;
- Análise morfológica para concepção de configurações alternativas de navios inteligentes e sustentáveis;
- Emprego do método *Analytic Network Process* (ANP) para a seleção das alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional;
- Desenvolvimento de estudo empírico na Transpetro segundo o protocolo proposto por Yin (2013; 2015), visando demonstrar a aplicabilidade do modelo e futura replicação em outros contextos.

A figura 1.1 apresenta o desenho da pesquisa, destacando seus componentes e métodos, de acordo com três fases principais: (i) exploratória e descritiva; (ii) pesquisa aplicada; e (iii) conclusiva.

Detalham-se, nos itens seguintes desta seção, o desenvolvimento e os resultados esperados em cada uma das três fases da pesquisa, conforme a figura 1.1.

1.3.1. Fase exploratória e descritiva

Inicia-se esta fase com uma revisão da literatura e análise documental, cobrindo o período 2010-2021, sobre o sobre o tema central da pesquisa – seleção de opções de afretamento de navios segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional. Não obstante a identificação de trabalhos relevantes sobre emprego de tecnologias associadas à I4.0 na construção naval e no transporte marítimo (por exemplo, Aiello et al., 2020; Ramirez-Peña et al., 2020a; Ramirez-Peña et al., 2020b; Munim et al., 2020; Kavallieratos et al., 2020; Mishra, 2019; Sanchez-Gonzalez et al., 2019; Fruth e Teuteberg, 2017), bem como estudos sobre a tendência crescente de sustentabilidade no setor marítimo (p.ex., Ren et al., 2018; Ogbonnaya et al., 2017), poucos são os trabalhos que consideram conjuntamente os dois vetores de transformação do transporte marítimo – *Shipping 4.0* e *Green Shipping* em suas abordagens metodológicas e análises, destacando-se os estudos de Ramirez-Peña et al., 2020a; Ramirez-Peña et al., 2020b.



Figura 1.1 – Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos

Fonte: Elaboração própria.

Outra lacuna refere-se à inexistência de trabalhos que empregaram análise morfológica (Zwicky, 1969; Álvarez e Ritchey, 2015; Arciszewski, 2018) para conceber configurações alternativas de opções de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis. Embora o uso de métodos multicritério tenha sido identificado em alguns trabalhos relacionados ao *Green Shipping* (p.ex., Ren et al., 2018), nenhum deles empregou métodos multicritério para a seleção de opções de afretamento baseando-se numa abordagem conjunta dos dois vetores de transformação do transporte marítimo – *Shipping 4.0* e *Green Shipping*.

Os resultados da revisão bibliográfica e documental nortearam a delimitação da pesquisa e permitiram definir a estrutura analítica para a fase de modelagem e selecionar o método de apoio à decisão mais adequado para integrar o modelo conceitual.

Ainda nesta fase, elaborou-se um instrumento de pesquisa baseado no método ANP para a coleta de dados na fase aplicada. Realizou-se um pré-teste deste instrumento com mestrandos do Programa de Pós-graduação em Metrologia (PósMQI) da PUC-Rio no segundo semestre de 2020, cuja versão final foi aplicada com sucesso junto a especialistas no estudo empírico na Transpetro.

Assim, foi possível desenvolver um modelo conceitual para a geração e seleção de alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis para exportação e importação de petróleo e derivados, que possa ser adotado por empresas de transporte marítimo. Para tal, adotou-se uma abordagem metodológica que integrou análise morfológica para a geração de configurações alternativas de navios inteligentes e sustentáveis (alinhadas aos vetores *Shipping 4.0* e *Green Shipping*) e o método ANP para a seleção das opções de afretamento segundo critérios que consideram esses dois vetores.

1.3.2.

Fase de pesquisa aplicada

A fase aplicada refere-se ao desenvolvimento de um estudo empírico no âmbito da Transpetro, subsidiária da Petrobras, visando demonstrar a aplicabilidade do modelo de geração e seleção de opções de afretamento de navios inteligentes, proposto na fase anterior.

A abordagem metodológica nesta fase seguiu o protocolo definido por Yin (2013; 2015). Em resumo, na fase de pesquisa aplicada, foram realizadas as

seguintes etapas: (i) planejamento do estudo empírico na Transpetro, definindo-se sua questão principal (geração e seleção de opções de afretamento para exportação e importação de petróleo e derivados) e proposições do estudo (questões a serem respondidas na fase aplicada); caracterizando-se o contexto organizacional e definindo a unidade de análise; (ii) coleta de dados, de forma participativa com especialistas; (iv) tratamento e análise dos dados coletados; (v) discussão dos resultados da seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados; e (vi) conclusões do estudo empírico, com recomendações para a empresa.

1.3.3. Fase conclusivo-propositiva

Nesta última fase, formularam-se as conclusões da pesquisa e um conjunto de recomendações à Transpetro, bem como aos interessados na aplicação de um novo modelo multicritério para seleção de opções de afretamento de navios inteligentes, desenvolvido segundo uma abordagem metodológica que considera ambos os vetores de transformação segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional. Encaminharam-se nesta fase propostas de estudos acadêmicos futuros, como desdobramentos naturais da presente pesquisa.

1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, iniciando-se por esta introdução.

No capítulo 2, apresentam-se, inicialmente, os conceitos básicos de *Shipping 4.0* e *Green Shipping*, considerados os vetores de transformação no novo paradigma do transporte marítimo internacional. Na sequência, discutem-se questões que vêm sendo objeto de debate sobre a importância da adoção de tecnologias digitais habilitadoras pelas empresas do setor que contribuam para a sustentabilidade do transporte marítimo. Complementando-se essa visão geral sobre transformação digital e sustentabilidade alinhada ao novo paradigma do transporte marítimo internacional, apresenta-se o contexto normativo e regulatório das operações de transporte marítimo, para em seguida caracterizar as principais tecnologias digitais habilitadoras que vêm sendo empregadas na indústria naval,

associando-as aos requisitos funcionais e operacionais de navios inteligentes e sustentáveis. Ao final, a partir de uma análise comparativa de trabalhos científicos referentes ao emprego de tecnologias digitais habilitadoras (TDHs) na construção de navios e no transporte marítimo, evidenciam-se as lacunas na literatura, traduzidas nas questões norteadoras da presente pesquisa.

O capítulo 3 apresenta o modelo conceitual para seleção de opções de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis para exportação e importação de petróleo e derivados, segundo o novo paradigma de transporte marítimo internacional, com incorporação da ferramenta de análise morfológica (Zwicky, 1969; Álvarez e Ritchey, 2015; Arciszewski, 2018) na fase inicial da modelagem e do método ANP (Saaty e Takizawa, 1986; Saaty, 1996) na fase de seleção propriamente dita. O modelo compreende quatro fases, a saber: (i) geração de configurações alternativas de opções de afretamento de navios, com emprego de análise morfológica; (ii) estruturação do problema de decisão e construção da estrutura analítica em rede, de acordo com o método multicritério *Analytic Network Process* (ANP); (iii) definição dos pesos dos critérios e seleção das opções de afretamento de navios, com uso do método ANP e com suporte do *software* SuperDecisions®; e (iv) análise de sensibilidade do modelo.

O capítulo 4 inicia com as proposições do estudo empírico e a definição das questões norteadoras para seu desenvolvimento, conforme protocolo proposto por Yin (2013; 2015). Na sequência, delimita e caracteriza a unidade de análise e o contexto organizacional da Transpetro, empresa selecionada para fins deste estudo. Em seguida, apresenta e discute os resultados da aplicação do modelo conceitual para seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados.

O capítulo 5 sintetiza as conclusões da pesquisa em resposta às questões norteadoras apresentadas no início deste capítulo e propõe estudos acadêmicos futuros, vistos como desdobramentos naturais desta dissertação e aprofundamentos de questões a serem investigadas a partir dos resultados reportados nos capítulos 3 e 4, respectivamente.

2

Transformação digital e sustentabilidade no transporte marítimo

Apresentam-se, inicialmente, os conceitos básicos de *Shipping 4.0* e *Green Shipping*, considerados os vetores de transformação no novo paradigma do transporte marítimo internacional. Na sequência, discutem-se questões que vêm sendo objeto de debate sobre a importância da adoção de tecnologias digitais habilitadoras pelas empresas do setor que contribuam para a sustentabilidade do transporte marítimo. Complementando-se essa visão geral sobre transformação digital e sustentabilidade alinhada ao novo paradigma do transporte marítimo internacional, apresenta-se o contexto normativo e regulatório das operações de transporte marítimo, para em seguida caracterizar as principais tecnologias digitais habilitadoras que vêm sendo empregadas na indústria naval, associando-as aos requisitos funcionais e operacionais de navios inteligentes e sustentáveis. Ao final, a partir de uma análise comparativa de estudos referentes aos temas centrais da pesquisa – seleção de opções de afretamento de navios, considerando-se os vetores do novo paradigma do transporte marítimo internacional, evidenciam-se as lacunas na literatura, como será discutido ao final deste capítulo.

2.1.

Vetores de transformação digital e sustentabilidade: *Shipping 4.0* e *Green Shipping*

O transporte marítimo é uma atividade muito regulamentada, uma vez que as embarcações transitarem por diversos locais no mundo devem obedecer a legislações internacionais, nacionais e regionais dos seus locais de operação.

As principais legislações aplicáveis às embarcações requerem que as mesmas sejam certificadas para que as autoridades tenham uma garantia de que as operações destas embarcações sejam realizadas com máxima segurança e proteção ao meio ambiente.

Isto se dá desde o projeto da embarcação, no qual é requerida a classificação por uma sociedade classificadora, na sua construção, quando são utilizados

materiais e equipamentos certificados, na entrega, ocasião em que é testado o desempenho da embarcação e de seus equipamentos, bem como durante a operação, quando são feitas vistorias periódicas, através de endosso de certificados até o descomissionamento (desmanche).

Por toda a vida do navio ele deve ser acompanhado, tendo que cumprir normas, regulamentos, procedimentos, certificações e outros atos legais para assegurar aos atores envolvidos no negócio sua completa e total adequação as condições a ele impostas pelas autoridades do transporte marítimo.

Como abordado na introdução, os atores do setor de transporte marítimo estão cada vez mais adotando soluções tecnológicas inovadoras, alinhando-se à chamada transformação digital ou indústria 4.0 (I4.0) e mudando seus modelos de negócios e parcerias. Outra tendência é a descarbonização no setor marítimo. De acordo com o relatório de 2020 da UNCTAD, a dinâmica dos esforços atuais para lidar com as emissões de carbono do transporte marítimo e a atual transição energética dos combustíveis fósseis deve ser mantida nos próximos anos (UNCTAD, 2020).

Assim, o emprego de soluções tecnológicas digitais que possam efetivamente contribuir para o aumento de práticas sustentáveis no transporte marítimo alinha-se diretamente aos dois vetores de transformação – *Shipping 4.0* e *Green Shipping*.

2.1.1. ***Shipping 4.0***

O conceito de *Shipping 4.0* refere-se a um amplo ecossistema e abrange uma gama inteira de tecnologias e aplicações. Aiello et al. (2020) discutem duas importantes questões sobre qual é o nível atual do avanço tecnológico no transporte marítimo e como as novas tecnologias e metodologias devem ser desenvolvidas para garantir uma transição rápida para o *Shipping 4.0*. Abordam ainda a redefinição do processo logístico rumo à reestruturação da cadeia de abastecimento em função dos comportamentos dos consumidores, à luz das evoluções registradas com emprego de Big Data, inteligência artificial, interatividade global e desmaterialização.

2.1.2. Green Shipping

Navios que são construídos e equipados de forma a atenderem aos critérios de sustentabilidade exigidos pelas convenções e protocolos atuais. Refere-se ao uso de recursos e energia para transportar pessoas e mercadorias por navio e, especificamente, diz respeito à redução desses recursos e energia para preservar o meio ambiente global dos gases de efeito estufa e dos poluentes ambientais gerados pelos navios. Do ponto de vista operacional, o *greenship* deve cumprir as condições ambientais de operação regulamentadas pela IMO. Essas condições são descritas por convenções como MARPOL 73/78, a Convenção sobre Preparação, Resposta e Cooperação para Poluição por Óleo sobre Substâncias Perigosas e Nocivas (OPRC-HNS), a Convenção de Sistemas Antiincrustantes (AFS), a Água de Lastro Convenção de Gestão (BWM) e Convenção de Reciclagem de Navios. Eles também são discutidos nos estudos de Gases de Efeito Estufa da IMO. O objetivo geral é gerenciar e monitorar todas as substâncias nocivas (poluentes marinhos e poluentes do ar) emitidas pelos navios.

2.2. Referencial normativo e regulatório aplicável ao transporte marítimo

Nesta seção, apresenta-se o contexto normativo e regulatório das operações de transporte marítimo, para em seguida caracterizar as principais tecnologias digitais habilitadoras que vêm sendo empregadas na indústria naval, associando-as aos requisitos funcionais e operacionais de navios inteligentes e sustentáveis.

2.2.1. International Maritime Organization - IMO

A International Maritime Organization (IMO) é uma agência da ONU criada para regulamentar o transporte marítimo, tendo maior ênfase na parte de segurança da navegação e na prevenção ao meio ambiente. As medidas desenvolvidas pela IMO estão dispostas em tratados internacionais conhecidos como convenções, como descritas a seguir:

- ILO – Convenção da IMO que dispõe sobre as condições de trabalho do marítimo.
- STCW – Convenção da IMO que trata da formação treinamento e trabalho dos marítimos a bordo dos navios.

- MARPOL – Convenção da IMO, é a principal convenção internacional já criada dedicada à prevenção da poluição do meio marinho por navios considerando cenários operacionais de rotina ou acidentais. Nesse sentido, ela detém o propósito de instituir regras a fim de eliminar a poluição intencional do meio ambiente marinho por óleo e por outras substâncias danosas, bem como minimizar a descarga acidental daquelas substâncias para a prevenção a poluição no mar.

2.2.2.

International Standard Guide Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)

Trata-se de um guia operacional da Oil International Maritime Forum (OCIMF), que recomenda o gerenciamento e procedimentos operacionais seguros aos navios e terminais durante as operações.

2.2.3.

Oil International Maritime Forum (OCIMF)

Fórum marítimo internacional composto por companhias petrolíferas. É uma associação voluntária de companhias petrolíferas com interesse no gerenciamento e procedimentos operacionais seguros aos navios e terminais durante as operações.

2.2.4.

Sociedades Classificadoras

Entidades técnicas de nível internacional, independentes, sem vínculos com armadores, operadores ou governo. Desenvolvem e emitem regras próprias específicas sobre construção e operação de navios. Elas certificam os navios através de inspeções periódicas que verificam o cumprimento dos regulamentos e atestam que o navio está em condições seguras de navegação. Seus regulamentos são atualizados frequentemente.

2.2.5.

International Association of Classification Societies (IACS)

É a associação das sociedades classificadoras, emite interpretações e recomendações aos seus membros. A IACS estabelece um fórum permanente em que as sociedades membros podem discutir, pesquisar e adotar critérios técnicos para reforçar a segurança marítima.

2.2.6. Port State Control

Inspeção de navios estrangeiros realizadas pela autoridade marítima local, a fim de verificar a conformidade destes com as normas e regulamentos adotados pelas autoridades locais para realização de uma operação segura dos navios. E em caso contrário tomar medidas contra navios que não estão em conformidade.

2.2.7. Certificados Estatutários

São os certificados previstos pelas convenções internacionais emitidos pelos países membros da IMO. Podem ser emitidos pelas Sociedades Classificadoras se as administrações dos países autorizarem. Segundo a NORMAM 06, norma emitida pela Marinha brasileira, o Certificado deve ser emitido para atestar a conformidade da embarcação com as regras específicas constantes das Convenções e Códigos Internacionais ou Normas da Autoridade Marítima Brasileira. São alguns desses certificados estatutários:

- Segurança de construção – assegura a qualidade da construção do navio;
- Segurança de equipamento – assegura que os equipamentos alocados a bordo das embarcações estejam dentro de padrões de qualidade e segurança;
- Segurança de navegação – assegura que a embarcação reúne as condições de segurança suficientes para navegar;
- Segurança rádio – assegura a qualidade dos equipamentos de comunicação a bordo das embarcações;
- Prevenção à poluição – assegura que o navio possui meios de evitar e/ou mitigar a possibilidade de acidentes que venham a causar danos ao meio ambiente por agentes poluidores;
- Arqueação - o certificado de arqueação verifica a arqueação bruta e a líquida da embarcação;
- Borda livre - é no corpo deste certificado que é apresentado o posicionamento do disco de Plimsoll, marca no costado da embarcação que apresenta a distância vertical, na meia-nau, entre a aresta superior da linha do convés e a aresta superior da linha horizontal da marca de borda-livre;

- ISM Code - Código Internacional de Gestão da Segurança (ISM) de gestão da operação segura de navios e para a prevenção da poluição, conforme adotado pela Assembleia da IMO, podendo ser alterado por ela;
- ISPS Code - foi criado com o objetivo de estruturar a avaliação de ameaças e de definir ações de proteção apropriadas às embarcações e terminais portuários promovendo a cooperação entre os sistemas e definindo métodos de proteção, na busca de evitar “Incidentes de Proteção”.

2.2.8. Certificados de Classe

A Sociedade Classificadora do navio atesta que a embarcação está em conformidade com os regulamentos pertinentes e aplicáveis a ela. Pode abranger desde a etapa do projeto, construção e operação. Abrange a parte de casco e de máquinas, as vistorias podem ser realizadas de forma contínua ou anuais.

2.2.9. Vetting

São auditorias independentes realizadas em nome dos terminais aos quais os navios se utilizam para o seu processo de carga e descarga autorizando a operação. Dentre as principais inspeções do transporte marítimo, destacam-se: (i) inspeções do afretador; (ii) inspeções de organizações locais (Anvisa, por exemplo); (iii) inspeções de bandeira; (iv) inspeções de Sociedade Classificadora; (v) inspeções do dono da carga; (vi) inspeções de proteção e indenização (P&I); (vii) inspeções *Port State Control* (PSC); e (viii) inspeções do *Ship Inspection Report Programme* (SIRE).

2.3. Tecnologias digitais habilitadoras e sua aplicação no transporte marítimo

Com base nos trabalhos revisados na fase exploratório-descritiva desta pesquisa (Aiello et al., 2020; Ramirez-Peña et al., 2020a; Ramirez-Peña et al., 2020a; Munim et al., 2020; Kavallieratos et al., 2020; Mishra, 2019; Sanchez-Gonzalez et al., 2019; Fruth e Teuteberg, 2017), resumem-se no quadro 2.1 nove principais tecnologias digitais habilitadoras (TDHs) para aplicação no transporte

marítimo, considerando-se os dois vetores de transformação *Shipping 4.0* e *Green Shipping*. Para fins da modelagem pretendida, adotou-se o conceito de TDHs como o grupo das principais tecnologias envolvidas no processo de transformação digital do transporte marítimo em nível mundial.

O conceito de *Shipping 4.0* envolve as inovações tecnológicas nos campos de automação e tecnologia da informação. Com o objetivo de criar processos mais rápidos, flexíveis e eficientes, a quarta revolução industrial promoveu a união dos recursos físicos e digitais, conectando máquinas, sistemas e ativos.

Quadro 2.1 – *Shipping 4.0* e principais tecnologias digitais habilitadoras

Tecnologia digital habilitadora (TDH)	Descrição
TDH 1 - Big Data e Data Analytics	Big Data e Data Analytics são tecnologias que permitem o uso de grande volume de dados, capturados de diferentes fontes, para auxiliar a tomada de decisões. Em geral, são dados: internos da empresa, do mercado, dos concorrentes, estruturados e não estruturados.
TDH 2 - Robôs autônomos	Geralmente acompanhados de tecnologias complementares como a Inteligência Artificial e a IoT, os robôs autônomos são peças-chave na manutenção do <i>Shipping 4.0</i> . Por estarem conectados à rede continuamente, os equipamentos enviam dados que adicionados aos bancos de informação da empresa também servem para enriquecer o Big Data e respaldar nas decisões ligadas à produção.
TDH 3 - Simulação	Sistemas de simulação são muito importantes e impactam diretamente na redução de custos do <i>Shipping 4.0</i> . É muito mais barato fazer testes e experimentos no computador do que no mundo físico. Isso requer modelos acurados do mundo físico, mas é cada vez mais acessível tais como simuladores de manobras, operações e treinamentos específicos.
TDH 4 – Integração horizontal e vertical de sistemas	Conceito diretamente ligado ao <i>Shipping 4.0</i> , possibilita a redução de redundância de dados, diminuindo as chances de contradição da informação entre diferentes níveis. A Integração horizontal permite que a empresa use diferentes sistemas, cada especializado em uma função, porém funcionando de forma coordenada. O sistema de manutenção compartilha os dados dos ativos da empresa com o sistema de controle de produção, que por sua vez conversa com o de gerenciamento de energia. A informação flui rápida e corretamente entre eles, e cada um pode cumprir de maneira eficiente suas funções.
TDH 5 - Internet das Coisas (IoT)	A Internet das Coisas é uma das tecnologias com o maior potencial para integrar toda a estrutura do <i>Shipping 4.0</i> . Utilizando-se de sensores de monitoramento que são independentes entre si, a tecnologia permite conhecer o estado de cada máquina e alimentar o <i>Big Data</i> em tempo real. Pode ser utilizado para validar modelos de simulação, e calibrar gêmeos ou sombras digitais. Essas informações obtidas são muito importantes, pois podem indicar os rumos da gestão operacional, permitindo otimizações que reduzam o custo operacional e ao mesmo tempo aumentem a produtividade.
TDH 6 - Segurança cibernética	Uma maior conectividade e integração aumentam os riscos de problemas ou ataques cibernéticos na empresa toda, causando consequências econômicas, de segurança, de qualidade ou mesmo de privacidade. As ações para aumentar o nível de segurança incluem criptografia forte, separação dos sistemas em camadas bem definidas, restrição da troca de dados entre sistemas apenas àqueles estritamente necessários, adoção de protocolos de autenticação e autorização seguros e a realização regular de testes de segurança.

Quadro 2.1 – *Shipping 4.0* e principais tecnologias digitais habilitadoras (cont.)

Tecnologia digital habilitadora (TDH)	Descrição
TDH 7 - Computação em nuvem	Tecnologia que elimina a necessidade da existência de servidores locais, o que por si só já se mostra altamente rentável, já que haverá economia de custos com equipamentos e equipe responsável pela sua manutenção. Os dados ficam mais protegidos em relação a invasões e perda de dados, já que são empresas dedicadas a prover os serviços que cuidam disso. Possibilidade de se ter acesso rápido e seguro das informações de qualquer lugar do mundo e por qualquer dispositivo. Essa praticidade auxilia o trabalho da gestão e dos colaboradores externos, e a critério da empresa, também aos clientes e fornecedores.
TDH 8 - Manufatura aditiva	A manufatura aditiva consiste em fabricar peças sem remover material de uma matéria-prima inicial (como na usinagem), mas adicionando material para criar a peça desejada. A tecnologia permite transformar projetos digitais em objetos físicos.
TDH 9 - Realidade aumentada	Essa tecnologia adiciona elementos virtuais a imagens de objetos reais. Tem aplicação importante em treinamentos e logística interna. Pode ser implementada com o uso de óculos especiais ou então com o auxílio de tablets ou celulares. Acompanhada da inteligência dos softwares de simulação, a Realidade Aumentada possibilita saber visualmente o resultado de uma ação, antes mesmo que ela ocorra. É uma ferramenta altamente eficaz no suporte ao conhecimento, que permite o aprendizado de uma ferramenta específica, sem que haja a necessidade de comprar o equipamento de fato.

2.4.

Estudos sobre transformação digital e sustentabilidade no setor de transporte marítimo

Como abordado no capítulo introdutório, procedeu-se a uma revisão da literatura e análise documental cobrindo o período 2000-2021 sobre o tema central da pesquisa – seleção de alternativas de afretamento de navios segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional. Para tal, mediante o acesso as bases de dados Scopus e Web of Science, definiram-se as seguintes estratégias de busca (tabelas 2.1 e 2.2, respectivamente).

Tabela 2.1 – Resultado da estratégia de busca na base Scopus: 2000-2021

Ref.	Histórico de busca	Nº de documentos
#1	TITLE-ABS-KEY("multi-criteria decision")	19953
#2	TITLE-ABS-KEY("Green Shipping")	190
#3	TITLE-ABS-KEY("Shipping 4.0")	12
#4	#2 AND #3	2
#5	#1 AND #2	1
#6	#1 AND #3	0
#7	#1 AND #2 AND #3	0

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2.2 – Resultado da estratégia de busca na base Web of Science: 2000-2021

Ref.	Histórico de busca	Nº de documentos
#1	TITLE-ABS-KEY("multi-criteria decision")	13531
#2	TITLE-ABS-KEY("Green Shipping")	154
#3	TITLE-ABS-KEY("Shipping 4.0")	7
#4	#2 AND #3	2
#5	#1 AND #2	1
#6	#1 AND #3	0
#7	#1 AND #2 AND #3	0

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados da revisão bibliográfica e documental nortearam a delimitação da pesquisa e permitiram definir a estrutura analítica para a fase de modelagem e selecionar o método de apoio à decisão mais adequado para integrar o modelo conceitual. Na etapa de revisão da literatura, identificaram-se alguns artigos relevantes que poderiam dar suporte à fase de modelagem desta pesquisa.

Verificou-se que tanto na base Scopus, quanto na Web of Science, nas respectivas estratégias de busca #5 e #6 (tabelas 2.1 e 2.2) nenhum estudo foi encontrado, evidenciando-se a lacuna da literatura a ser preenchida nesta pesquisa.

No quadro 2.2, apresenta-se um quadro comparativo de 18 artigos científicos sobre transformação digital ou sustentabilidade no transporte marítimo.

Quadro 2.2 – Estudos sobre transformação digital e sustentabilidade no setor de transporte marítimo

Ref.	Autores (ano)	Objetivo do estudo	Vetores de transformação	Aplicação de tecnologias digitais habilitadoras (TDH)	Aspectos metodológicos
R01	Xie et al. (2008)	Selecionar navios usando um método multicritério discreto.	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH4; TDH6 e TDH7.	Método multicritério com número finito de alternativas. Decomposição do problema em uma estrutura de rede, sem relação hierárquica entre seus elementos.
R02	Bao et al. (2017)	Avaliar o desempenho de empresas de transporte marítimo sob incerteza, segundo uma abordagem multicritério com base em IFS, ERA and teoria do prospecto.	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH4; TDH6 e TDH7.	Abordagem multicritério (IFS e ERA) combinada com teoria do prospecto de Tversky e Kahneman (1992).
R03	Aikhuele et al. (2016)	Propor uma metodologia melhorada para avaliações multicritério no setor de transporte marítimo	<i>Green Shipping</i>	Não foram identificadas TDHs.	Toma para análise alguns itens relacionados aos navios ditos <i>green ships</i> . Método apresentado de forma mais abrangente dentro do universo <i>Shipping 4.0</i>
R04	Fruth et al. (2017)	Apresentar o estado-da-arte e lacunas na digitalização na logística marítima.	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH2; TDH3; TDH4; TDH5; TDH6; TDH7; TDH8 e TDH9	Apresenta os aspectos mais relevantes fazendo a correlação entre indústria 4.0 e <i>Shipping 4.0</i> .
R05	Lambrou e Ota (2017)	Implementar um ambiente <i>shipping 4.0</i>	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH4; TDH5; TDH6 e TDH7	Utilização de arquitetura multicamada (pilha de tecnologia), com configuração de vários componentes de software e hardware de IoT, análise, computação em nuvem e segurança cibernética
R06	Ren et al. (2018)	Apresentar o <i>green shipping</i> como um conceito emergente que visa mitigar os impactos ambientais negativos causados pelas atividades de transporte marítimo	<i>Green Shipping</i>	Não foram identificadas TDHs.	Uso de abordagem multicritério segundo cinco dimensões: tecnológica, econômica, ambiental, social e operacional.
R07	Sullivan et al. (2020)	Apresentar os aspectos relevantes do <i>shipping 4.0</i> e evidenciar oportunidades em digitalização e uso da manufatura avançada para desenvolvimento de navios	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH3; TDH4; TDH5; TDH6; TDH7; TDH8 e TDH9.	Traz as características evidenciadas nos <i>Green Ships</i> e suas interações com o meio ambiente e a estrutura do negócio
R08	Aiello et al. (2019)	Discutir e analisar lacunas entre os modelos de negócios atuais (tradicionais) e a próxima geração do <i>shipping</i> , abordando o nível de maturidade e as barreiras tecnológicas para a digitalização no setor.	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH2; TDH3; TDH4; TDH5; TDH6; TDH7; TDH8 e TDH9	Realização de uma análise de lacunas entre os modelos de negócios atuais (tradicionais) e a próxima geração digital
R09	Mishra (2019)	Apresentar as tendências tecnológicas emergentes na área de transporte marítimo.	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH3; TDH6 e TDH7.	Análise bibliométrica e análise qualitativa de conteúdo.

Quadro 2.2 – Estudos sobre transformação digital e sustentabilidade no setor de transporte marítimo (cont.)

Ref.	Autores (ano)	Objetivo do estudo	Vetores de transformação	Aplicação de tecnologias digitais habilitadoras (TDH)	Aspectos metodológicos
R10	Ramirez Peña et al. (2020a)	Avaliar a sustentabilidade da cadeia de suprimentos da construção naval com a digitalização do setor.	<i>Shipping 4.0</i> <i>Green Shipping</i>	TDH1; TDH2; TDH3; TDH4; TDH.5; TDH6; TDH7; TDH8 e TDH9.	Revisão da literatura, análise de conteúdo e modelagem conceitual qualitativa.
R11	Ramirez Peña et al. (2020b)	Propor um modelo para a cadeia de suprimentos da construção naval, que contemple todos os fatores-chave de desempenho I4.0, bem como as tecnologias digitais habilitadoras que permitem alcançá-lo. Ao identificar os fatores-chave no modelo conceitual, foi possível concluir que a cadeia de suprimentos da construção naval pode ser verde e enxuta.	<i>Shipping 4.0</i> <i>Green Shipping</i>	TDH1; TDH2; TDH3; TDH4; TDH.5; TDH6; TDH7; TDH8 e TDH9.	Revisão da literatura, análise de conteúdo e modelagem conceitual qualitativa.
R12	Kavallieratos et al. (2020)	Apresentar requisitos relacionados à segurança tecnológica no <i>Shipping 4.0</i> .	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH2; TDH3; TDH4; TDH5; TDH6; TDH7; TDH8 e TDH9.	Aplicação da metodologia <i>Secure Tropos</i> para obter sistematicamente os requisitos de segurança
R13	Ernestsen et al. (2020)	Avaliar o uso de simuladores marítimos para treinamento.	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH3; TDH4; TDH6 e TDH7.	Utilização de métodos multicritério para a quantificação de probabilidades e variáveis
R14	Farias et al. (2020)	Categorizar as diversas técnicas e métodos utilizados para a redução de emissões de gases poluentes provenientes da exaustão de navios.	<i>Green Shipping</i>	Não foram identificadas TDHs.	A utilização e combinação de técnicas para o cumprimento das metas da Organização marítima Internacional (IMO) para 2050.
R15	Simões (2019)	Avaliar o emprego de recursos eólico e solar em um projeto de navio de coleta de resíduos no Mar Mediterrâneo, para uma possível aplicação de tecnologias de aproveitamento dos resíduos a bordo da embarcação.	<i>Green Shipping</i>	Não foram identificadas TDHs.	Uso de sistemas de reanálise meteorológica para maior precisão dos recursos solar e eólico.
R16	Munim et al. (2020)	Revisar estudos sobre as aplicações de <i>Big data</i> e inteligência artificial (IA) na indústria marítima.	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH6 e TDH7	Revisão sistemática da literatura sobre aplicações de <i>Big data</i> e inteligência artificial (IA) na indústria marítima, , focalizando: (i) transformação digital na indústria marítima; (ii) aplicações de Big Data e inteligência artificial; (iii) eficiência energética; e (iv) análise preditiva.
R17	Sanchez-Gonzalez et al. (2019)	Analisar o estado-da-arte de <i>Shipping 4.0</i> , com foco em oito domínios digitais.	<i>Shipping 4.0</i>	TDH1; TDH2; TDH3; TDH4; TDH.5; TDH6; TDH7; TDH8 e TDH9.	Revisão sistemática da literatura sobre de <i>Shipping 4.0</i> , focalizando: (i) veículos autônomos e robótica; (ii) inteligência artificial; (iii) Big data; (iv) realidade virtual, realidade aumentada e mista; (v) Internet das coisas; (vi) computação em nuvem e de borda; (vii) segurança digital; e (viii) impressão 3D e engenharia aditiva..
R18	Shi et al. (2018)	Revisar a produção científica sobre <i>Green Shipping</i>	<i>Green Shipping</i>	Não foram identificadas TDHs.	Revisão sistemática da literatura, compreendendo 213 artigos publicados e indexados no SSCI, durante o período de 1988-2017.

2.5.

Considerações finais sobre o capítulo

Não obstante a identificação de trabalhos relevantes sobre emprego de tecnologias digitais habilitadoras na construção naval e no transporte marítimo (Aiello et al., 2020; Ramirez-Peña et al., 2020a; Ramirez-Peña et al., 2020b; Munim et al., 2020; Kavallieratos et al., 2020; Mishra, 2019; Sanchez-Gonzalez et al., 2019; Fruth e Teuteberg, 2017), bem como estudos sobre a tendência crescente de sustentabilidade no setor marítimo (Ren et al., 2018; Ogbonnaya et al., 2017, por exemplo), apenas dois trabalhos consideraram conjuntamente os dois vetores de transformação do transporte marítimo - *Shipping 4.0* e *Green Shipping* em suas análises. Isso foi evidenciado nas tabelas 2.1 e 2.2 com os resultados das buscas nas bases Scopus e WoS (Ramirez-Peña et al., 2020a; Ramirez-Peña et al., 2020b).

Outra lacuna refere-se à inexistência de trabalhos que empregaram análise morfológica (Zwicky, 1969; Álvarez e Ritchey, 2015; Arciszewski, 2018) para conceber configurações alternativas de navios inteligentes na perspectiva da sustentabilidade do transporte marítimo. Embora o uso de métodos multicritério tenha sido identificado em alguns trabalhos relacionados ao *Green Shipping* (Ren et al., 2018, como o melhor exemplo), nenhum deles empregou métodos multicritério para a seleção de opções de afretamento baseando-se numa abordagem conjunta dos dois vetores de transformação do transporte marítimo – *Shipping 4.0* e *Green Shipping*.

Ao se analisar os estudos apresentados no quadro 2.2, identificaram-se oportunidades de pesquisas futuras relacionadas ao novo paradigma do transporte marítimo internacional. Em linha com muitas dessas sugestões, busca-se desenvolver nesta pesquisa um modelo de seleção de opções de afretamento de navios segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional, combinando-se uma abordagem e multicritério com análise morfológica, como será descrito no capítulo seguinte.

3

Modelo conceitual para seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados

Neste capítulo, apresenta-se o modelo conceitual para seleção de alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis para exportação e importação de petróleo e derivados, segundo o novo paradigma de transporte marítimo internacional.

3.1.

Escolha dos métodos que integram o modelo: análise morfológica e método ANP

Antes de se iniciar a descrição detalhada do modelo conceitual, justifica-se nesta seção a escolha dos métodos que integram o modelo, a saber: (i) análise morfológica, que é uma técnica analítico-combinatória, baseada na decomposição de um problema ou objeto de análise em seus atributos (Zwicky, 1969; Álvarez e Ritchey, 2015; Arciszewski, 2018), que foi empregada na geração de configurações alternativas de navios para afretamento, considerando-se os dois vetores de transformação do setor de transporte marítimo; e (ii) método *Analytic Network Process* (ANP) (Saaty e Takizawa, 1986; Saaty, 1996), empregado para calcular os pesos dos critérios utilizados e hierarquizar as alternativas de navios para afretamento em atividades de exportação e importação de petróleo e derivados.

3.1.1.

Análise morfológica

A análise morfológica se baseia na decomposição de um problema, ou objeto de análise, em seus atributos sendo, portanto, uma técnica analítico-combinatória. Essa técnica é proposta em cinco passos: (i) formulação e definição do problema (questão que se deseja responder); (ii) identificação e caracterização de todas as variáveis do problema; (iii) construção de uma matriz multidimensional, preenchida com os possíveis estados que cada variável poderá assumir; (iv) identificação de combinações plausíveis dos estados gerados para

cada variável, em função da questão que se pretende responder; (v) análise das alternativas descartando aquelas economicamente inviáveis, intrinsecamente inconsistentes ou insustentáveis.

O princípio básico para a escolha dessa técnica é a de que um problema complexo como a seleção de opções para afretamento de navios engajados na exportação e importação de petróleo e derivados – pode ser decomposto em variáveis fundamentais (principais requisitos tanto operacionais quanto funcionais a serem oferecidos), gerando, assim, um conjunto de estados ou valores referentes às variáveis.

3.1.2. **Método *Analytic Network Process* (ANP)**

O método ANP constitui uma evolução do método *Analytical Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido pelo mesmo autor. Permite que o tomador de decisão tenha uma percepção mais alinhada à realidade do problema, uma vez que as questões complexas normalmente envolvem itens de avaliação dependentes entre si. Pode-se abordar o problema em uma estrutura em rede, propiciando a identificação de relações de dependência e influência dentro e entre conjuntos de elementos (Saaty e Takizawa, 1986; Saaty, 1996; 2004; 2005). Assim, esse método fornece uma rede de relacionamentos entre os itens de decisão (critérios e alternativas), levando a resultados mais confiáveis em relação ao método AHP, como enfatizam seus autores.

O método ANP compreende três etapas principais: (i) construção da estrutura analítica em rede e análise das interrelações entre os elementos da estrutura; (ii) julgamentos mediante comparações pareadas dos elementos da estrutura analítica; e (iii) desenvolvimento algébrico. O *software* SuperDecisions® (Creative Decisions Foundation, 2019) vem sendo amplamente adotado como suporte ao uso deste método em sua fase algébrica.

3.2. **Visão geral do modelo conceitual**

O fluxograma apresentado na figura 3.1 fornece uma visão geral do modelo conceitual para seleção de alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis para exportação e importação de petróleo e derivados.

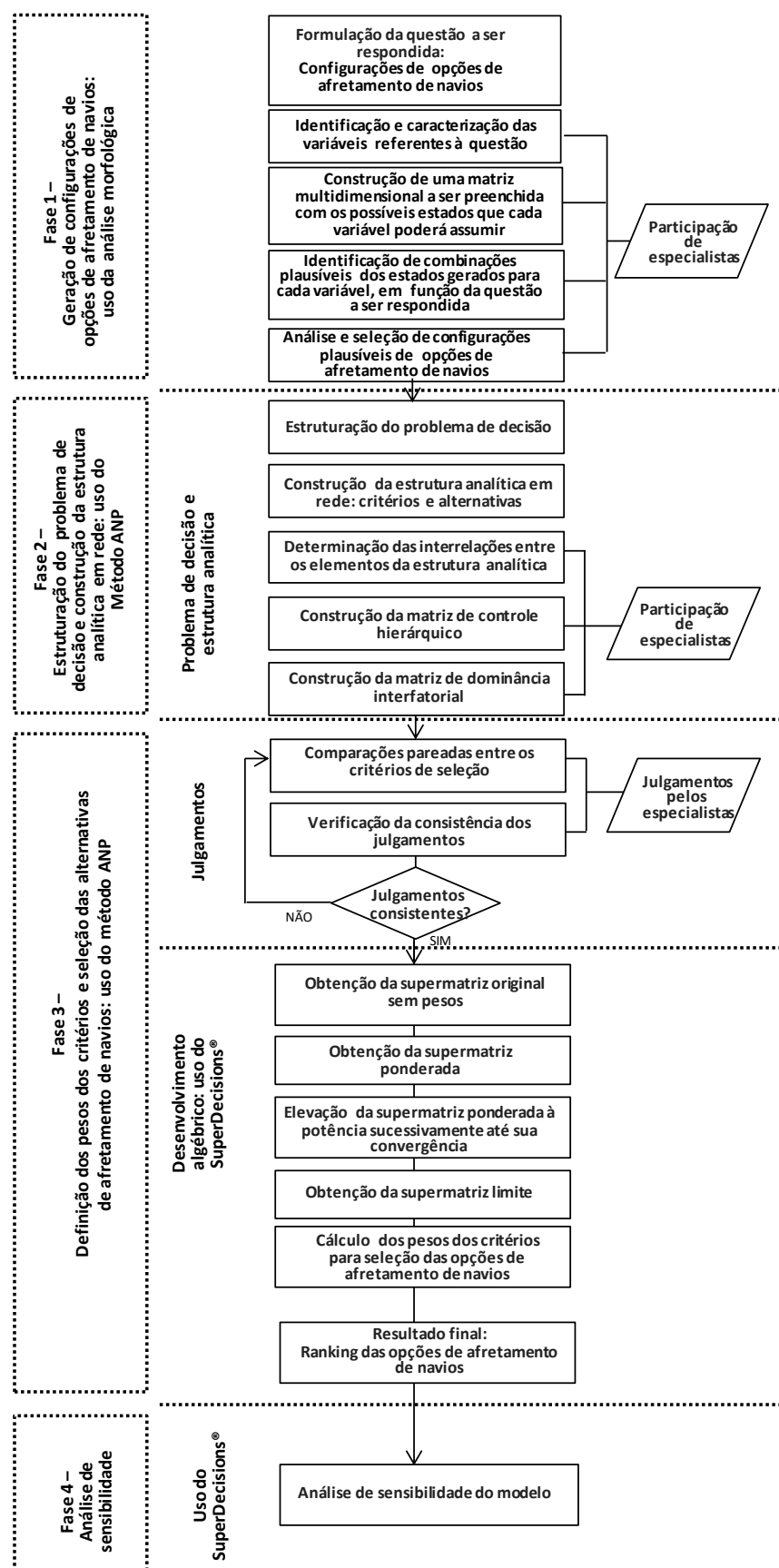


Figura 3.1 – Fluxograma do modelo conceitual para seleção de alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis

3.3.

Visão detalhada do modelo conceitual: quatro fases

Como visto na figura 3.1, o modelo conceitual compreende quatro fases, a saber: (i) geração de configurações alternativas de opções de afretamento de navios, com emprego de análise morfológica; (ii) definição do problema de decisão e construção da estrutura analítica em rede, de acordo com o método multicritério *Analytic Network Process* (ANP); (iii) definição dos pesos dos critérios e seleção das alternativas de afretamento de navios, com uso do método ANP e com suporte do *software* SuperDecisions®; e (iv) análise de sensibilidade do modelo.

Nesta seção, descrevem-se cada fase que integra o modelo conceitual, conforme fluxograma da figura 3.1.

3.3.1.

Fase 1 – Geração de configurações alternativas de opções de afretamento de navios: uso da análise morfológica

Para a geração de configurações alternativas de opções de afretamento de navios, propõe-se nesta fase o emprego da análise morfológica, a exemplo de pesquisa anterior desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Metrologia (Martins et al., 2020).

Segundo Zwicky (1969), a aplicação dessa técnica se dá em cinco passos: (i) formulação e definição do problema (questão que se deseja responder); (ii) identificação e caracterização de todas as variáveis do problema; (iii) construção de uma matriz multidimensional, preenchida com os possíveis estados que cada variável poderá assumir; (iv) identificação de combinações plausíveis dos estados gerados para cada variável, em função da questão que se pretende responder; (v) análise das alternativas com descarte daquelas intrinsecamente inconsistentes, insustentáveis ou economicamente inviáveis.

Com o emprego desta técnica, foi possível a construção de uma matriz morfológica multidimensional (figura 3.2), composta por requisitos funcionais e operacionais de navios para afretamento, bem como as soluções digitais aplicados no setor de transporte marítimo, que contribuem para o atendimento aos funcionais e operacionais apresentados no quadro 3.1, a seguir.

Quadro 3.1 – Requisitos funcionais e operacionais de navios para afretamento

Requisito*	Definição
Funções do sistema (Rf1)	São as funções do sistema necessárias para facilitar a viagem do navio como, por exemplo, funções do motor, funções de navegação entre outras.
Prevenção de colisão (Rf2)	Prover o navio de meios para prevenir a colisão com objetos tripulados, obstáculos físicos e animais marinhos durante o transporte da carga.
Busca e resgate (Rf3)	Tecnologias embarcadas para prestar assistência necessária a outros navios ou pessoas que estão em perigo no mar ou solicitem ajuda ou resgate.
Confiabilidade técnica (Rf4)	Tecnologia para garantir as operações, funções e manutenção dos sistemas do C-ES (<i>Cyber Enable Ship</i>).
Planejamento de viagem (Rf5)	Tecnologias capazes de habilitar o navio realizar o planejamento da rota, determinar sua posição, curso e velocidade e manter essa rota.
Monitoramento das áreas ao redor (Rf6)	Capacidade do navio de promover a monitoração das áreas ao seu redor.
Segurança cibernética (Rf7)	Habilitar o C-ES de meios para seguir os padrões e procedimentos de segurança cibernética e fazer cumprir as políticas de segurança necessárias.
Segurança pessoal (Rf8)	Tecnologias que capacitem o C-ES proteger de forma efetiva a sua infraestrutura, carga e os marítimos de ataques físicos.
Navegação (Ro1)	As tecnologias apresentadas e embarcadas devem garantir a navegação do navio durante a rota estabelecida.
Controle (Ro2)	As tecnologias apresentadas devem permitir ao centro de controle da navegação, localizado em terra monitorando a viagem do navio, intervir a qualquer momento para controlar várias operações e funções do navio a fim de garantir a segurança e o êxito da empreitada.
Previsão de condições meteorológicas (Ro3)	O navio deve fazer uso das diversas tecnologias para ser capaz prever antecipadamente as condições climáticas adversas e operar sob tais condições de forma segura.
Amarração (Ro4)	O C-ES deve possuir meios de ser capaz de garantir sua posição em região de fundeio.
Atracação (Ro5)	O C-ES deve ser capaz por si só garantir seu posicionamento no berço de atracação da infraestrutura portuária.
Resposta a falhas (Ro6)	Tecnologias capazes de dar uma resposta a falha de forma a causar danos mínimos ou inexistentes a outros equipamentos, ao meio ambiente ou às pessoas.
Transporte da carga (Ro7)	Tecnologias que propiciem os navios terem uma infraestrutura adequada, a fim de transportar a carga a salvo e com segurança.
Carga e descarga (Ro8)	As tecnologias devem auxiliar o C-ES ter a infraestrutura adequada para carregar e descarregar a carga com segurança e de forma segura conforme os padrões, normas e convenções adotadas.
Transporte de pessoas (Ro9)	As facilidades das tecnologias embarcadas no navio devem garantir a infraestrutura adequada para se forma segura transportar pessoas envolvidas ou não na operação do navio.
Comunicação (Ro10)	O C-ES deve, de posse das tecnologias a ele embarcadas, estabelecer redes de comunicação poderosas dentro de sua infraestrutura e com atores externos.
Observações do ambiente (Ro11)	As tecnologias presentes no C-ES devem usar sensores para aumentar a consciência da situação ao seu redor. Estar sempre alerta e capaz de emitir aviso caso haja alguma anormalidade.
Ancoragem (Ro12)	O C-ES deve ser capaz de ancorar nos portos ou em qualquer lugar sob a supervisão da SCC fazendo uso das tecnologias a bordo.
Garantia à navegabilidade (Ro13)	As tecnologias a bordo devem assegurar ao C-ES que ele cumpre o respectivo quadro legal capacitando-o para realizar as suas operações.
Manter tripulação e ambiente seguros	Através de seus equipamentos sistemas e tecnologias a bordo o C-ES deve ser capaz de identificar os riscos potenciais relacionados à segurança da tripulação e do meio ambiente.
Mitigação de riscos (Ro14)	As tecnologias do C-ES devem desenvolver e manter atividades para mitigar riscos e aumentar sua percepção da situação em que se encontra a embarcação em sua operação completa.

Nota: (*) Requisito funcional (Rf); Requisito operacional (Ro).

Fonte: Baseado em Kavallieratos et al. (2020).

A partir da revisão bibliográfica na fase exploratória desta pesquisa, elencou-se um conjunto de soluções digitais aplicadas no setor marítimo para compor as matrizes morfológicas (quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo

Solução digital	Referência (s)
Água de Lastro - <i>Water Ballast management</i>	Diasamidze et al.(2019)
Aproveitamento da energia desperdiçada atrás do propulsor	Fuad et al. (2017)
<i>Automatic Identification System (AIS)</i>	Kavallieratos et al. (2020)
Big Data of shipping e computação em nuvem	Lambrou e Ota (2017); Munin et al. (2020)
Blockchain: transações em tempo real	Lambrou e Ota (2017)
Carregamento otimizado	Farias, et al. (2020)
Digitalização	Lambrou e Ota (2017)
Drones nas operações	Automation and Robotics (2020)
Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)	Kavallieratos et al. (2020)
Geração de energia eólica para os sistemas do navio	Farias et al. (2020)
Geração de energia solar para os sistemas do navio	Farias et al. (2020)
Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS)	Kavallieratos et al. (2020)
Injeção de Ar para a redução da resistência ao avanço do navio	Teixeira, et al. (2020).
Inteligência Artificial (Machine Learning)	Lambrou e Ota (2017); Munin et al. (2020)
Inteligência das Coisas (IoT)	Lambrou e Ota (2017)
Internet das coisas subaquáticas (IoUT)	Fruth et al. (2017)
Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	Lambrou e Ota (2017)
LRIT (Identificação e Acompanhamento de Navios a Longa Distância)	marinha.mil.br sistema LRIT
Mewis duct	Chang et al. (2020)
Motores elétricos	Farias et al. (2020)
Óculos de realidade virtual para manutenção na PM	wartsila.com/media/news/31-07-2018.
Piloto Automático	Kavallieratos et al. (2020)
Power Management System (PMS)	Kavallieratos et al. (2020)
Power Management System (PMS)	Kavallieratos et al. (2020)
Propeller Boss Cap Fins	Sun et al. (2020)
Revestimento anticorrosão para a proteção dos dutos	Mukherjee et al. (2019)
Robôs a bordo	Automation and Robotics (2020)
Rotor Sail	Simões (2019)
Sensores Climáticos (WS)	Kavallieratos et al. (2020)
Simuladores de manobras e operações	Ernstsen e Nazir (2020)
Sistema de Navegação Autônoma (ANS)	Kavallieratos et al. (2020)
Sistema de prevenção de Colisão (CAS)	Kavallieratos et al. (2020)
Sky Sails	Simões (2019)
Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)	Kavallieratos et al. (2020)
Técnicas de Criptografia	Lambrou e Ota (2017)
Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Lambrou e Ota (2017)
Tecnologias de percepção da informação (redes de sensores sem fios)	Lambrou e Ota (2017)
Tintas de alta performance antiincrustante	Mukherjee et al. (2019)
Voyage Data Recorder (VDR)	Kavallieratos et al. (2020)

A figura 3.2, a seguir, representa uma matriz morfológica multidimensional aplicável à geração de configurações alternativas de navios para afretamento de

navios para exportação e importação de petróleo e derivados. A lógica do problema é lidar com questões de complexidade menor do que o sistema original, possibilitando, assim, uma análise mais aprofundada das partes.

Com base na matriz morfológica representada na figura 3.2, podem ser geradas combinações plausíveis de soluções digitais aplicadas no setor marítimo para o cumprimento dos requisitos funcionais e operacionais listados no quadro 3.1, abrindo-se um universo de alternativas para a seleção dos navios representativos da questão em foco.

Soluções digitais		Solução digital 1	Solução digital 2	Solução digital 3	Solução digital n
Requisitos						
Requisitos funcionais	Rf1					
	Rf2					
					
	Rfn					
Requisitos operacionais	Ro1					
	Ro2					
					
	Ron					

Figura 3.2 – Matriz morfológica multidimensional para geração de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados

As combinações intrinsecamente inconsistentes, insustentáveis ou economicamente inviáveis deverão ser descartadas. Filtram-se, portanto, somente as concepções consideradas plausíveis. A seguir, na figura 3.3, ilustra-se de forma didática uma das configurações alternativas de afretamento de navio para exportação e importação de petróleo e derivados.

Soluções digitais		Solução digital 1	Solução digital 2	Solução digital 3	Solução digital n
Requisitos						
Requisitos funcionais	Rf1					
	Rf2					
					
	Rfn					
Requisitos operacionais	Ro1					
	Ro2					
					
	Ron					

Figura 3.3 – Ilustração didática da geração de uma alternativa de afretamento de navio para exportação e importação de petróleo e derivados

3.3.2.

Fase 2 – Estruturação do problema de decisão e construção da estrutura analítica em rede: uso do método ANP

O método ANP tem se mostrado muito útil para resolver problemas de decisão nos mais diversos contextos de aplicação, nos quais se considera importante identificar as relações de dependência entre *clusters* e elementos da estrutura analítica.

Nesta fase do modelo, define-se o objetivo do processo decisório (seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados), constrói-se a estrutura analítica em rede formada por seis *clusters* (critérios e alternativas), conforme figura 3.4. Essa estrutura constitui a base analítica para o desenvolvimento do modelo de seleção de opções de afretamento de navios, foco desta pesquisa.

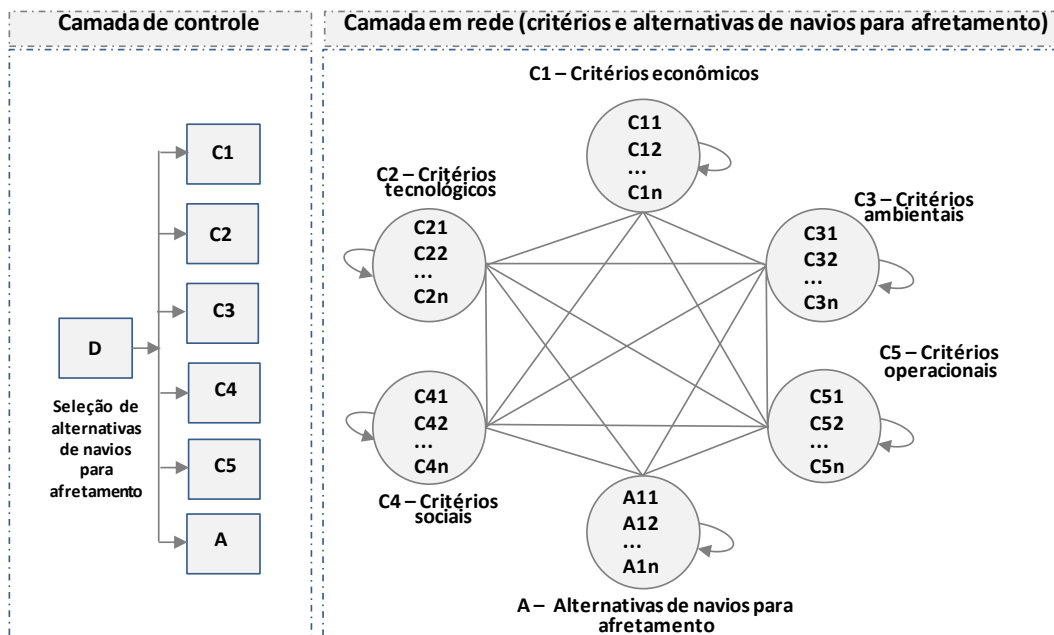


Figura 3.4 – Estrutura analítica em rede para seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados

3.3.3.

Fase 3 – Definição dos pesos dos critérios e seleção das alternativas de afretamento de navios: uso do método ANP

Para realizar o cálculo dos pesos dos requisitos funcionais e operacionais, sugere-se o uso do método ANP, que compreende três etapas principais: (i) estruturação do problema de decisão; (ii) julgamentos; e (iii) desenvolvimento algébrico. Recomenda-se o uso do *software* SuperDecisions® para este cálculo (Creative Decision Foundation, 2019).

A primeira etapa – ‘formulação do problema de decisão’ - consiste dos seguintes passos:

- Passo 1 – Formulação do problema de decisão e construção da estrutura analítica em rede composta por cinco agrupamentos (*clusters*) de critérios e um sexto agrupamento com as alternativas de afretamento de navios selecionadas na fase anterior. São eles: (i) critérios econômicos; (ii) critérios tecnológicos; (iii) critérios ambientais; (iv) critérios sociais; (v) critérios operacionais; e (vi) alternativas de afretamento de navios;
- Passo 2 – Determinação das relações de causa e efeito entre os *clusters* e entre os elementos que os formam;
- Passo 3 – Construção da matriz de controle hierárquico, referente aos seis *clusters*;

- Passo 4 – Construção da matriz de dominância interfatorial composta pelos critérios e alternativas que integram os seis *clusters*.

Na segunda etapa (julgamentos sobre a importância dos elementos da rede) devem ser realizados três passos, como segue:

- Passo 1 – Comparações pareadas dos elementos que integram a camada em rede da figura 3.4, empregando-se a escala de Saaty (1991), conforme indicado no quadro 3.3;
- Passo 2 – Verificação da consistência dos julgamentos durante as comparações pareadas;
- Passo 3 – Obtenção dos autovetores de prioridades dos elementos que integram a camada em rede.

Quadro 3.3 – Escala de nove pontos de Saaty para comparações pareadas

Intensidade	Definição
1	Igual importância
3	Importância moderada de um elemento comparado ao outro
5	Importância grande ou essencial de um elemento comparado ao outro
7	Importância muito grande ou demonstrada de um elemento comparado ao outro
9	Importância absoluta de um elemento comparado ao outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.

Fonte: Saaty, 1991.

Finalmente, a terceira etapa refere-se ao desenvolvimento algébrico e compreende cinco passos, a saber:

- Passo 1 – Construção da supermatriz sem pesos (composta pelos critérios e alternativas);
- Passo 2 – Obtenção da supermatriz ponderada;
- Passo 3 – Elevação da supermatriz ponderada à potência;
- Passo 4 – Obtenção da supermatriz limite;
- Passo 5 – Obtenção dos pesos dos critérios e da adequação das alternativas à luz dos critérios;

A descrição detalhada no método ANP encontra-se no anexo 1 desta dissertação.

3.3.4.

Fase 4 – Análise de sensibilidade

Ao variar os pesos dos critérios, a análise de sensibilidade permite observar que o *ranking* das alternativas de afretamento poderá ser alterado. Tal variação pode ocorrer tanto devido a mudanças na opinião dos especialistas, quanto à situação de afretamento em si (ênfase econômica, ambiental ou outras). Em outras palavras, a importância relativa dos critérios considerados pelo responsável pelo afretamento pode variar ao longo do tempo, e consequentemente, alterar o *ranking* das alternativas, a fim de se obter um maior desempenho no transporte marítimo segundo o novo paradigma (*Shipping 4.0* e *Green Shipping*). Portanto, o modelo proposto possibilita a avaliação de alternativas de afretamento de forma contínua, uma vez que é possível a alteração dos pesos atribuídos durante as comparações, possibilitando a redefinição de prioridades. Com a criação de cenários para diferentes ênfases nos afretamentos, por exemplo, atribuir uma maior ênfase aos critérios ambientais em relação às demais dimensões de critérios. Para tal, devem ser realizadas várias rodadas com suporte do *software* SuperDecisions®, alterando-se os pesos atribuídos durante as comparações.

3.4.

Considerações finais sobre o capítulo

Neste capítulo, foi proposto um modelo para a seleção de opções de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, tendo como caráter inovador a definição de uma estrutura analítica em rede, que permite avaliar as relações de causa e efeito entre os elementos que integram essa estrutura.

O modelo proposto, que combina o uso de análise morfológica (para geração de configurações plausíveis de opções de navios para afretamento) com o método ANP para seleção das alternativas de afretamento à luz de critérios econômicos, tecnológicos, ambientais, sociais e operacionais, contribuindo para que organizações possam decidir sobre as melhores opções de afretamento que melhor se adaptem e forneçam ganhos compensatórios, tendo em vista os dois vetores de transformação do setor de transporte marítimo (*Shipping 4.0* e *Green Shipping*).

Um dos desafios em gerenciar os contratos de afretamento é a busca do correto equilíbrio entre os interesses das partes envolvidas (afretadores e empresas

de navegação), antecipando-se comportamentos nas negociações e realizando-se transações que atendam às necessidades da companhia ao menor custo possível. Neste contexto, o modelo conceitual aqui proposto vem auxiliar em muito as empresas do setor de transporte marítimo no alcance desse equilíbrio e na melhoria de seu desempenho. Quando implementado na prática, o modelo pode ser considerado uma inovação organizacional pelo seu conteúdo de originalidade e diferenciais em relação às práticas correntes de gestão de afretamento de embarcações para a importação e exportação de petróleo e derivados.

4

Demonstração da aplicabilidade do modelo conceitual: estudo empírico em uma empresa de transporte marítimo

Este capítulo inicia com as proposições do estudo empírico e a definição das questões norteadoras para seu desenvolvimento, conforme protocolo proposto por Yin (2013; 2015). Na sequência, delimita e caracteriza a unidade de análise e o contexto organizacional da Transpetro, empresa selecionada para fins deste estudo. Em seguida, apresenta e discute os resultados da aplicação do modelo conceitual para seleção de alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis para exportação e importação de petróleo e derivados.

4.1.

Proposição do estudo empírico e definição das questões norteadoras

O debate em torno das questões tecnológicas associadas aos dois vetores de transformação – *Shipping 4.0* e *Green Shipping* – tem desencadeado uma série de questões que devem ser exploradas em relação ao emprego de soluções tecnológicas digitais que possam efetivamente contribuir para o aumento de práticas sustentáveis (sociais, ambientais e econômicas) no transporte marítimo.

A adoção dessas práticas requer um esforço contínuo das empresas de transporte marítimo em modernizar sua infraestrutura, buscando o aumento da eficiência e segurança operacional, o uso de combustíveis renováveis e a eficiência energética, procurando reduzir as emissões de gases efeito estufa para atendimento da meta da IMO para 2050. Nessa perspectiva, as empresas de transporte marítimo devem realinhar seus modelos de negócio, estratégias e práticas aos dois vetores de transformação mencionados, visando oferecer processos mais eficientes e sustentáveis de afretamento.

A proposta deste estudo empírico é demonstrar que o modelo conceitual proposto no capítulo 3 pode ser utilizado de maneira efetiva para selecionar alternativas de afretamento de navios, considerando os dois vetores de transformação do setor – *Shipping 4.0* e *Green Shipping*.

Seguindo-se o protocolo sugerido por Yin (2005; 2013), foram definidas as seguintes questões orientadoras:

- Como selecionar alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional?
- Em que medida o emprego de uma abordagem metodológica que integre análise morfológica e o método Analytic Network Process – ANP pode contribuir para a eficiência do processo de seleção de alternativas de afretamento de navios neste segmento, segundo o novo paradigma?

4.2.

Caracterização da unidade de análise e contexto organizacional

Nesta seção, caracterizam-se a unidade de análise do estudo empírico e o contexto organizacional e de atuação da Petrobras Transporte S.A. – Transpetro, subsidiária da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), que atua no mercado com afretamento de navios para transporte de petróleo e derivados, nacional e internacionalmente.

4.2.1.

Unidade de análise

A partir do problema de pesquisa, estabeleceu-se que a unidade de análise deste estudo empírico refere-se à seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados pela Transpetro. Esta área de afretamento é subordinada à Diretoria de Transporte Marítimo da empresa.

4.2.2.

Contexto organizacional

A Transpetro é uma empresa brasileira de atuação global, que opera de forma integrada, terminais, oleodutos e gasodutos, além do transporte marítimo e terrestre.

Por meio de sua capacidade técnica em logística e transporte, realiza o armazenamento e a movimentação de petróleo e seus derivados, gás natural e biocombustíveis, incluindo as atividades de exportação e importação.

Com mais de 14 mil quilômetros de oleodutos e gasodutos, 47 terminais (20 terrestres e 27 aquaviários) e 38 navios, tem o desafio de levar aos mais diferentes pontos do Brasil o combustível que move a economia do País. Suas operações também abastecem indústrias, termelétricas e refinarias, viabilizando a geração de milhões de empregos para os brasileiros.

A empresa une as áreas de produção, refino e distribuição e presta serviço a diversas distribuidoras e à indústria petroquímica. Tem atuação nacional, com instalações em 20 das 27 unidades federativas do Brasil.

A empresa é reconhecida provedora de soluções logísticas integradas para o setor de óleo, gás e biocombustíveis, com excelência em operação de ativos de primeira classe, atuando com competitividade, confiabilidade e valores inegociáveis em segurança e na preservação do meio ambiente.

Sempre atenta às demandas da sociedade, a empresa alinha-se aos desafios da *holding* Petrobras e atua em diversas frentes para reduzir e compensar o impacto ambiental de suas operações, contribuindo para a sustentabilidade corporativa.

Os objetivos de transformação digital da Transpetro refletem a visão da necessidade de foco no cliente, segurança cibernética e ganhos de eficiência energética e outros impactos ambientais. Possui operação remota e centralizada através de equipamentos inteligentes, aumentando o nível de segurança das pessoas e operações, produtividade e garantia da qualidade de seus serviços de transporte.

4.3.

Aplicação do modelo conceitual na Petrobras Transporte S.A. – Transpetro

A aplicação do modelo conceitual na Transpetro seguiu três das quatro fases do modelo descritas no capítulo 3. A última fase não pode ser realizada em função da indisponibilidade de agenda dos especialistas que participaram das fases 1 a 3.

Inicia-se esta seção com a descrição do processo de coleta e formatação dos dados, para em seguida apresentar e discutir os resultados da aplicação das fases 1 a 3 do modelo conceitual na Transpetro.

4.3.1. Coleta e formatação dos dados

A coleta de dados foi conduzida junto a um grupo seletivo de especialistas em transporte marítimo, alinhados em relação aos vetores de transformação pela qual passa o setor em nível mundial, a saber:

- Um especialista de empresa do setor transporte marítimo, atuando na área de afretamento e com conhecimentos sobre *Shipping 4.0*;
- Um especialista de empresa de logística e transporte marítimo, com atuação na área de meio ambiente e com conhecimentos sobre *Green Shipping*;
- Um especialista de empresa de logística e transporte marítimo na área de inovação tecnológica e transformação digital;
- Um especialista de empresa de logística e transporte marítimo na área de eficiência energética.

Inicialmente, por meio de entrevistas iniciais e realização de uma reunião consensual, chegou-se à matriz morfológica multidimensional, composta pelos requisitos funcionais e operacionais a serem considerados na seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, bem como pelas soluções digitais associadas aos dois vetores de transformação.

Com base na lista de requisitos funcionais e operacionais de navios inteligentes e sustentáveis já validados pelos especialistas (quadro 3.1), na literatura especializada e conhecimento dos especialistas, foi possível levantar diversas soluções digitais embarcadas e sistemas inteligentes da indústria naval para compor a matriz morfológica multidimensional básica (quadro 4.1).

A matriz multidimensional básica foi replicada para preenchimento com configurações plausíveis de alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis. Inicialmente, foram geradas várias configurações de alternativas de afretamento, empregando-se a análise morfológica como descrito no item 3.3.1. Descartaram-se aquelas alternativas que não se alinhavam ao vetor *Green Shipping*, uma vez que as configurações plausíveis de alternativas de afretamento deveriam contemplar soluções digitais associadas aos dois vetores – *Shipping 4.0* e *Green Shipping*. Dessa análise, resultaram cinco configurações de alternativas de afretamento, como serão apresentadas nos quadros 4.2 a 4.6 (item 4.3.2, a seguir).

Para definição da estrutura analítica em rede, os especialistas foram solicitados para validar um conjunto de critérios para seleção das alternativas de afretamento, previamente classificados em cinco dimensões: (i) econômica; (ii) tecnológica; (iii) ambiental; (iv) social; e (v) operacional. Após validação pelos

especialistas, esses critérios passaram a integrar a estrutura analítica em rede, como proposto no item 3.3.2.

Uma vez definida a estrutura em rede, representada na figura 4.1, os especialistas construíram duas matrizes binárias: (i) matriz de controle hierárquico (formada por seis *clusters*, sendo cinco referentes aos critérios de seleção e um relativo ao conjunto de alternativas de afretamento, geradas com suporte da análise morfológica na Fase 1 do modelo); e (ii) matriz de dominância interfatorial composta por todos os critérios e alternativas de afretamento.

Por último, com base nessas duas matrizes binárias, os especialistas em três reuniões semanais realizaram as comparações pareadas, que resultaram na obtenção dos pesos dos critérios e *ranking* das alternativas de afretamento. Essas reuniões foram coordenadas pelo autor, com suporte do *software* SuperDecisions®.

Apresentam-se os resultados do estudo empírico por fase do modelo conceitual proposto no capítulo 3, a saber:

- Fase 1 - Geração de configurações de opções de afretamento de navios com emprego da análise morfológica;
- Fase 2 – Formulação do problema de decisão e construção da estrutura em rede com uso do método ANP;
- Fase 3 – Definição dos pesos dos critérios e seleção das alternativas de navios para afretamento;
- Fase 4 – Análise de sensibilidade.

4.3.2.

Resultados da Fase 1: Configurações alternativas de afretamento de navios com uso da análise morfológica

Devido a preocupações de ordens legais, ausência de autorização legal dos armadores dos navios, não foi possível a identificação dos navios. As alternativas de afretamento receberam as denominações ‘Alternativas de afretamento 1’ a ‘Alternativa de afretamento 5’ e referências alfanuméricas AA1 a AA5.

Cabe destacar que todas as alternativas referem-se a navios classificados como navios petroleiros engajados em viagens principalmente de longo curso, com toda a certificação apresentada e em conformidade com requisitos de normas e regulamentos nacionais e internacionais aplicáveis.

Como primeiro resultado da Fase 1, apresenta-se no quadro 4.1 a matriz morfológica multidimensional para geração de configurações alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis. Já os quadros 4.2 a 4.6 referem-se respectivamente às matrizes morfológicas preenchidas com as cinco alternativas de afretamento (AA1 a AA5) a serem consideradas na estrutura analítica do modelo de seleção.

Quadro 4.1 – Matriz morfológica multidimensional para geração de configurações alternativas de afretamento de navios

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Funções do sistema (Rf1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Power Management System</i> (PMS)	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> (SCADA)	Digitalização	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Internet das Coisas (IOT)	Piloto automático	
Prevenção de colisão (Rf2)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Automatic Identification System</i> (AIS)	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	Inteligência artificial (IA) - <i>Machine learning</i>	Internet das Coisas (IOT)	Sistema de prevenção de colisão (CAS)				
Busca e resgate (Rf3)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	AIS	Sistema de Identificação e acompanhamento de navios a longa distância (LRIT)	<i>Voyage Data Recorder</i> (VDR)	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.					
Confiabilidade técnica (Rf4)	SCADA	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Óculos de realidade virtual para manutenção na praça de máquinas							
Planejamento de viagem (Rf5)	<i>Electronic Chart Display and Information System</i> (ECDIS)	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem							
Monitoramento das áreas ao redor (Rf6)	<i>Blockchain</i> - transações em tempo real	ECDIS	AIS	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	IA - <i>Machine learning</i>			
Segurança cibernética (Rf7)	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Digitalização	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Técnicas de criptografia						
Segurança pessoal (Rf8)	VDR	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações							

Continua...

Quadro 4.1 – Matriz morfológica multidimensional para geração de configurações alternativas de afretamento de navios (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Navegação (Ro1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede.	AIS	ECDIS	LRIT	SCADA	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Piloto Automático	Óculos de realidade virtual para uso nas atividades do passado	Sistema de navegação autônoma (ANS)
Controle (Ro2)	PMS	AIS	LRIT	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	ANS					
Previsão de condições meteorológicas (Ro3)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Sensores climáticos (WS)						
Amarração (Ro4)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	IA - <i>Machine learning</i>				
Atracação (Ro5)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	IA - <i>Machine learning</i>				
Resposta a falhas (Ro6)	Tecnologias de percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	SCADA	VDR	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	IA - <i>Machine learning</i>	Simuladores de manobras e operações				
Aplicações de tecnologias alternativas (Ro7)	<i>Propeller Boss Cap Fins</i>	<i>Mewis duct</i>	Aproveitamento da energia desperdiçada atrás do propulsor	Injeção de ar (colchão de ar) para a redução da resistência ao avanço do navio	Uso de drones nas operações	Uso de robôs a bordo	Revestimento anticorrosão para a proteção dos dutos	Tintas de alto desempenho e antiincrustante		

Nota: (*) Requisitos funcionais (Rf); requisitos operacionais (Ro).

Quadro 4.1 – Matriz morfológica multidimensional para geração de configurações alternativas de afretamento de navios (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Transporte da carga (Ro8)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	ANS					
Carga e descarga (Ro9)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações					
Transporte de pessoas (Ro10)	GMDSS (<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>)	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.							
Comunicação (Ro11)	PMS	GMDSS	AIS	Técnicas de criptografia						
Observações do ambiente (Ro12)	Tecnologias de Percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	VDR							
Ancoragem (Ro13)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações	ANS					
Garantia à navegabilidade (Ro14)	PMS	SCADA	Simuladores de manobras e operações							
Manter tripulação e ambiente seguros (Ro15)	GMDSS	Internet das coisas subaquáticas (IoUT)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações						
Manter a preparação (Ro16)	IA - Machine learning	IoUT	Simuladores de manobras e operações							
Aplicação de tecnologias verdes (Ro17)	Combustível alternativo redutor de emissões	Motores elétricos	Geração de energia solar para os sistemas do navio	Geração de energia eólica para os sistemas do navio	Water Ballast management	Sky sails	Rotor sails			

Nota: (*) Requisitos funcionais (Rf); requisitos operacionais (Ro).

Quadro 4.2 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA1

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Funções do sistema (Rf1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Power Management System (PMS)</i>	<i>Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)</i>	Digitalização	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Internet das Coisas (IOT)	Piloto automático	
Prevenção de colisão (Rf2)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Automatic Identification System (AIS)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	Inteligência artificial (IA) - <i>Machine learning</i>	Internet das Coisas (IOT)	Sistema de prevenção de colisão (CAS)				
Busca e resgate (Rf3)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	AIS	Sistema de Identificação e acompanhamento de navios a longa distância (LRIT)	<i>Voyage Data Recorder (VDR)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.					
Confiabilidade técnica (Rf4)	SCADA	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Óculos de realidade virtual para manutenção na praça de máquinas							
Planejamento de viagem (Rf5)	<i>Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem							
Monitoramento das áreas ao redor (Rf6)	<i>Blockchain</i> - transações em tempo real	ECDIS	AIS	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	IA - <i>Machine learning</i>			
Segurança cibernética (Rf7)	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Digitalização	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Técnicas de criptografia						
Segurança pessoal (Rf8)	VDR	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações							

Continua...

Quadro 4.2 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA1 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Navegação (Ro1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede.	AIS	ECDIS	LRIT	SCADA	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Piloto automático	Óculos de realidade virtual para uso nas atividades do passado	Sistema de navegação autônoma (ANS)
Controle (Ro2)	PMS	AIS	LRIT	Big Data of Shipping e computação em nuvem	ANS					
Previsão de condições meteorológicas (Ro3)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Sensores climáticos (WS)						
Amarração (Ro4)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Atracação (Ro5)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Resposta a falhas (Ro6)	Tecnologias de percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	SCADA	VDR	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações				
Aplicações de tecnologias alternativas (Ro7)	Propeller Boss Cap Fins	Mewis duct	Aproveitamento da energia desperdiçada atrás do propulsor	Injeção de ar (colchão de ar) para a redução da resistência ao avanço do navio	Uso de drones nas operações	Uso de robôs a bordo	Revestimento anticorrosão para a proteção dos dutos	Tintas de alto desempenho e antiincrustante		

Continua...

Quadro 4.2 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA1 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Transporte da carga (Ro8)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	ANS					
Carga e descarga (Ro9)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações					
Transporte de pessoas (Ro10)	GMDSS (<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>)	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.							
Comunicação (Ro11)	PMS	GMDSS	AIS	Técnicas de criptografia						
Observações do ambiente (Ro12)	Tecnologias de Percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	VDR							
Ancoragem (Ro13)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações	ANS					
Garantia à navegabilidade (Ro14)	PMS	SCADA	Simuladores de manobras e operações							
Manter tripulação e ambiente seguros (Ro15)	GMDSS	Internet das coisas subaquáticas (IoUT)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações						
Manter a preparação (Ro16)	IA - Machine learning	IoUT	Simuladores de manobras e operações							
Aplicação de tecnologias verdes (Ro17)	Combustível alternativo redutor de emissões	Motores elétricos	Geração de energia solar para os sistemas do navio	Geração de energia eólica para os sistemas do navio	Water Ballast management	Sky sails	Rotor sails			

Nota: (*) Requisitos funcionais (Rf); requisitos operacionais (Ro).

Quadro 4.3 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA2

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Funções do sistema (Rf1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	Power Management System (PMS)	Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)	Digitalização	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Inteligência artificial (Machine Learning)	Internet das Coisas (IOT)	Piloto automático	
Prevenção de colisão (Rf2)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	Automatic Identification System (AIS)	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Inteligência artificial (IA) - Machine learning	Internet das Coisas (IOT)	Sistema de prevenção de colisão (CAS)				
Busca e resgate (Rf3)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	AIS	Sistema de Identificação e acompanhamento de navios a longa distância (LRIT)	Voyage Data Recorder (VDR)	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.					
Confiabilidade técnica (Rf4)	SCADA	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Óculos de realidade virtual para manutenção na praça de máquinas							
Planejamento de viagem (Rf5)	Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem							
Monitoramento das áreas ao redor (Rf6)	Blockchain - transações em tempo real	ECDIS	AIS	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning			
Segurança cibernética (Rf7)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Digitalização	Inteligência artificial (Machine Learning)	Técnicas de criptografia						
Segurança pessoal (Rf8)	VDR	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações							

Continua...

Quadro 4.3 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA2 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Navegação (Ro1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede.	AIS	ECDIS	LRIT	SCADA	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Piloto automático	Óculos de realidade virtual para uso nas atividades do passadiço	Sistema de navegação autônoma (ANS)
Controle (Ro2)	PMS	AIS	LRIT	Big Data of Shipping e computação em nuvem	ANS					
Previsão de condições meteorológicas (Ro3)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Sensores climáticos (WS)						
Amarração (Ro4)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Atracação (Ro5)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Resposta a falhas (Ro6)	Tecnologias de percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	SCADA	VDR	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações				
Aplicações de tecnologias alternativas (Ro7)	Propeller Boss Cap Fins	Mewis duct	Aproveitamento da energia desperdiçada atrás do propulsor	Injeção de ar (colchão de ar) para a redução da resistência ao avanço do navio	Uso de drones nas operações	Uso de robôs a bordo	Revestimento anticorrosão para a proteção dos dutos	Tintas de alto desempenho e antiincrustante		

Continua...

Quadro 4.3 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA2 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Transporte da carga (Ro8)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	ANS					
Carga e descarga (Ro9)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações					
Transporte de pessoas (Ro10)	GMDSS (<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>)	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.							
Comunicação (Ro11)	PMS	GMDSS	AIS	Técnicas de criptografia						
Observações do ambiente (Ro12)	Tecnologias de percepção da informação (sensores e redes de sensores sem fios)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	VDR							
Ancoragem (Ro13)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações	ANS					
Garantia à navegabilidade (Ro14)	PMS	SCADA	Simuladores de manobras e operações							
Manter tripulação e ambiente seguros (Ro15)	GMDSS	Internet das coisas subaquáticas (IoUT)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações						
Manter a preparação (Ro16)	IA - Machine learning	IoUT	Simuladores de manobras e operações							
Aplicação de tecnologias verdes (Ro17)	Combustível alternativo redutor de emissões	Motores elétricos	Geração de energia solar para os sistemas do navio	Geração de energia eólica para os sistemas do navio	Water Ballast management	Sky sails	Rotor sails			

Nota: (*) Requisitos funcionais (Rf); requisitos operacionais (Ro).

Quadro 4.4 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA3

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Funções do sistema (Rf1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Power Management System (PMS)</i>	<i>Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)</i>	Digitalização	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Internet das Coisas (IOT)	Piloto automático	
Prevenção de colisão (Rf2)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Automatic Identification System (AIS)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	Inteligência artificial (IA) - <i>Machine learning</i>	Internet das Coisas (IOT)	Sistema de prevenção de Colisão (CAS)				
Busca e resgate (Rf3)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	AIS	Sistema de Identificação e acompanhamento de navios a longa distância (LRIT)	<i>Voyage Data Recorder (VDR)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.					
Confiabilidade técnica (Rf4)	SCADA	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Óculos de realidade virtual para manutenção na praça de máquinas							
Planejamento de viagem (Rf5)	<i>Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem							
Monitoramento das áreas ao redor (Rf6)	<i>Blockchain</i> - transações em tempo real	ECDIS	AIS	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	IA - <i>Machine learning</i>			
Segurança cibernética (Rf7)	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Digitalização	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Técnicas de criptografia						
Segurança pessoal (Rf8)	VDR	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações							

Continua...

Quadro 4.4 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA3 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Navegação (Ro1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	AIS	ECDIS	LRIT	SCADA	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Piloto automático	Óculos de realidade virtual para uso nas atividades do passadiço	Sistema de navegação autônoma (ANS)
Controle (Ro2)	PMS	AIS	LRIT	Big Data of Shipping e computação em nuvem	ANS					
Previsão de condições meteorológicas (Ro3)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Sensores climáticos (WS)						
Amarração (Ro4)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Atracação (Ro5)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Resposta a falhas (Ro6)	Tecnologias de percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	SCADA	VDR	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações				
Aplicações de tecnologias alternativas (Ro7)	Propeller Boss Cap Fins	Mewis duct	Aproveitamento da energia desperdiçada atrás do propulsor	Injeção de ar (colchão de ar) para a redução da resistência ao avanço do navio	Uso de drones nas operações	Uso de robôs a bordo	Revestimento anticorrosão para a proteção dos dutos	Tintas de alto desempenho e antiincrustante		

Continua...

Quadro 4.4 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA3 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Transporte da carga (Ro8)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	ANS					
Carga e descarga (Ro9)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações					
Transporte de pessoas (Ro10)	GMDSS (<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>)	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem							
Comunicação (Ro11)	PMS	GMDSS	AIS	Técnicas de criptografia						
Observações do ambiente (Ro12)	Tecnologias de Percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	VDR							
Ancoragem (Ro13)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações	ANS					
Garantia à navegabilidade (Ro14)	PMS	SCADA	Simuladores de manobras e operações							
Manter tripulação e ambiente seguros (Ro15)	GMDSS	Internet das coisas subaquáticas (IoUT)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações						
Manter a preparação (Ro16)	IA - Machine learning	IoUT	Simuladores de manobras e operações							
Aplicação de tecnologias verdes (Ro17)	Combustível alternativo redutor de emissões	Motores elétricos	Geração de energia solar para os sistemas do navio	Geração de energia eólica para os sistemas do navio	Water Ballast management	Sky sails	Rotor sails			

Nota: (*) Requisitos funcionais (Rf); requisitos operacionais (Ro).

Quadro 4.5 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA4

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Funções do sistema (Rf1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Power Management System (PMS)</i>	<i>Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)</i>	Digitalização	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Internet das Coisas (IOT)	Piloto automático	
Prevenção de colisão (Rf2)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Automatic Identification System (AIS)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Inteligência artificial (IA) - <i>Machine learning</i>	Internet das Coisas (IOT)	Sistema de prevenção de Colisão (CAS)				
Busca e resgate (Rf3)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	AIS	Sistema de Identificação e acompanhamento de navios a longa distância (LRIT)	<i>Voyage Data Recorder (VDR)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem					
Confiabilidade técnica (Rf4)	SCADA	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Óculos de realidade virtual para manutenção na praça de máquinas							
Planejamento de viagem (Rf5)	<i>Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem							
Monitoramento das áreas ao redor (Rf6)	<i>Blockchain</i> - transações em tempo real	ECDIS	AIS	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	IA - <i>Machine learning</i>			
Segurança cibernética (Rf7)	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Digitalização	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Técnicas de criptografia						
Segurança pessoal (Rf8)	VDR	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações							

Continua...

Quadro 4.5 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA4 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Navegação (Ro1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede.	AIS	ECDIS	LRIT	SCADA	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Piloto automático	Óculos de realidade virtual para uso nas atividades do passadiço	Sistema de navegação autônoma (ANS)
Controle (Ro2)	PMS	AIS	LRIT	Big Data of Shipping e computação em nuvem	ANS					
Previsão de condições meteorológicas (Ro3)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Sensores climáticos (WS)						
Amarração (Ro4)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Atracação (Ro5)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Resposta a falhas (Ro6)	Tecnologias de percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	SCADA	VDR	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações				
Aplicações de tecnologias alternativas (Ro7)	Propeller Boss Cap Fins	Mewis duct	Aproveitamento da energia desperdiçada atrás do propulsor	Injeção de ar (colchão de ar) para a redução da resistência ao avanço do navio	Uso de drones nas operações	Uso de robôs a bordo	Revestimento anticorrosão para a proteção dos dutos	Tintas de alto desempenho e antiincrustante		

Continua...

Quadro 4.5 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA4 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Transporte da carga (Ro8)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	ANS					
Carga e descarga (Ro9)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações					
Transporte de pessoas (Ro10)	GMDSS (<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>)	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.							
Comunicação (Ro11)	PMS	GMDSS	AIS	Técnicas de criptografia						
Observações do ambiente (Ro12)	Tecnologias de Percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	VDR							
Ancoragem (Ro13)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações	ANS					
Garantia à navegabilidade (Ro14)	PMS	SCADA	Simuladores de manobras e operações							
Manter tripulação e ambiente seguros (Ro15)	GMDSS	Internet das coisas subaquáticas (IoUT)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações						
Manter a preparação (Ro16)	IA - Machine learning	IoUT	Simuladores de manobras e operações							
Aplicação de tecnologias verdes (Ro17)	Combustível alternativo redutor de emissões	Motores elétricos	Geração de energia solar para os sistemas do navio	Geração de energia eólica para os sistemas do navio	Water Ballast management	Sky sails	Rotor sails			

Nota: (*) Requisitos funcionais (Rf); requisitos operacionais (Ro).

Quadro 4.6 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA5

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Funções do sistema (Rf1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Power Management System (PMS)</i>	<i>Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)</i>	Digitalização	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Internet das Coisas (IOT)	Piloto automático	
Prevenção de colisão (Rf2)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	<i>Automatic Identification System (AIS)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Inteligência artificial (IA) - <i>Machine learning</i>	Internet das Coisas (IOT)	Sistema de prevenção de Colisão (CAS)				
Busca e resgate (Rf3)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede	AIS	Sistema de Identificação e acompanhamento de navios a longa distância (LRIT)	<i>Voyage Data Recorder (VDR)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem					
Confiabilidade técnica (Rf4)	SCADA	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Óculos de realidade virtual para manutenção na praça de máquinas							
Planejamento de viagem (Rf5)	<i>Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)</i>	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem							
Monitoramento das áreas ao redor (Rf6)	<i>Blockchain</i> - transações em tempo real	ECDIS	AIS	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	IA - <i>Machine learning</i>			
Segurança cibernética (Rf7)	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Digitalização	Inteligência artificial (<i>Machine Learning</i>)	Técnicas de criptografia						
Segurança pessoal (Rf8)	VDR	<i>Big Data of Shipping</i> e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações							

Continua...

Quadro 4.6 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA5 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Navegação (Ro1)	Logística marítima conectada com base tecnológica de fusão multirrede.	AIS	ECDIS	LRIT	SCADA	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Piloto automático	Óculos de realidade virtual para uso nas atividades do passado	Sistema de navegação autônoma (ANS)
Controle (Ro2)	PMS	AIS	LRIT	Big Data of Shipping e computação em nuvem	ANS					
Previsão de condições meteorológicas (Ro3)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Sensores climáticos (WS)						
Amarração (Ro4)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Atracação (Ro5)	PMS	ECDIS	AIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning				
Resposta a falhas (Ro6)	Tecnologias de percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	SCADA	VDR	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações				
Aplicações de tecnologias alternativas (Ro7)	Propeller Boss Cap Fins	Mewis duct	Aproveitamento da energia desperdiçada atrás do propulsor	Injeção de ar (colchão de ar) para a redução da resistência ao avanço do navio	Uso de drones nas operações	Uso de robôs a bordo	Revestimento anticorrosão para a proteção dos dutos	Tintas de alto desempenho e antiincrustante		

Continua...

Quadro 4.6 – Matriz morfológica multidimensional referente à alternativa de afretamento AA5 (cont.)

Requisitos*	Soluções digitais aplicadas no setor de transporte marítimo									
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10
Transporte da carga (Ro8)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	ANS					
Carga e descarga (Ro9)	Blockchain - transações em tempo real	Carregamento otimizado	Big Data of Shipping e computação em nuvem	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações					
Transporte de pessoas (Ro10)	GMDSS (<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>)	VDR	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.							
Comunicação (Ro11)	PMS	GMDSS	AIS	Técnicas de criptografia						
Observações do ambiente (Ro12)	Tecnologias de Percepção da Informação (sensores e redes de sensores sem fios)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	VDR							
Ancoragem (Ro13)	ECDIS	Tecnologia de GPS e banco de dados baseado em nuvem.	IA - Machine learning	Simuladores de manobras e operações	ANS					
Garantia à navegabilidade (Ro14)	PMS	SCADA	Simuladores de manobras e operações							
Manter tripulação e ambiente seguros (Ro15)	GMDSS	Internet das coisas subaquáticas (IoUT)	Big Data of Shipping e computação em nuvem	Simuladores de manobras e operações						
Manter a preparação (Ro16)	IA - Machine learning	IoUT	Simuladores de manobras e operações							
Aplicação de tecnologias verdes (Ro17)	Combustível alternativo redutor de emissões	Motores elétricos	Geração de energia solar para os sistemas do navio	Geração de energia eólica para os sistemas do navio	Water ballast management	Sky sails	Rotor sails			

Nota: (*) Requisitos funcionais (Rf); requisitos operacionais (Ro).

As características das cinco alternativas configuradas nos quadros 4.2 a 4.6 são sintetizadas, a seguir, no quadro 4.7, nos campos AA1 a AA5.

4.3.3.

Resultados da Fase 2: Problema de decisão e estrutura analítica em rede com uso do método ANP

Esta fase foi conduzida com o mesmo grupo de especialistas da fase anterior, chegando-se aos seguintes resultados: (i) problema de decisão objetivamente definido e alinhado à proposição do estudo empírico; (ii) estrutura analítica do modelo conceitual, consistindo de duas camadas - uma camada de controle e outra em rede. Assim, o problema de decisão é “selecionar alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional”.

O quadro 4.7 detalha os elementos da estrutura analítica associada ao problema de decisão.

Quadro 4.7 – Estrutura analítica para seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados

Elementos	Descrição
C1 - Critérios econômicos	C11 - Custo de combustível
	C12 - Investimento na redução de emissões do transporte marítimo
	C13 - Taxa de frete exigida
	C14 - Custo anual de operação do navio
C2 - Critérios tecnológicos	C21 - Eficiência de combustível
	C22 - Avanços tecnológicos no projeto do navio, motores e máquinas
	C23 - Reuso do calor residual
	C24 - Proporção de energia limpa utilizada
C3 - Critérios ambientais	C31 - Emissões de Sox
	C32 - Emissões de Nox
	C33 - Emissões de gases efeito estufa (GEE)
	C34 - Materiais particulados
	C35 - Água de lastro
C4 - Critérios sociais	C41 - Aceitabilidade social
	C42 - Responsabilidade Social Corporativa
C5 - Critérios operacionais	C51 - Inspeção e manutenção do navio
	C52 - Conformidade com regulamentos e normas
	C53 - Logística avançada e sistemas de desempenho
	C54 - Percepção dos <i>stakeholders</i> em relação à proteção ambiental
AA - Alternativas de afretamento de navios	AA1 - Navio convencional com baixíssima tecnologia embarcada. Aspectos de sustentabilidade limitam-se à mitigação de riscos de acidentes ou derramamento.
	AA2 - Navio com moderada tecnologia embarcada buscando um melhor desempenho nas operações de carga e descarga. Essa alternativa considera soluções tecnológicas visando à redução de emissões de gases efeito estufa, além da mitigação de riscos de acidentes ou derramamento.
	AA3 - Navio com bastante tecnologia embarcada e grande atenção aos requisitos operacionais de navegação, carga e descarga. Essa alternativa considera soluções tecnológicas para atender requisitos mínimos de sustentabilidade, além da redução de emissões de gases efeito estufa e mitigação de riscos de acidentes ou derramamento.
	AA4 - Navio com tecnologia embarcada para atender aos requisitos funcionais e operacionais, redução de emissões, mitigação de riscos de acidentes ou derramamento, com grande atenção ao atendimento aos requisitos de sustentabilidade.
	AA5 - Navio com grande viés sustentável e com tecnologia embarcada para atender aos requisitos funcionais e operacionais, redução de emissões, mitigação de riscos de acidentes ou derramamento e demais requisitos de sustentabilidade.

Os critérios econômicos, tecnológicos, ambientais, sociais e operacionais listados no quadro 4.7 foram definidos com base nos trabalhos prévios de Ramirez-Peña et al. (2020a; 2020b); Ren, Lützen e Rasmussen (2018); Aikhuele e Turan (2016); e Xie et al. (2008).

Já a figura 4.1 representa graficamente a estrutura analítica composta por duas camadas, como descrito na seção 3.3.2.

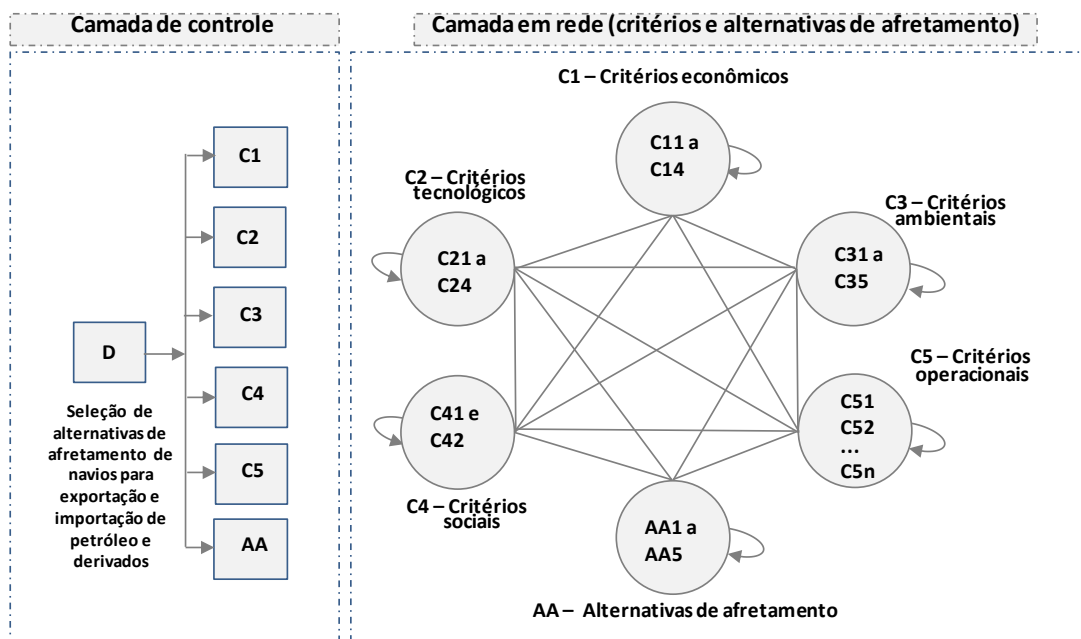


Figura 4.1 – Estrutura analítica em rede para seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados

4.3.4.

Resultados da Fase 3: Seleção das alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis com uso do método ANP

Inicialmente, foram geradas duas matrizes binárias: (i) matriz de controle hierárquico (tabela 4.1); e (ii) matriz de dominância interfatorial (tabela 4.2).

Tabela 4.1 – Matriz de controle hierárquico: relações de dependência entre os elementos da camada de controle

Matriz de controle hierárquico	C1	C2	C3	C4	C5	AA
C1 – Critérios econômicos	0	1	1	1	1	1
C2 – Critérios tecnológicos	1	0	1	1	1	1
C3 – Critérios ambientais	1	1	0	1	1	1
C4 – Critérios sociais	1	1	1	0	1	1
C5 – Critérios operacionais	1	1	1	1	0	1
AA – Alternativas de afretamento	1	1	1	1	1	0

Tabela 4.2 – Matriz de dominância interfatorial: relações de dependência entre os elementos da camada em rede

Matriz de dominância interfatorial	C1				C2				C3					C4		C5				AA				
	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C31	C32	C33	C34	C35	C41	C42	C51	C52	C53	C54	AA1	AA2	AA3	AA4	AA5
C11 - Custo de combustível	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
C12 - Investimento na redução de emissões do transporte marítimo	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
C13 - Taxa de frete exigida	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
C14 - Custo anual de operação do navio	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
C21 - Eficiência de combustível	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
C22 - Avanços tecnológicos no projeto do navio, motores e máquinas	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C23 - Reuso do calor residual	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
C24 - Proporção de energia limpa utilizada	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
C31 - Emissões de Sox	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C32 - Emissões de Nox	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C33 - Emissões de gases efeito estufa (GEE)	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C34 - Materiais particulados	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C35 - Água de lastro	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C41 - Aceitabilidade social	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C42 - Responsabilidade social corporativa	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
C51 - Inspeção e manutenção do navio	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
C52 - Conformidade com regulamentos e normas	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
C53 - Logística avançada e sistemas de desempenho	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
C54 - Percepção dos <i>stakeholders</i> em relação à proteção ambiental	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
AA1 - Alternativa de afretamento 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
AA2 - Alternativa de afretamento 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
AA3 - Alternativa de afretamento 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
AA4 - Alternativa de afretamento 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
AA5 - Alternativa de afretamento 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

Com base nessas duas matrizes binárias e seguindo-se os passos descritos no manual do *software* SuperDecisions® (Creative Decisions Foundation, 2019), foi possível calcular os pesos dos 19 critérios descritos no quadro 4.1 e chegar-se ao *ranking* das cinco alternativas de fretes de navios inteligentes e sustentáveis para exportação e importação de petróleo e derivados. Como resultados da Fase 3, apresentam-se três supermatrizes compostas pelos elementos da camada em rede da figura 4.1: (i) supermatriz original; (ii) supermatriz ponderada; e (iii) supermatriz limite.

A supermatriz original sem pesos foi obtida como resultado das comparações pareadas realizadas pelos especialistas e é composta por vetores de prioridade organizados em colunas. A supermatriz ponderada originou-se do produto entre os pesos dos seis *clusters* (categorias de critérios e alternativas de afretamento) e seus correspondentes na supermatriz sem pesos.

A supermatriz limite, estocástica, é gerada elevando-se a supermatriz ponderada a potências sucessivas vezes até sua convergência.

Apresentam-se sequencialmente as tabelas 4.3 a 4.5 referentes à supermatriz original sem pesos, à supermatriz ponderada e à supermatriz limite, todas compostas pelos 25 elementos da camada em rede (figura 4.1).

Tabela 4.3 – Supermatriz original

Supermatriz original sem pesos	AA - Alternativas de afretamento					C1 - Critérios econômicos				C2 - Critérios tecnológicos				C3 - Critérios ambientais					C4 - Critérios sociais		C5 - Critérios operacionais			
	AA1	AA2	AA3	AA4	AA5	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C31	C32	C33	C34	C35	C41	C42	C51	C52	C53	C54
AA1 - Alternativa de afretamento 1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.322856	0.077107	0.087566	0.061767	0.085330	0.041545	0.333333	0.120364	0.105411	0.105411	0.105411	0.089818	0.200000	0.061767	0.061767	0.200000	0.200000	0.077951	0.106503
AA2 - Alternativa de afretamento 2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.244679	0.102278	0.087566	0.097254	0.112974	0.061377	0.166667	0.091895	0.096724	0.096724	0.096724	0.096005	0.200000	0.097254	0.097254	0.200000	0.200000	0.109016	0.140531
AA3 - Alternativa de afretamento 3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.185432	0.152430	0.152895	0.159923	0.172232	0.145488	0.166667	0.138552	0.151667	0.151667	0.151667	0.170815	0.200000	0.159923	0.159923	0.200000	0.200000	0.169977	0.185432
AA4 - Alternativa de afretamento 4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.140531	0.256173	0.257293	0.262518	0.270858	0.246336	0.166667	0.245603	0.267962	0.267962	0.267962	0.267777	0.200000	0.262518	0.262518	0.200000	0.200000	0.261421	0.244679
AA5 - Alternativa de afretamento 5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.106503	0.412013	0.414680	0.418539	0.358606	0.505253	0.166667	0.403586	0.378237	0.378237	0.378237	0.375584	0.200000	0.418539	0.418539	0.200000	0.200000	0.381635	0.322856
C11 - Custo de combustível	0.157621	0.237248	0.239018	0.146048	0.135443	0.000000	0.333333	1.000.000	0.195800	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.250000	0.250000	0.250000	0.200000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.249855	0.000000
C12 - Investimento na redução de emissões do transporte marítimo	0.181223	0.149652	0.280848	0.304786	0.559979	1.000.000	0.000000	0.000000	0.493386	1.000.000	0.250000	0.666667	0.666667	0.750000	0.750000	0.750000	0.800000	0.000000	0.500000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000001	1.000.000
C13 - Taxa de frete exigida	0.193300	0.197366	0.140424	0.158384	0.088953	0.000000	0.666667	0.000000	0.310814	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.095338	0.000000
C14 - Custo anual de operação do navio	0.467857	0.415734	0.339710	0.390782	0.215626	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.750000	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000	0.500000	1.000.000	1.000.000	0.654806	0.000000
C21 - Eficiência de combustível	0.389051	0.273270	0.227044	0.121957	0.119905	0.190632	0.250000	1.000.000	0.182773	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.181277	0.333333	0.214286	0.195122	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
C22 - Avanços tecnológicos no projeto do navio, motores e máquinas	0.121509	0.420902	0.423587	0.558425	0.539625	0.418161	0.000000	0.000000	0.443049	0.750000	0.000000	0.000000	1.000.000	0.430884	0.333333	0.428571	0.487805	1.000.000	0.500000	0.500000	0.527836	1.000.000	0.546931	0.457934
C23 - Reuso do calor residual	0.317036	0.132192	0.122324	0.000000	0.072489	0.120500	0.000000	0.000000	0.095883	0.250000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.121138	0.333333	0.214286	0.195122	0.000000	0.000000	0.000000	0.139648	0.000000	0.108525	0.126005
C24 - Proporção de energia limpa utilizada	0.172403	0.173637	0.227044	0.319618	0.267981	0.270707	0.750000	0.000000	0.278296	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.266700	0.000000	0.142857	0.121951	0.000000	0.500000	0.500000	0.332516	0.000000	0.344545	0.416061
C31 - Emissões de Sox	0.125000	0.168279	0.248832	0.248182	0.200000	0.000000	0.285714	0.000000	0.144040	0.285714	0.222222	0.000000	0.200000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.200000	0.126793	0.140504	0.200000	0.200000	0.200000
C32 - Emissões de Nox	0.125000	0.168279	0.248832	0.248182	0.200000	0.000000	0.285714	0.000000	0.144040	0.285714	0.222222	0.000000	0.200000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.200000	0.101346	0.140504	0.200000	0.200000	0.200000
C33 - Emissões de gases efeito estufa (GEE)	0.000000	0.168279	0.197132	0.248182	0.200000	0.000000	0.285714	0.000000	0.169208	0.285714	0.222222	0.000000	0.200000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.200000	0.107708	0.140504	0.200000	0.200000	0.200000
C34 - Materiais particulados	0.125000	0.197682	0.180789	0.145773	0.200000	0.000000	0.142857	0.000000	0.288080	0.142857	0.222222	0.000000	0.400000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.200000	0.195150	0.248380	0.200000	0.200000	0.200000
C35 - Água de lastro	0.625000	0.297480	0.124416	0.109682	0.200000	0.000000	0.000000	0.000000	0.254631	0.000000	0.111111	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.200000	0.469002	0.330108	0.200000	0.200000	0.200000
C41 - Aceitabilidade social	0.500000	0.333333	0.500000	0.666667	0.750000	0.000000	0.800000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.500000	0.000000	0.750000	0.750000	0.750000	0.750000	0.500000	0.500000	0.000000	0.000000	0.750000	1.000.000	0.500000	0.750000
C42 - Responsabilidade Social Corporativa	0.500000	0.666667	0.500000	0.333333	0.250000	0.000000	0.200000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.500000	0.000000	0.250000	0.250000	0.250000	0.250000	0.500000	0.500000	1.000.000	0.000000	0.250000	0.000000	0.500000	0.250000
C51 - Inspeção e manutenção do navio	0.244057	0.323033	0.227609	0.184948	0.275587	0.250000	0.190543	0.268368	0.335256	0.630098	0.210872	0.000000	0.000000	0.245870	0.245870	0.245870	0.717235	0.527836	0.091402	0.088077	0.000000	0.000000	0.666667	0.332516
C52 - Conformidade com regulamentos e normas	0.516135	0.424310	0.380257	0.415493	0.482683	0.500000	0.354213	0.614411	0.380764	0.218443	0.574984	0.000000	0.593634	0.430634	0.430634	0.430634	0.000000	0.000000	0.690959	0.717235	0.800000	0.000000	0.333333	0.527836
C53 - Logística avançada e sistemas de desempenho	0.148128	0.166945	0.295224	0.292590	0.141166	0.250000	0.214848	0.117221	0.187398	0.151460	0.132888	1.000.000	0.249310	0.188915	0.188915	0.188915	0.194688	0.332516	0.000000	0.194688	0.000000	0.000000	0.000000	0.139648
C54 - Percepção dos stakeholders em relação à proteção ambiental	0.091679	0.085712	0.096910	0.106969	0.100564	0.000000	0.240395	0.000000	0.096583	0.000000	0.081255	0.000000	0.157056	0.134580	0.134580	0.134580	0.088077	0.139648	0.217639	0.000000	0.200000	0.000000	0.000000	0.000000

Tabela 4.4 – Supermatriz ponderada

Supermatriz ponderada	Alternativas de afretamento					C1 - Critérios econômicos				C2 - Critérios tecnológicos				C3 - Critérios ambientais					C4 - Critérios sociais		C5 - Critérios operacionais			
	AA1	AA2	AA3	AA4	AA5	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C31	C32	C33	C34	C35	C41	C42	C51	C52	C53	C54
AA1 - Alternativa de afretamento 1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.080714	0.012851	0.017513	0.010294	0.017066	0.006924	0.083333	0.020061	0.021082	0.021082	0.021082	0.014970	0.050000	0.010294	0.012353	0.033333	0.040000	0.012992	0.017750
AA2 - Alternativa de afretamento 2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.061170	0.017046	0.017513	0.016209	0.022595	0.010229	0.041667	0.015316	0.019345	0.019345	0.019345	0.016001	0.050000	0.016209	0.019451	0.033333	0.040000	0.018169	0.023422
AA3 - Alternativa de afretamento 3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.046358	0.025405	0.030579	0.026654	0.034446	0.024248	0.041667	0.023092	0.030333	0.030333	0.030333	0.028469	0.050000	0.026654	0.031985	0.033333	0.040000	0.028329	0.030905
AA4 - Alternativa de afretamento 4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.035133	0.042696	0.051459	0.043753	0.054172	0.041056	0.041667	0.040934	0.053592	0.053592	0.053592	0.044630	0.050000	0.043753	0.052504	0.033333	0.040000	0.043570	0.040780
AA5 - Alternativa de afretamento 5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.026626	0.068669	0.082936	0.069757	0.071721	0.084209	0.041667	0.067264	0.075647	0.075647	0.075647	0.062597	0.050000	0.069757	0.083708	0.033333	0.040000	0.063606	0.053809
C11 - Custo de combustível	0.031524	0.047450	0.047804	0.029210	0.027089	0.000000	0.055556	0.200000	0.032633	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.050000	0.050000	0.050000	0.033333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.041643	0.000000
C12 - Investimento na redução de emissões do transporte marítimo	0.036245	0.029930	0.056170	0.060957	0.111996	0.250000	0.000000	0.000000	0.082231	0.200000	0.041667	0.166667	0.111111	0.150000	0.150000	0.150000	0.133333	0.000000	0.083333	0.100000	0.000000	0.000000	0.000000	0.166667
C13 - Taxa de frete exigida	0.038660	0.039473	0.028085	0.031677	0.017791	0.000000	0.111111	0.000000	0.051802	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.015890	0.000000
C14 - Custo anual de operação do navio	0.093571	0.083147	0.067942	0.078156	0.043125	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.125000	0.083333	0.055556	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.083333	0.100000	0.166667	0.200000	0.109134	0.000000
C21 - Eficiência de combustível	0.077810	0.054654	0.045409	0.024391	0.023981	0.047658	0.041667	0.200000	0.030462	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.036255	0.066667	0.042857	0.032520	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
C22 - Avanços tecnológicos no projeto do navio, motores e máquinas	0.024302	0.084180	0.084717	0.111685	0.107925	0.104540	0.000000	0.000000	0.073841	0.150000	0.000000	0.000000	0.166667	0.086177	0.066667	0.085714	0.081301	0.250000	0.083333	0.100000	0.087973	0.200000	0.091155	0.076322
C23 - Reuso do calor residual	0.063407	0.026438	0.024465	0.000000	0.014498	0.030125	0.000000	0.000000	0.015980	0.050000	0.166667	0.000000	0.000000	0.024228	0.066667	0.042857	0.032520	0.000000	0.000000	0.000000	0.023275	0.000000	0.018087	0.021001
C24 - Proporção de energia limpa utilizada	0.034481	0.034727	0.045409	0.063924	0.053596	0.067677	0.125000	0.000000	0.046383	0.000000	0.000000	0.250000	0.000000	0.053340	0.000000	0.028571	0.020325	0.000000	0.083333	0.100000	0.055419	0.000000	0.057424	0.069343
C31 - Emissões de Sox	0.025000	0.033656	0.049766	0.049636	0.040000	0.000000	0.047619	0.000000	0.024007	0.057143	0.037037	0.000000	0.033333	0.000000	0.000000	0.000000	0.055556	0.000000	0.033333	0.025359	0.023417	0.040000	0.033333	0.033333
C32 - Emissões de Nox	0.025000	0.033656	0.049766	0.049636	0.040000	0.000000	0.047619	0.000000	0.024007	0.057143	0.037037	0.000000	0.033333	0.000000	0.000000	0.000000	0.055556	0.000000	0.033333	0.020269	0.023417	0.040000	0.033333	0.033333
C33 - Emissões de gases efeito estufa (GEE)	0.000000	0.033656	0.039426	0.049636	0.040000	0.000000	0.047619	0.000000	0.028201	0.057143	0.037037	0.000000	0.033333	0.000000	0.000000	0.000000	0.055556	0.000000	0.033333	0.021542	0.023417	0.040000	0.033333	0.033333
C34 - Materiais particulados	0.025000	0.039536	0.036158	0.029155	0.040000	0.000000	0.023810	0.000000	0.048013	0.028571	0.037037	0.000000	0.066667	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.033333	0.039030	0.041397	0.040000	0.033333	0.033333
C35 - Água de lastro	0.125000	0.059496	0.024883	0.021936	0.040000	0.000000	0.000000	0.000000	0.042438	0.000000	0.018519	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.033333	0.093800	0.055018	0.040000	0.033333	0.033333
C41 - Aceitabilidade social	0.100000	0.066667	0.100000	0.133333	0.150000	0.000000	0.133333	0.200000	0.000000	0.083333	0.000000	0.125000	0.150000	0.150000	0.150000	0.150000	0.083333	0.125000	0.000000	0.000000	0.125000	0.200000	0.083333	0.125000
C42 - Responsabilidade Social Corporativa	0.100000	0.133333	0.100000	0.066667	0.050000	0.000000	0.033333	0.000000	0.166667	0.000000	0.083333	0.000000	0.041667	0.050000	0.050000	0.050000	0.083333	0.125000	0.166667	0.000000	0.041667	0.000000	0.083333	0.041667
C51 - Inspeção e manutenção do navio	0.048811	0.064607	0.045522	0.036990	0.055117	0.062500	0.031757	0.053674	0.055876	0.126020	0.035145	0.000000	0.000000	0.049174	0.049174	0.049174	0.119539	0.131959	0.015234	0.017615	0.000000	0.000000	0.111111	0.055419
C52 - Conformidade com regulamentos e normas	0.103227	0.084862	0.076051	0.083099	0.096537	0.125000	0.059036	0.122882	0.063461	0.043689	0.095831	0.000000	0.098939	0.086127	0.086127	0.086127	0.000000	0.000000	0.115160	0.143447	0.133333	0.000000	0.055556	0.087973
C53 - Logística avançada e sistemas de desempenho	0.029626	0.033389	0.059045	0.058518	0.028233	0.062500	0.035808	0.023444	0.031233	0.030292	0.022148	0.250000	0.041552	0.037783	0.037783	0.037783	0.032448	0.083129	0.000000	0.038938	0.000000	0.000000	0.000000	0.023275
C54 - Percepção dos stakeholders em relação à proteção ambiental	0.018336	0.017142	0.019382	0.021394	0.020113	0.000000	0.040066	0.000000	0.016097	0.000000	0.013543	0.000000	0.026176	0.026916	0.026916	0.026916	0.014680	0.034912	0.036273	0.000000	0.033333	0.000000	0.000000	0.000000

Tabela 4.5 – Supermatriz limite

Supermatriz limite	AA - Alternativas de afretamento					C1 - Critérios econômicos				C2 - Critérios tecnológicos				C3 - Critérios ambientais					C4 - Critérios sociais		C5 - Critérios operacionais			
	AA1	AA2	AA3	AA4	AA5	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C31	C32	C33	C34	C35	C41	C42	C51	C52	C53	C54
AA1 - Alternativa de afretamento 1	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734	0.018734
AA2 - Alternativa de afretamento 2	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203	0.019203
AA3 - Alternativa de afretamento 3	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918	0.025918
AA4 - Alternativa de afretamento 4	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437	0.037437
AA5 - Alternativa de afretamento 5	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833	0.054833
C11 - Custo de combustível	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871	0.021871
C12 - Investimento na redução de emissões do transporte marítimo	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798	0.074798
C13 - Taxa de frete exigida	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696	0.016696
C14 - Custo anual de operação do navio	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984	0.066984
C21 - Eficiência de combustível	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745	0.020745
C22 - Avanços tecnológicos no projeto do navio, motores e máquinas	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810	0.087810
C23 - Reuso do calor residual	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411	0.027411
C24 - Proporção de energia limpa utilizada	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385	0.051385
C31 - Emissões de Sox	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004	0.030004
C32 - Emissões de Nox	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666	0.029666
C33 - Emissões de gases efeito estufa (GEE)	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295	0.029295
C34 - Materiais particulados	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923	0.029923
C35 - Água de lastro	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009	0.028009
C41 - Aceitabilidade social	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269	0.091269
C42 - Responsabilidade Social Corporativa	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344	0.066344
C51 - Inspeção e manutenção do navio	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840	0.040840
C52 - Conformidade com regulamentos e normas	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431	0.078431
C53 - Logística avançada e sistemas de desempenho	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222	0.034222
C54 - Percepção dos stakeholders em relação à proteção ambiental	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172	0.018172

Importante destacar que na supermatriz limite (figura 4.5), todas as colunas são iguais e os valores decorrentes desta convergência correspondem aos pesos dos critérios e o *ranking* final das alternativas de afretamento, sendo a AA5 considerada a melhor alternativa, seguida das alternativas AA4, AA3, AA2 e AA1.

4.3.5.

Resultados da Fase 4: Análise de sensibilidade

Devido à impossibilidade de agenda dos especialistas envolvidos nas fases anteriores, esta fase não pode ser realizada em tempo para que seus resultados fossem incluídos neste capítulo. No entanto, como abordado no item 3.3.4, o modelo proposto possibilita a avaliação de alternativas de afretamento de forma contínua, uma vez que é possível a alteração dos pesos atribuídos durante as comparações, possibilitando a redefinição de prioridades pelos responsáveis pelo afretamento em situações distintas. Para tal, devem ser realizadas várias rodadas com suporte do *software* SuperDecisions®, alterando-se os pesos atribuídos durante as comparações. Prevê-se a realização desta etapa em breve para que os resultados possam constar da elaboração de um artigo científico em periódico internacional de classificação superior no Qualis Capes.

4.4.

Discussão dos resultados e conclusões do estudo empírico

O estudo empírico permitiu demonstrar a aplicabilidade do modelo conceitual de seleção de alternativas de afretamento de navios inteligentes e sustentáveis para exportação e importação de petróleo e derivados em uma subsidiária da Petrobras – a Transpetro. Além disso, possibilitou o engajamento de quatro especialistas com conhecimento e experiência em transporte marítimo, com ênfase em aspectos de digitalização e sustentabilidade.

A avaliação da razoabilidade dos pesos dos critérios e *ranking* das alternativas de afretamento gerados após a aplicação do método ANP contribuiu para confirmar os primeiros julgamentos realizados e dar maior consistência aos resultados obtidos na Fase 3 de aplicação do modelo.

Os diferenciais metodológicos em relação às práticas de seleção de alternativas de afretamento de navios reportadas nos estudos s revistos no capítulo

2 (quadro 2.2) puderam ser evidenciados mediante a aplicação do modelo na Transpetro.

Os principais resultados advindos da aplicação do modelo conceitual na Transpetro foram: (i) demonstração da aplicabilidade do modelo em si; (ii) a percepção favorável dos especialistas que participaram do estudo, quanto à flexibilidade do modelo e o potencial de construção de cenários conforme situações reais de tomada de decisão de afretamento; (iii) o potencial de replicação do modelo em outras empresas de transporte marítimo no Brasil e no mundo que desejam operar novos modelos de negócio segundo o novo paradigma de transporte marítimo internacional.

Apesar dos resultados obtidos, quatro limitações podem ser apontadas neste estudo empírico, a saber:

- (i) A aplicação do modelo proposto em uma única empresa de transporte marítimo, apesar de sua importância no setor de óleo e gás;
- (ii) o não emprego da lógica *fuzzy*, visto a subjetividade e o risco de viés nas etapas de julgamentos pelos especialistas em reuniões consensuais;
- (iii) os julgamentos consensuais durante a fase de aplicação do método ANP foram limitados a um grupo pequeno de especialistas;
- (iv) a não realização da Fase 4, por impossibilidade de agenda dos especialistas envolvidos nas fases anteriores.

5 Conclusões

A presente pesquisa contribuiu para o avanço do conhecimento sobre aplicação de métodos multicritério em processos decisórios de seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados, segundo uma visão conjunta dos dois vetores da atual transformação que o transporte marítimo vem experimentando em nível mundial. Nessa perspectiva, um modelo conceitual foi desenvolvido, empregando-se análise morfológica para geração das configurações alternativas de navios inteligentes e sustentáveis e uma abordagem multicritério para a seleção propriamente dita das alternativas de afretamento. Os resultados obtidos no decorrer da pesquisa aqui descrita permitiram que o objetivo geral desta dissertação fosse alcançado. A aplicabilidade do modelo proposto foi demonstrada mediante o desenvolvimento de um estudo empírico em uma empresa brasileira de transporte marítimo, subsidiária da Petrobras – a Transpetro.

A partir de uma análise comparativa de trabalhos científicos referentes ao emprego de tecnologias digitais habilitadoras (TDHs) na construção de navios e no transporte marítimo, evidenciaram-se as lacunas na literatura, traduzidas nas questões norteadoras da presente pesquisa. Foram apresentados 18 estudos que fundamentaram o desenvolvimento do modelo proposto e contribuíram de forma significativa para que os objetivos específicos 1 e 2 da pesquisa fossem alcançados.

O modelo conceitual aqui proposto e a demonstração de sua aplicabilidade em uma empresa de transporte marítimo possibilitaram que os objetivos específicos 3 e 4 desta dissertação fossem alcançados.

Pelos aspectos descritos e resultados obtidos na fase aplicada da pesquisa, considera-se que o modelo proposto pode contribuir para o aperfeiçoamento dos processos de seleção de alternativas de afretamento de navios para exportação e importação de petróleo e derivados em empresas do setor, que buscam melhoria contínua e maior eficiência e eficácia nos referidos processos. Especialistas e

profissionais responsáveis pela área de afretamento de navios nas empresas de transporte marítimo, ao aplicarem o modelo aqui proposto, poderão enquadrar as alternativas ofertadas pelo mercado segundo os parâmetros da matriz morfológica multidimensional (quadro 4.1), visando identificar aquelas que venham a atender às expectativas e necessidades dos *stakeholders* e aos requisitos funcionais e operacionais do transporte da carga em questão.

Como desdobramento natural da presente pesquisa e aprofundamento de seus resultados, sugerem-se para estudos futuros: (i) a realização de estudos de casos múltiplos, abrangendo outras empresas do setor de transporte marítimo estabelecidas no país, com o objetivo de comparar os resultados empíricos, além de indicar oportunidades de melhoria para o modelo proposto; (ii) emprego da lógica *fuzzy* nas etapas que envolvem julgamentos de especialistas, visto a subjetividade e o potencial risco de viés em reuniões consensuais; (iii) realização da análise de sensibilidade que não pode ser realizada por indisponibilidade de agenda dos participantes do estudo empírico na Transpetro e consolidação das análises apresentadas no capítulo 4; (iv) desenvolvimento de uma ferramenta computacional baseada no modelo proposto nesta dissertação, com o objetivo de futura replicação em outras empresas interessadas em aprimorar seus processos decisórios de seleção de alternativas de afretamento de navios, segundo o novo paradigma do transporte marítimo internacional.

AIELLO, G.; GIALLANZA, A.; MASCARELLA, G. Towards Shipping 4.0. A preliminary gap analysis. **Procedia Manufacturing**, v. 42, p. 24–29, 2020.

AIKHUELE, D.O.; TURAN, F.M. An improved methodology for multi-criteria evaluations in the shipping industry. **Brodogradnja**, v. 67, n.3, 2016.

ÁLVAREZ, A.; RITCHEY, T. Applications of general morphological analysis: from engineering design to policy analysis. **Acta Morphologica Generalis**, v.4, p. 1-40, 2015. Disponível em: <<http://www.amg.swemorph.com/pdf/amg-4-1-2015.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

ARCISZEWSKI, T. Morphological analysis in inventive engineering. **Technology Forecasting and Social Change**, v. 126, p. 92–101, 2018.

BAO, T-T.; XIE, X.; LONG, P. Shipping enterprise performance evaluation under uncertainty base on multiple-criteria evidential reasoning approach. **Transportation Research Procedia**, v.25, p. 2757–2768, 2017.

ERNSTSEN, J.; NAZIR, S. Performance assessment in full-scale simulators – A case of maritime pilotage operations. **Safety Science**, v.129, article ID 104775, p.1-14, 2020.

FARIAS, M. R.; PINTO, L.A.V.; MOTEIRO, U.A. Métodos de eficiência energética e de mitigação de emissões de gases poluentes para navios e os impactos no setor de transporte marítimo. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. esp., p. 776-792, 2020.

FRUTH, M.; TEUTEBERG, F. Digitization in maritime logistics — What is there and what is missing?, **Cogent Business & Management**, v.4, article ID 1411066, p. 1-40, 2017.

IMPULS Foundation of the German Engineering Federation. **Industry 4.0 Readiness**. Online Self-Check for Businesses. 2020. Disponível em: <<https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

KAVALIERATOS, G.; KATSIKAS, S.; GKIOULOS, V. **Modelling shipping 4.0: a reference architecture for the cyber-enabled ship**. In: NGUYEN, N. T.; JEANANAITANAKIJ, K.; SELAMAT, A. et al. (Orgs.). *Intelligent Information and Database Systems*. Cham: Springer International Publishing, p. 202–217, 2020.

LAMBROU, M.; OTA, M. **Shipping 4.0: technology stack and digital innovation challenges**. In: IAME 2017. Kyoto Japan, June 2017.

MARTINS, F.; ALMEIDA, M. F.; CALILI, R.; OLIVEIRA, A. Design thinking applied to smart home projects: a user-centric and sustainable perspective. **Sustainability**, v.12, n. 23, article ID 10031, 2020.

MISHRA, B. **Emerging technology trends in shipping and maritime industry**. 2019. Disponível em: <<https://seanews.co.uk/features/emerging-technology-trends-in-shipping-and-maritime-industry/>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MUNIM, Z.; DUSHENKO, M.; JIMENEZ, V. et al. Big data and artificial intelligence in the maritime industry: a bibliometric review and future research directions. **Maritime Policy & Management**, v.47, n.5, p.577–597, 2020.

OGBONNAYA, E. A.; POKU, R.; ADIGIO, E. Effects of green shipping to the maritime industry. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 3, n.2, p. 402–407, 2013.

RAMIREZ-PEÑA, M.; FRAGA, F. A. F.; SALGUERO, J.; BATISTA, M. Assessing sustainability in the shipbuilding supply chain 4.0: a systematic review. **Sustainability**, v.12, n.16, article ID 6373, 2020a.

RAMIREZ-PEÑA, M.; SOTANO, A. J. S.; PÉREZ-FERNANDEZ, V.; ABAD, F.J.; BATISTA, M. Achieving a sustainable shipbuilding supply chain under I4.0 perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, article ID 118789, 2020b.

REN, J.; LÜTZEN, M.; RASMUSSEN, H. B. **Identification of success factors for green shipping with measurement of greenness based on ANP and ISM**. In: LEE, P. T-W.; YANG, Z. (Orgs.). Multi-criteria decision making in maritime studies and logistics: applications and cases. Cham: Springer International Publishing, 2018, p.79–103. (International Series in Operations Research & Management Science).

SAATY, T.L. **Decision making with dependence and feedback: the analytic network process**. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.

SAATY, T.L.; TAKIZAWA, M. Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks. **European Journal of Operational Research**, v. 26, n.2, p. 229-237, 1986.

SAHIN, B.; YIP, T. L.; TSENG, P-H. et al. An application of a fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis algorithm for dry bulk carrier selection. **Information**, v.11, n.5, p.251, 2020.

SANCHEZ-GONZALEZ, P. L.; DÍAZ-GUTIÉRREZ, D.; LEO, T. J.; NÚÑEZ-RIVAS, L. R. Toward digitalization of maritime transport? **Sensors**, v.19, n.4. p. 926-948, 2019.

SHENOI, R. A.; BOWKER, J. A.; DZIELENDZIAK, A. S.; et al. **Global marine technology trends 2030**. Disponível em: <<http://www.southampton.ac.uk/smmi/news/2015/09/gmmt2030.page>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SHI, W.; XIAO, Y.; CHEN, Z.; MCLAUGHLIN, H.; LI, K.X. (2018) Evolution of green shipping research: themes and methods. **Maritime Policy & Management**, v.45, n.7, p.863-876, 2018.

SIMÕES, R.S.F. **Uso de energias sustentáveis em navios de recolha de resíduos**. Porto, 2019, 182p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Mecânica – Mestrado em Energias Sustentáveis. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

SMART. **Technologies that will have big impact on the future of shipping**. 2018. Disponível em: <<https://safety4sea.com/cm-technologies-that-will-have-big-impact-on-the-future-of-shipping/>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SULLIVAN, B.P; SHANTANOO, D.; SOLE, J.; ROSSI, M.; RAIMUNDO, L.; TERZI, S. Maritime 4.0 – opportunities in digitalization and advanced manufacturing for vessel development. **Procedia Manufacturing**, v. 42, p.246-253, 2020.

SUM, Y, TIECHENG W, YUMIN S e HUANGHUANG P., 2020. **Numerical Prediction on Vibration and Noise Reduction Effects of Propeller Boss Cap Fins on a Propulsion System** . Brodogradnja : Teorija i Praksa Brodogradnje i Pomorske Tehnike 71, no 4 (1o de outubro de 2020): 1–18.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty. **Journal of Risk and Uncertainty**, v.5, n.4, p.297-323, 1992.

UNCTAD. **Review of maritime transport 2019**. New York: United Nations Publications, 2019.

UNCTAD. **Review of maritime transport 2020**. New York: United Nations Publications, 2020.

UNCTAD. **Review of maritime transport 2021**. New York: United Nations Publications, 2021.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2006.

WARIISHI, K. **Maritime autonomous surface ships: development trends and prospects – how digitalization drives changes in maritime industry**. Mitsui & Co. Global Strategic Studies Institute. Monthly Report September 2019.

XIE, X.; XU, D-L.; YANG, J-B.; WANG, J.; REN, J.; YU, S. Ship selection using a multiple-criteria synthesis approach. **Journal of Marine Science and Technology**, v.13, n.1, p.50-62, 2008.

YIN, R. K. **Case study research and applications: design and methods**. 5th ed. Thousand Oaks, California: Sage Publications, 2013.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. 4th ed. New York: Sage Publications, 2013.

YIN, R.K., 2015. **Qualitative research from start to finish**. New York: Guilford Publications, 2015.

ZWICKY, F. **Discovery, invention, research through the morphological approach**. New York: Macmillan Publishers, 1969.

.

Anexo 1

Descrição do método *Analytic Network Process* (ANP)

Este anexo é extraído da dissertação de Gomes (2021) e descreve o método ‘*Analytic Network Process*’ (ANP).

O método ANP é um processo para decompor um problema em uma estrutura de rede, permitindo identificar relações de dependência e *feedback* intra e entre conjuntos de elementos (Saaty e Takizawa, 1986; Saaty, 1996; 2004; 2005).

O método ANP é uma evolução do método AHP. Com isso, utiliza a base do AHP para realizar as suas operações. O método AHP compreende quatro etapas, de acordo com a descrição de Saaty (1991) e Costa (2006): (i) organização da estrutura hierárquica, através da identificação do foco principal, dos critérios e subcritérios (quando existirem) e das alternativas, refletindo as relações existentes entre eles; (ii) obtenção dos dados e coleta de julgamentos de valor, através da comparação dos elementos dois a dois e estabelecimento das matrizes de comparações; (iii) análise das matrizes de comparações geradas na fase anterior, que indicarão a prioridade de cada alternativa em relação ao foco principal; (iv) análise dos indicadores de desempenho derivados, como índices de consistência por exemplo.

No método AHP, os elementos de uma hierarquia para a resolução de problemas de decisão são o foco principal, o conjunto de alternativas viáveis e o conjunto de critérios.

O foco principal é o objetivo global, o que a resolução do problema trará. As alternativas viáveis são as possibilidades de escolha dentro do problema para que a decisão seja tomada. Por fim, os critérios são as características ou propriedades a partir das quais as alternativas devem ser avaliadas.

Na sequência, serão descritos os aspectos gerais sobre o processo para a aplicação do método ANP.

A primeira etapa – formulação do problema de decisão - consiste dos seguintes passos:

- Passo 1 – Construção da rede com a identificação das cláusulas e seus elementos;
- Passo 2 – Determinação das relações de causa e efeito entre cláusulas e elementos;
- Passo 3 – Construção da matriz de controle hierárquico;
- Passo 4 – Construção da matriz de dominância interfatorial.

Na segunda etapa (julgamentos), devem ser realizados quatro passos, como segue:

- Passo 1 – Comparações pareadas dos elementos e das cláusulas;
- Passo 2 – Verificação da consistência dos julgamentos;
- Passo 3 – Obtenção dos autovetores de prioridades e matriz de peso dos clusters.

Finalmente, a terceira etapa refere-se a elaboração das supermatrizes e obtenção do resultado final:

- Passo 1 – Construção da supermatriz sem pesos;
- Passo 2 – Obtenção da supermatriz ponderada;
- Passo 3 – Elevação da supermatriz ponderada à potência;
- Passo 4 – Obtenção da matriz limite;
- Passo 5 – Resultado final.

Etapa 1: Formulação do problema de decisão

Consiste na estruturação do problema de decisão. Em aplicações do ANP necessita-se formar grupos que agrupem critérios e alternativas indicando por meio de uma rede a existência ou não de relações entre os elementos de cada um. A figura Ap.1 indica um exemplo hipotético de uma rede para aplicação do método ANP.

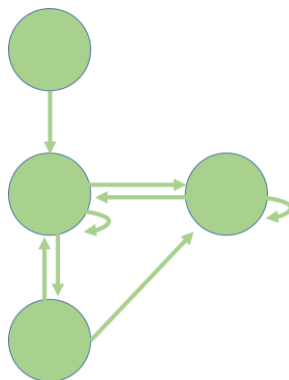


Figura Ap. 1 – Exemplo didático de uma rede para aplicação do método ANP
Fonte: Saaty, 1996.

Na sequência, ocorre a estruturação da matriz de controle hierárquico, que apresenta a relação entre as cláusulas, e da matriz de dominância interfatorial, cujo objetivo é indicar a relação entre os elementos, uma vez que uma rede pode possuir uma representação complexa.

Binárias, por padrão as matrizes de controle hierárquico e a matriz de dominância interfatorial possuem a diagonal da planilha igual a 0. Caso o elemento na linha influencie o elemento da coluna, insere-se 1 na respectiva célula da matriz e 0, caso contrário. A tabela Ap.1 mostra um exemplo didático de uma matriz de controle hierárquico de uma rede hipotética de 2 cláusulas e a tabela Ap.2 apresenta um exemplo hipotético de uma matriz de dominância interfatorial preenchida com as relações entre 3 elementos de uma rede hipotética.

Tabela Ap.1 – Exemplo hipotético de uma matriz de controle hierárquico

	Cláusula 1	Cláusula 2
Cláusula 1	0	1
Cláusula 2	1	0

Tabela Ap.2 – Exemplo hipotético de uma matriz de dominância interfatorial

	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Elemento 1	0	1	0
Elemento 2	1	0	1
Elemento 3	1	1	0

Etapa 2: Julgamentos

Após a hierarquização, o método indica os julgamentos de valor a partir de uma matriz de comparação pareada relaciona os itens a serem comparados de maneira que os valores atribuídos aos julgamentos feitos são registrados na célula indicada para avaliações na sequência.

No método AHP, a matriz de decisão $A = (a_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, é uma matriz de ordem n , sendo n o número de elementos a serem comparados de forma pareada. A é uma matriz recíproca positiva, isto é, $a_{ij} = 1/a_{ji}$ e $a_{ij} > 0$, $\forall i, j = 1, 2, \dots, n$ (Saaty, 2001).

Visto que há dificuldades relacionadas às características de escalas de atribuição de valores, como, por exemplo, a possibilidade de classificar objetos de

forma individual, que tendem a ser lineares e homogêneas entre outros aspectos, diferentemente do mundo real, Saaty (2001) recomenda que atributos devem ser tratados com escalas relativas.

Os julgamentos nas comparações pareadas consistem em responder duas perguntas: (i) qual dos dois elementos é o mais importante em relação ao objetivo desejado e com qual intensidade. Para tal, deve ser adotada a escala de nove pontos proposta por Saaty (1991), como mostra o quadro Ap. 1 a seguir.

Quadro Ap. 1 – Escala Saaty de nove pontos para comparações pareadas

Intensidade	Definição
1	Mesma importância
3	Importância moderada de um item comparado ao outro
5	Importância grande ou essencial de um item comparado ao outro
7	Importância muito grande ou demonstrada de um item comparado ao outro
9	Importância absoluta de um item comparado ao outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes

Fonte: Saaty, 1991.

O elemento mais importante receberá um valor inteiro, enquanto o menos importante receberá o inverso dessa unidade, como indicado no exemplo didático da figura Ap. 1.

Matriz A

	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Figura Ap. 1 – Exemplo didático de matriz de julgamentos para o método AHP

Fonte: Saaty, 1991.

As letras A, B, C e D indicam os elementos a serem comparados de forma pareada. A diagonal da matriz recebe sempre 1, pois é a comparação do elemento consigo próprio. Para o preenchimento dos outros campos, são realizados os julgamentos para determinar a intensidade da importância, utilizando a escala determinada por Saaty. Para as comparações inversas, são adicionados os valores recíprocos referentes a cada julgamento, que estão na parte superior direita da matriz.

Realizando $a_{ij} = w_i/w_j$, a matriz $A = (a_{ij})$ de comparações pareadas dos elementos A_1, A_2, \dots, A_n pode ser descrita de acordo com a figura Ap. 2, em que os valores alocados às comparações obedecem a uma escala relativa baseada na comparação dos valores de importância w_1, w_2, \dots, w_n , relativo aos respectivos elementos.

$$\begin{array}{c}
 A_1 \\
 \vdots \\
 A_n
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 A_1 \quad \dots \quad A_n \\
 \left[\begin{array}{ccc}
 \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\
 \frac{w_1}{w_1} & & \frac{w_n}{w_n} \\
 \vdots & \ddots & \vdots \\
 \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n}
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figura Ap. 2 – Matriz de decisão relativa
Fonte: Saaty, 1996.

Com as matrizes recíprocas devidamente estruturadas, obtém-se o vetor de prioridades, ou pesos, a partir do cálculo do autovetor normalizado do máximo autovalor. Existem métodos específicos para o cálculo aproximado desses valores (Saaty, 1991). Tais aproximações foram desenvolvidas por limitações computacionais da época em que o método foi desenvolvido, sendo custoso o cálculo de autovetores e autovalores para matrizes de ordem elevada.

Para fins deste trabalho, será utilizado o valor preciso de ambas as grandezas, que são denotadas matricialmente pela equação (01).

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (01)$$

A é a matriz de julgamentos (quadrada, recíproca e positiva);

w é o autovetor principal, referente aos pesos;

λ_{\max} é o autovalor principal de A .

A figura Ap. 3 representa a equação (01) na forma matricial.

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & & \frac{w_n}{w_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Figura Ap. 3 – Matriz de decisão relativa
Fonte: Saaty, 1996.

A consistência das avaliações é obtida através do índice de consistência (IC), verificado por meio da equação (02), que objetiva calcular o desvio de λ_{\max} em relação a n , já que a utilização da escala para os julgamentos geram variações em a_{ij} , alterando λ_{\max} .

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (02)$$

É comum os julgamentos realizados pelos especialistas gerarem inconsistências, porque fazem parte da avaliação humana, porém espera-se que sejam as menores possíveis. Para avaliar a coerência, utiliza-se a razão de consistência (RC), verificado por meio da equação (03).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (03)$$

O índice randômico (IR) é o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada aleatoriamente, baseada na escala de 1 a 9, com recíprocas forçadas (Saaty, 1996). Este valor é tabelado e varia de acordo com a ordem da matriz. Na tabela Ap. 1, é apresentado o valor de IR para matrizes de ordem 1 até 10.

Tabela Ap. 1 – Índice de consistência aleatória (IR)

Tamanho n	1	2	3	4	5	6	7	8
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40

Fonte: Saaty (1996).

Etapas 3: Elaboração das supermatrizes e obtenção do resultado final

Com o cálculo dos pesos dos elementos através do cálculo dos vetores de prioridades e a verificação da consistência dos julgamentos, elaboram-se a supermatriz original, supermatriz ponderada e a supermatriz limite.

A supermatriz original relaciona todos os elementos organizados em seus grupos e com os respectivos vetores de prioridades. A supermatriz ponderada, estocástica, é obtida multiplicando a supermatriz original pelas prioridades das cláusulas. Já a supermatriz limite é calculada com a aplicação do método das potências à matriz ponderada. O resultado final do método ANP, com as respectivas prioridades dos elementos, é verificado com a supermatriz limite, cujos valores necessitam ser normalizados.

Referências bibliográficas do Anexo 1

COSTA, H. G. **Auxílio multicritério à decisão: método AHP**. Rio de Janeiro: Abepro. 2006.

GOMES, F. V. **Modelo de autoavaliação de sistemas de gestão da inovação de organizações, baseado na Norma ABNT NBR ISO 56002:2020**. Rio de Janeiro, 2021. 152 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SAATY, T. L. **Decision making with dependence and feedback: the analytic network process**. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.

SAATY, T. L. Fundamentals of the analytic network process – multiple networks with benefits, costs, opportunities and risks. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, Vol. 13, no. 3, p.348-379, 2004.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Mc-Graw-Hill, Makron. 1991.

SAATY, T. L. **Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs and risks**, 1st ed., Pittsburgh: RWS Publications, 2005.

SAATY, T.L.; TAKIZAWA, M. Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks. **European Journal of Operational Research**, v. 26, n.2, p. 229-237, 1986.