

ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA NAVEGAÇÃO DE CABOTAGEM  
NO BRASIL: O CASO DO TRANSPORTE DE MINÉRIO DE FERRO PARA A  
SIDERÚRGICA DO PECÉM

Vito Longhi Rodrigues

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

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro

Maio de 2013

ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA NAVEGAÇÃO DE CABOTAGEM  
NO BRASIL: O CASO DO TRANSPORTE DE MINÉRIO DE FERRO PARA A  
SIDERÚRGICA DO PECÉM

Vito Longhi Rodrigues

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

Examinada por:

---

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

---

Prof. Márcio Peixoto de Sequeira Santos, Ph.D.

---

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

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2013

Rodrigues, Vito Longhi

Análise dos Impactos Ambientais da Navegação de Cabotagem No Brasil: O Caso do Transporte de Minério de Ferro Para a Siderúrgica do Pecém / Vito Longhi Rodrigues – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

XIV, 129 p.: il. ; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D’Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/Programa de Engenharia de Transportes, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 113-116.

1. Transporte Marítimo 2. Impactos Ambientais Marítimos 3. Navegação de Cabotagem 4. Emissão de Gases de Efeito Estufa. I. D’Agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de realização deste trabalho.

À minha esposa (que se tornou minha esposa na metade do Mestrado) Ingridi, pelo incentivo, paciência, amor e carinho durante todo o mestrado.

Aos meus pais, ao meu irmão e a toda minha família pelo apoio de todas as horas.

A minha avó Ana “nega”, que sempre me apoiou em tudo, meu eterno agradecimento, em memória.

Ao meu orientador Márcio de Almeida D’Agosto por ter acreditado em mim e não ter desistido de mim nesses longos anos, sempre me apoiando e me incentivando. Obrigado por ser sempre atencioso e paciente ao orientar esse trabalho.

Ao ilustríssimo Prof. D.Sc. Amaranto pelo convívio, por ter sido o meu primeiro orientador, por ter me aceitado no programa e por toda confiança depositada em mim. Meu eterno agradecimento a essa pessoa inigualável, em memória.

Ao Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ por ter oferecido todo o apoio necessário e aos professores por terem compartilhado seus conhecimentos e ensinamentos para a realização deste trabalho.

A cada professor da Banca Examinadora: D.Sc. Márcio de Almeida D’Agosto, D.Sc. Floriano Carlos Martins Pires Junior e Ph.D. Márcio Peixoto de Sequeira Santos, pela dedicação de seu precioso tempo, atenção e qualidade da avaliação, críticas e sugestões, que certamente solidificarão esta dissertação.

Aos grandes e eternos amigos que ganhei no mestrado.

Em especial ao meu grande amigo Michel que me apoiou desde o início do programa até os dias de hoje, que me apoiou na vida acadêmica e profissional.

Aos funcionários do PET/COPPE/UFRJ pela dedicação, amizade e pelo simples convívio ao longo deste período.

Ao CNPq pelo suporte financeiro que propiciou minha bolsa de estudos.

À Vale S.A. pela oportunidade de poder desenvolver um estudo de altíssima representatividade no meio acadêmico e profissional.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho.

Obrigado, por ultimo a você, que está utilizando esse trabalho como meio de aprendizado. Essa é a maior recompensa para o autor.

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

ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA NAVEGAÇÃO DE CABOTAGEM  
NO BRASIL: O CASO DO TRANSPORTE DE MINÉRIO DE FERRO PARA A  
SIDERÚRGICA DO PECÉM

Vito Longhi Rodrigues

Maio/2013

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

Esta dissertação trata da análise dos impactos ambientais marítimos da navegação de cabotagem no Brasil, sendo utilizado um estudo de caso do transporte de minério de ferro para a Siderúrgica do Pecém para mensurar e identificar a frota ideal do ponto de vista ambiental. Para isso foram definidas, por meio de pesquisas bibliográficas, as características do modo aquaviário e da cabotagem, identificando-se as principais vantagens e desvantagens do modo aquaviário e da cabotagem no Brasil. Outro ponto fundamental foi a identificação do consumo de combustíveis dos navios. Além disso, foram determinados, a partir de amplas pesquisas, os conceitos ambientais voltados para a navegação, o que proporciona um embasamento teórico bem específico referente aos principais impactos ambientais causados pelo transporte marítimo. Em seguida, foram inseridos os indicadores de impactos ambientais marítimos em um estudo de caso de alguns cenários com diferentes tipos de frota. Com os resultados os cenários foram ranqueados, podendo assim ser identificada a frota de menor impacto ambiental marítimo para o estudo de caso.

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

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF CABOTAGE IN BRAZIL: THE  
CASE OF TRANSPORTATION OF IRON ORE FOR STEELMAKING OF PECÉM

Vito Longhi Rodrigues

May/2013

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transportation Engineering

This dissertation is about the analysis of the environmental marine impacts of cabotage in Brazil, using a case study of the transport of iron ore for Metallurgical of Pecém to measure and identify the ideal fleet of environmental point of view. For that were defined through literature searches, the characteristics of the water transportation and cabotage mode, identifying the main advantages and disadvantages of the mode of water transport and cabotage in Brazil. Another key point was the identification of the fuel consumption of ships. Moreover, were determined from extensive research, the environmental concepts geared for navigation, which provides a theoretical basement very specific regarding the main environmental impacts caused by sea transport. Then were inserted indicators of environmental impacts in a marine case study of some scenarios with different fleet. With the results of the scenarios were ranked, and thus can be identified the fleet with less environmental impact to the maritime case study.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1.JUSTIFICATIVA.....  | 1         |
| 1.2.PREMISSAS E HIPÓTESE DA PESQUISA.....   | 3         |
| 1.3.OBJETO E OBJETIVO DO ESTUDO.....  | 4         |
| 1.4.METODOLOGIA DE PESQUISA.....  | 4         |
| 1.5.ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....   | 5         |
| <b>2. MODO AQUAVIÁRIO.....</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1. INTRODUÇÃO.....  | 7         |
| 2.2. CARACTERÍSTICAS DO MODO AQUAVIÁRIO.....  | 8         |
| 2.3. NAVEGAÇÃO DE CABOTAGEM.....  | 11        |
| 2.3.1. Entraves da navegação de<br>Cabotagem.....   | 12        |
| 2.3.2. Vantagens na navegação de<br>cabotagem.....  | 16        |
| 2.3.3. Movimentação de Carga na navegação de<br>Cabotagem.....  | 17        |
| 2.4. TIPOS DE NAVIOS.....   | 20        |
| 2.4.1. Navio de Carga Geral.....  | 21        |
| 2.4.2. Navio-Tanque ou Petroleiros.....   | 21        |
| 2.4.3. Navio Porta Contêineres.....   | 21        |
| 2.4.4. Navio Ro-Ro (Roll on-Roll off off).....  | 22        |
| 2.4.5. Navio Graneleiro – <i>Bulk Carrier</i> .....   | 22        |
| 2.4.5.1. <i>Desempenho de Consumo de Combustível - Família<br/>                        Bulk</i> ..... | 23        |
| 2.5.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 25        |
| <b>3. INDICADORES AMBIENTAIS MARÍTIMOS.....</b>   | <b>27</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.1. INTRODUÇÃO.....  | 27        |
| 3.1.1. A Mudança Climática.....   | 27        |
| 3.1.2. O Desenvolvimento Sustentável.....   | 29        |
| 3.2. IMO - <i>INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION</i> e o Meio Ambiente.....                        | 29        |
| 3.2.1. Os Tratados da IMO.....  | 30        |
| 3.2.2. Registro IMO.....  | 33        |
| 3.3. IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO TRANSPORTE MARÍTIMO E SEUS INDICADORES.....                  | 35        |
| 3.3.1. Água de Lastro.....  | 36        |
| 3.3.2. Hidrocarbonetos e Águas Oleosas.....   | 40        |
| 3.3.3. Esgoto, Águas Residuais e Águas Pluviais.....  | 42        |
| 3.3.4. Tintas Anti-Incrustantes.....  | 43        |
| 3.3.5. Resíduos Sólidos.....  | 45        |
| 3.3.6. Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e Gases de Escape (Poluentes Locais).....           | 46        |
| 3.3.6.1. <i>Emissões de GEE Marítima no Mundo</i> .....   | 47        |
| 3.3.6.2. <i>Comparação da Eficiência dos Meios de Transporte na Emissão de CO<sub>2</sub></i> ..... | 55        |
| 3.3.6.3. <i>Emissão de CO<sub>2</sub> No Brasil</i> .....   | 56        |
| 3.4. CONCLUSÃO.....   | 57        |
| <b>4. ESTUDO DE CASO.....</b>   | <b>59</b> |
| 4.1. INTRODUÇÃO.....  | 59        |
| 4.2. COMPANHIA SIDERÚRGICA DO PECÉM .....   | 61        |
| 4.3. PORTO DO PECÉM.....  | 63        |
| 4.3.1. Características Portuárias.....  | 65        |
| 4.3.2. Descarregador de Navio.....  | 67        |
| 4.4. NAVIOS UTILIZADOS NO ESTUDO DE CASO.....   | 68        |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 4.4.1.   | Características de Consumo das Embarcações.....  | 70  |
| 4.5.     | PORTOS DE ORIGEM.....  | 71  |
| 4.5.1.   | Porto de Tubarão.....  | 72  |
| 4.5.2.   | Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TPM.....   | 75  |
| 4.6.     | PREMISSAS ADOTADAS .....   | 78  |
| 4.7.     | RESULTADOS OBTIDOS.....  | 79  |
| 4.7.1.   | RESULTADO DOS CENÁRIOS.....  | 81  |
| 4.7.1.1. | <i>Atendimento da Demanda</i> .....  | 84  |
| 4.7.1.2. | <i>Atracações no Porto do Pecém</i> .....  | 84  |
| 4.7.1.3. | <i>Atracações no Porto de Ponta da Madeira</i> .....                                     | 85  |
| 4.7.1.4. | <i>Atracações no Porto de Tubarão</i> .....  | 85  |
| 4.7.1.5. | <i>Tempo Navegando</i> .....   | 85  |
| 4.7.1.6. | <i>Tempo Parado</i> .....  | 85  |
| 4.7.1.7. | <i>Tempo Offhire</i> .....   | 86  |
| 4.7.1.8. | <i>Tempo de Docagem</i> .....  | 86  |
| 4.7.1.9. | <i>Número de navios no sistema</i> .....   | 87  |
| 4.7.2.   | Melhoria dos Cenários.....   | 88  |
| 4.7.2.1. | <i>Cenário 5 Extra</i> .....   | 90  |
| 4.7.2.2. | <i>Cenário 6 Extra</i> .....   | 92  |
| 4.8.     | RESULTADOS DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO ESTUDO DE CASO.....                                | 94  |
| 4.8.1.   | Geração de Lixo.....   | 95  |
| 4.8.2.   | Geração de Esgoto.....   | 96  |
| 4.8.3.   | Consumo de <i>Bunker</i> .....   | 97  |
| 4.8.4.   | Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e Outros Gases de Escape (Poluentes Locais)..... | 100 |
| 4.9.     | CONSIDERAÇÕES FINAIS.....  | 104 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>  | <b>109</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>113</b> |
| <b>ANEXO 1 – GERAÇÃO DE LIXO.....</b>   | <b>117</b> |
| <b>ANEXO 2 – GERAÇÃO DE ESGOTO.....</b>   | <b>118</b> |
| <b>ANEXO 3 – TOTAL DE TRIPULANTES POR CENÁRIO.....</b>  | <b>119</b> |
| <b>ANEXO 4 – CONSUMO DE <i>BUNKER</i> DO CENÁRIO 1.....</b>   | <b>120</b> |
| <b>ANEXO 5 – CONSUMO DE <i>BUNKER</i> DO CENÁRIO 2.....</b>   | <b>120</b> |
| <b>ANEXO 6 – CONSUMO DE <i>BUNKER</i> DO CENÁRIO 3.....</b>   | <b>121</b> |
| <b>ANEXO 7 – CONSUMO DE <i>BUNKER</i> DO CENÁRIO 4.....</b>   | <b>121</b> |
| <b>ANEXO 8 – CONSUMO DE <i>BUNKER</i> DO CENÁRIO 5 EXTRA.....</b>   | <b>122</b> |
| <b>ANEXO 9 – CONSUMO DE <i>BUNKER</i> DO CENÁRIO 6 EXTRA.....</b>   | <b>122</b> |
| <b>ANEXO 10 – FATOR DE EMISSÃO EM KG EMITIDO POR DIA POR TONELADA DE COMBUSTÍVEL QUEIMADO POR TIPO DE NAVIO (Kg/DIA).....</b> | <b>123</b> |
| <b>ANEXO 11 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 1 (t/ANO).....</b>   | <b>124</b> |
| <b>ANEXO 12 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 2 (t/ANO).....</b>   | <b>125</b> |
| <b>ANEXO 13 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 3 (t/ANO).....</b>   | <b>126</b> |
| <b>ANEXO 14 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 4 (t/ANO).....</b>   | <b>127</b> |
| <b>ANEXO 15 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 5 EXTRA(t/ANO). 128</b>  |            |
| <b>ANEXO 16 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 6 EXTRA (t/ANO).....</b>   | <b>129</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 01: Principais Portos Brasileiros.....  | 11 |
| Figura 02: Evolução da TPB Total da Frota de Navegação de Cabotagem.....   | 13 |
| Figura 03: Distribuição do volume transportado ao ano pela navegação de cabotagem em 2010.....                           | 18 |
| Figura 04: Divisão Modal de Transportes (% TKU por modo 2011) .....  | 18 |
| Figura 05: Classificação Detalhada dos Tipos de Navios. ....   | 20 |
| Figura 06: Rota marítima Brasil X China X Austrália.....   | 33 |
| Figura 07: Aproximação da distribuição de tráfego de navios.....   | 35 |
| Figura 08: Identificação dos tanques de lastro - Seção transversal de um navio mineraleiro.....                          | 37 |
| Figura 09: A ameaça da água de lastro .....  | 38 |
| Figura 10: Número médio de grandes derramamentos de petróleo por ano (mais de 700 toneladas).....                        | 42 |
| Figura 11: Crustáceos no casco do navio. ....  | 44 |
| Figura 12: As emissões de CO <sub>2</sub> no transporte marítimo em comparação com as emissões globais totais. ....      | 48 |
| Figura 13: Emissões de CO <sub>2</sub> por Categoria de Navio no ano de 2007. ....                                       | 49 |
| Figura 14: Número total de navios e sua distribuição por tipo de navio. ....   | 50 |
| Figura 15: Consumo de combustível separado pelas principais categorias de navio.....                                     | 51 |
| Figura 16: Variações típicas de eficiências de CO <sub>2</sub> por classe de navios comparados com os outros modos. .... | 56 |
| Figura 17: Emissão de CO <sub>2</sub> por setor no Brasil. ....  | 57 |
| Figura 18: Emissão de CO <sub>2</sub> por modo de transporte no Brasil. ....   | 58 |
| Figura 19: Fluxo Logístico Marítimo Inbound de Minério de Ferro. ....  | 61 |
| Figura 20: Fluxograma do Procedimento Adotado.....   | 62 |
| Figura 21: Localização da Siderúrgica do Pecém. ....   | 64 |
| Figura 22: Localização do Porto do Pecém.....  | 65 |
| Figura 23: Terminal Portuário do Pecém - Carta Náutica N°705.....  | 66 |
| Figura 24: Terminal Portuário do Pecém – Vista Geral.....  | 66 |
| Figura 25: Layout do Porto do Pecém no ano de 2012. ....   | 67 |
| Figura 26: Traçado da correia transportadora.....  | 69 |
| Figura 27: Sistema de abastecimento da Siderúrgica.....  | 73 |
| Figura 28: Porto de Tubarão. ....  | 74 |
| Figura 29: Traçado da navegação e distância do Porto de Tubarão.....   | 74 |
| Figura 30: Terminal Portuário de Tubarão - Carta Náutica N°1401.....   | 75 |
| Figura 31: Terminal Portuário de Tubarão – Vista Geral.....  | 76 |
| Figura 32: Localização do Porto de Ponta da Madeira.....   | 77 |
| Figura 33: Terminal Portuário de Ponta da Madeira - Carta Náutica N°413.....   | 78 |
| Figura 34: Traçado da navegação e distância do Porto de Ponta da Madeira. ....   | 78 |
| Figura 35: Terminal Portuário de Ponta da Madeira – Vista Geral.....   | 79 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 01: Total transportado por grupo de mercadoria na navegação de cabotagem.....  | 19  |
| Tabela 02: Divisão entre navios graneleiros - navios Bulk Carrier .....   | 23  |
| Tabela 03: Publicações das informações de consumo de combustível .....  | 24  |
| Tabela 04: Informações de consumo tonelada/dia por família de navios Bulk Carrier .....   | 25  |
| Tabela 05: Publicações das informações de consumo de combustível .....  | 28  |
| Tabela 06: Registro do MV Vale Brasil na IMO.....   | 34  |
| Tabela 07: Geração de resíduos oleosos por tamanho de navio .....   | 41  |
| Tabela 08: Geração de esgoto por navio .....  | 43  |
| Tabela 09: Quantidade produzida de lixo a bordo.....  | 46  |
| Tabela 10: Resumo das emissões dos GEE a partir do transporte marítimo em 2007 .....  | 48  |
| Tabela 11: Estimativa de consumo de combustível em milhões de toneladas no ano de 2007 .....  | 50  |
| Tabela 12: Fatores de emissão de GEE e gases de escape por tonelada queimada de bunker.....   | 52  |
| Tabela 13: Total da estimativa de emissão de gases de escape em milhões de toneladas no ano de 2007 .....                                 | 52  |
| Tabela 14: Fatores de emissão média entre fontes - kg por tonelada de combustível queimado .....  | 53  |
| Tabela 15: Estudo Comparativo entre as emissões de fases de escape - Fatores de emissão por kg por tonelada queimada de combustível ..... | 53  |
| Tabela 16: Estimativas de eficiência de CO2 para navios de carga.....   | 55  |
| Tabela 17: Características dos Berços do Porto do Pecém .....   | 67  |
| Tabela 18: Características técnicas dos navios do estudo de caso .....  | 70  |
| Tabela 19: Consumo dos Navios do Estudo de Caso .....   | 72  |
| Tabela 20: Possíveis cenários para o dimensionamento de frota .....   | 81  |
| Tabela 21: Resultado do dimensionamento de frota.....   | 81  |
| Tabela 22: Resultados da Simulação Dinâmica por Cenário .....   | 84  |
| Tabela 23: Resultado do dimensionamento de frota .....  | 89  |
| Tabela 24: Resultado do dimensionamento de frota dos Cenários 5 e 6 .....   | 90  |
| Tabela 25: Resultados da Simulação Dinâmica Detalhamento dos Tempos do Cenário 5 Extra Dedicado e Spot.....                               | 92  |
| Tabela 26: Resultados da Simulação Dinâmica Detalhamento dos tempos do Cenário 6 Extra Dedicado e Spot.....                               | 94  |
| Tabela 27: Geração de Lixo .....  | 96  |
| Tabela 28: Geração de Esgoto.....   | 97  |
| Tabela 29: Consumo Total de bunker .....  | 99  |
| Tabela 30: Emissão de Gases - Detalhamento dos Cenários.....  | 102 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 31: Emissão de Gases por Cenário e Variação Percentual..... | 103 |
| Tabela 32: Classificação Geral dos Cenários.....                   | 106 |
| Tabela 33: Tabela Inicial – Resultados Obtidos .....               | 107 |
| Tabela 34: Tabela Parametrizada .....                              | 108 |
| Tabela 35: Tabela Ponderada e Ranking dos Resultados .....         | 108 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                    |    |
|--------------------|----|
| Equação (3.1)..... | 54 |
|--------------------|----|

## **1. INTRODUÇÃO**

Esta dissertação propõe a elaboração de um modelo conceitual aplicado ao estudo de caso. Espera-se definir um conjunto de indicadores de impactos ambientais para o transporte marítimo, relacionados aos navios para navegação de cabotagem, especificamente para o caso do transporte de minério de ferro.

Espera-se que por meio deste trabalho seja possível determinar os indicadores ambientais para o transporte marítimo que auxiliem na escolha e identificação da frota marítima de menor impacto ambiental para o estudo de caso, o transporte de minério de ferro para a Siderúrgica do Pecém.

### **1.1 JUSTIFICATIVA**

Desde 1948, a IMO, *International Maritime Organization*, vem lutando em favor de sua missão, que é promover o transporte marítimo de forma ambientalmente segura, eficiente e sustentável através da cooperação entre as nações (IMO, 2012).

Segundo IMO (2009), estima-se que transporte marítimo tenha emitido 1.046 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2007, o que equivale a 3,3% de todas as emissões globais daquele ano. As previsões da Organização Marítima Internacional (IMO) mostram que em 2050, na ausência de novas políticas, as emissões totais do setor do transporte marítimo podem crescer de 150% (em comparação com os níveis de 2007) a 250%, dependendo do crescimento da indústria.

Medidas técnicas e operacionais, sendo elas públicas ou privadas, podem aumentar a eficiência energética do setor, ajudando assim a reduzir as taxas de gases de efeito estufa entre 25% e 75% por tonelada-quilômetro, abaixo dos níveis atuais (IMO, 2009).

A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2012) aponta para o fato de que a IMO está alterando o perfil da navegação para reduzir a

emissão de poluentes ambientais e estabelecer indicadores de emissão de gases de efeito estufa, entre outras ações. Isso determinará agregação de tecnologia às embarcações, especialmente aos motores propulsores e a seus combustíveis.

Quanto às emissões de gases de efeito de estufa (GEE), o transporte marítimo se apresenta como o modo de menor impacto ambiental, porém atualmente, cerca de 50.000 navios da marinha mercante transportam 90% de todas as mercadorias comercializadas em âmbito mundial, o que torna o transporte marítimo indispensável para a economia mundial (JRC, 2010).

A questão ambiental vem assumindo um papel de destaque nos principais fóruns mundiais e é um dos grandes problemas enfrentados por diversos países. Não existe ainda uma regulamentação aplicável às emissões dos transportes marítimos internacionais. Porém, é melhor que haja um planejamento estratégico agora para que o transporte marítimo não venha a ter problemas no futuro próximo.

Para que isso seja possível, deve haver uma preocupação sobre o assunto de forma estratégica, tanto governamental quanto empresarial. A escolha da frota ideal para uma determinada atividade de transportes a ser demonstrada no Capítulo 4 representa uma estratégia empresarial que faz parte de um estudo de caso de uma empresa privada.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2011), a divisão modal brasileira do ano de 2011, apresentou 61,10% para o modo rodoviário, 20,70% o modo ferroviário, 13,60% para o modo aquaviário, 4,20% para o modo dutoviário e 0,40% para o aéreo com. Segundo a ANTAQ (2012) a navegação de cabotagem vem crescendo significativamente nos últimos anos no Brasil, porém a mesma ainda não é muito expressiva.

Uma pesquisa realizada pelo ILOS (2012) mostrou, após pesquisa realizada nas 100 das 500 maiores empresas do País, que 68% têm a expectativa de aumentar o volume de produtos transportados pela navegação de cabotagem nos próximos dois anos. O crescimento médio verificado é de

36%. Apenas 9% das companhias responderam esperar por uma queda no uso desse transporte. O ILOS (2012) ainda ressalta a importância dos transportes em países desenvolvidos. Para efeito de comparação, na União Europeia a navegação de cabotagem significa 37% da divisão modal de transporte e na China, 48%.

O planejamento de transporte em nosso país deverá considerar cada vez mais a variável ambiental nos seus projetos estratégicos. No âmbito empresarial cabe o papel de apoiar essas diretrizes e estabelecer políticas de transporte que privilegiem o transporte menos degradante ao meio ambiente, seguindo na direção da priorização dos transportes de grande capacidade e de baixo custo ambiental. Para isso, há que se rever a sua divisão modal para que o modo aquaviário tenha maior peso.

## **1.2 PREMISSAS CONSIDERAÇÕES E HIPÓTESE DA PESQUISA**

Como premissa desta dissertação considera-se a importância do minério de ferro para a economia nacional.

Neste contexto, observa-se que o transporte marítimo de cabotagem é pouco utilizado para o transporte deste insumo pois segundo a ANTAQ (2011), o minério de ferro teve uma representatividade de 0,54% no transporte marítimo de cabotagem no Brasil.

Da produção de minério de ferro comercializada no mercado interno, apenas 0,49% do volume é transportado por navegação de cabotagem. O atual cenário brasileiro logístico/econômico mostra que a navegação de cabotagem tem potencial de crescimento para os próximos anos, sendo o modo de transporte com menor impacto ambiental.

Essa dissertação tem como hipótese, ser possível identificar, dentro de um conjunto de alternativas, uma composição de frota para o transporte marítimo de cabotagem de minério de ferro que apresente o menor impacto ambiental.

### **1.3 OBJETO E OBJETIVO DO ESTUDO**

Este estudo tem como objeto o transporte a navegação marítima de cabotagem para transporte de minério de ferro.

O objetivo principal desta dissertação é desenvolver um procedimento capaz de avaliar o desempenho ambiental do transporte marítimo de cabotagem e determinar qual a melhor alternativa, de menor impacto ambiental, que pode ser recomendada para um segmento de operação de navegação de cabotagem.

Os objetivos secundários desta dissertação são a identificação e a análise dos indicadores ambientais gerados pelo transporte marítimo de cabotagem no Brasil, com aplicação para o transporte de minério de ferro.

### **1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA**

Para a realização deste trabalho adotou-se a pesquisa bibliográfica e documental para a obtenção de dados e informações. Adicionalmente, foi necessária, para fornecer um melhor suporte ao Capítulo 4, uma pesquisa de campo nos portos do estudo de caso.

Inicialmente, para fornecer um melhor suporte ao Capítulo 2, foi realizada uma revisão bibliográfica/documental nacional e internacional do modo aquaviário e da navegação de cabotagem na costa brasileira. Nessa revisão foram incluídas suas principais características, vantagens, desvantagens, os entraves a sua adoção, sua movimentação e crescimento, com o intuito de oferecer dados para o estudo de caso.

Também foi realizada uma revisão bibliográfica/documental nacional e internacional sobre os principais indicadores ambientais utilizados no transporte marítimo para oferecer dados ao Capítulo 3. Os resultados dos indicadores apurados neste capítulo servem como base de cálculo para o Capítulo 4.

No Capítulo 4 apresenta-se o estudo de caso para o fornecimento de minério de ferro para a Siderúrgica do Pecém. Para isso foi necessária visita de

campo aos portos de Tubarão, Ponta da Madeira e Pecém, com a finalidade de aprimorar a obtenção das informações portuárias e marítimas. Uma visita técnica aos portos também foi necessária para uma melhor avaliação dos dados de *input* da simulação dinâmica, por meio do *software Arena*, implementada para simular a operação de transporte de minério de ferro, onde foram inseridas premissas e informações do estudo de caso. Foram escolhidos 08 cenários, com diferentes tipos de frotas de embarcações para identificação do dimensionamento da frota.

Ainda no Capítulo 4, foi utilizado o aplicativo *Microsoft Excel* para cruzar as informações do Capítulo 3 com os resultados do dimensionamento de frota do Capítulo 4, chegando aos valores dos indicadores ambientais por tipo de frota.

## **1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos.

O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução sobre o tema da dissertação, a justificativa do trabalho, a hipótese, as premissas, o objeto de estudo, o objetivo do estudo, a metodologia da pesquisa e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 serão apresentadas as principais características do modo aquaviário, as principais vantagens na escolha desse modo, suas desvantagens, limitações e restrições. Também serão detalhadas todas as características da navegação de cabotagem na costa brasileira. Ainda nesta parte do texto serão apresentados os principais entraves, desvantagens e vantagens, as condições da frota existente e a movimentação de carga da navegação de cabotagem brasileira nos últimos anos.

No Capítulo 3 serão identificados os principais indicadores relacionados aos impactos ambientais do transporte marítimo e sua legislação. Neste capítulo também serão apresentadas as emissões de Gases de Efeito Estufa e outros gases de escape por classe de navio e por tipo de navio.

No Capítulo 4 será apresentado, por meio do estudo de caso, o processo de fornecimento de minério de ferro para a Siderúrgica do Pecém por navegação de cabotagem. Os portos de origem serão o Porto de Tubarão e o Porto de Ponta da Madeira. O porto de destino será o Porto de Pecém, para o qual serão apresentadas as suas características técnicas. Este capítulo define as características do sistema, dos portos e dos navios, demonstrando quantitativamente o possível dimensionamento de frota. Também no Capítulo 4 serão considerados os resultados obtidos no Capítulo 3, sobre indicadores de impactos ambientais, em comparação com os resultados obtidos no Capítulo 4, sobre dimensionamento de frota.

No Capítulo 5 serão apresentadas as considerações finais, limitações da dissertação e sugestões para estudos futuros.

## 2. MODO AQUAVIÁRIO

### 2.1 INTRODUÇÃO

O comércio internacional representa a troca de bens e serviços através de fronteiras internacionais. Esse é um dos fatores essenciais para o crescimento econômico de um país. O modo aquaviário se apresenta como o modo mais simples e econômico para o transporte de mercadorias por grandes distâncias. Replicando para a navegação de cabotagem, o modo aquaviário é a maneira mais econômica de diminuir distâncias entre a fonte produtora e a consumidora. Neste cenário o Brasil é um país privilegiado, pois possui mais de 8.500 quilômetros de costa. Segundo cálculos obtidos a partir do *software Port to Port* (2012), a distância do porto de Manaus (MA) até o porto de Rio Grande (RS), ambos portos considerados para a navegação de cabotagem, é de 7.096 quilômetros.

Segundo Fleury (2003), no Brasil os valores de frete para os diferentes modos de transporte possuem a mesma ordenação encontrada nos EUA: aéreo (maior preço), rodoviário, ferroviário, dutoviário e aquaviário (menor preço). O modo aquaviário é uma opção viável de transporte de mercadorias para longas distâncias devido à segurança e ao valor do frete. No Brasil existe escassez de serviços de navegação em razão da reduzida frota de navios destinada à navegação de cabotagem e da precariedade de alguns portos, o que gera entraves para o crescimento desse modo no país. Segundo a ANTAQ (2012), a navegação de cabotagem de 2002 até 2011 aumentou cerca de 38%. Mesmo com esse crescimento “expressivo”, a frota mercante da navegação de cabotagem no Brasil é muito aquém do necessário e, atualmente, as principais cargas movimentadas são combustíveis, óleos minerais e bauxita.

Este capítulo tem a finalidade de demonstrar as principais características do modo aquaviário e da navegação de cabotagem, assim como os principais tipos de navios cargueiros. Com relação aos navios cargueiros da família graneleiro, serão demonstradas características técnicas que apoiaram o estudo

de caso no Capítulo 4, tais como dados da velocidade, da embarcação, da capacidade de transporte de carga e do consumo de combustível.

O Capítulo 2 também tem a finalidade de mostrar que a navegação de cabotagem no Brasil ainda é pouco utilizada e apresenta limitações e restrições. Isto ocorre apesar desse ser um dos modos que demonstra maior vantagem competitiva sobre os outros e que possuem maior capacidade de transporte de mercadorias e menores índices de impactos ambientais.

## **2.2. CARACTERÍSTICAS DO MODO AQUAVIÁRIO**

O transporte aquaviário engloba diversos tipos de navegação sobre água. As definições divulgadas pela ANTAQ (2012) são:

- *Navegação de cabotagem*: é aquela realizada entre portos do território brasileiro, utilizando exclusivamente a via marítima, ou a combinação da via marítima com as vias interiores.

- *Navegação de longo curso*: navegação realizada entre portos brasileiros e portos estrangeiros, ou entre estes, utilizando a via marítima ou a via marítima e as vias navegáveis interiores.

- *Navegação interior*: navegação realizada em hidrovias de interiores, em percurso nacional ou internacional.

- *Navegação de apoio marítimo*: navegação destinada ao atendimento das atividades de pesquisas e apoio para a exploração de hidrocarbonetos e outros minerais sob a água.

- *Navegação de apoio portuário*: é aquela realizada em áreas portuárias marítimas ou fluviais e lacustres, nas atividades da navegação mercante destinadas a apoiar as operações dos portos e terminais e as embarcações.

A ANTAQ (2012) ainda ressalva que o termo “hidroviário” está associado às vias navegáveis do interior, fluviais e lacustres.

Segundo Rodrigues (2005), as vantagens e desvantagens do transporte marítimo são:

*“Vantagens:*

- *Elevada capacidade de transporte;*
- *Fretes mais baratos que nos modos rodoviário e ferroviário;*
- *Custos variáveis bem mais baixos;*
- *Disponibilidade ilimitada;*
- *Faculta o uso da intermodalidade;*
- *Altíssima eficiência energética;*
- *Elevada economia de escala para grandes lotes a longa distância.*

*Desvantagens:*

- *Baixa velocidade;*
- *Rotas fixas;*
- *Pressupõe a existência de portos;*
- *Serviço lento e com grande número de manuseios, propiciando a ocorrência de avarias em mercadorias.”*

Segundo Bowersox (1996), o transporte aquaviário tem custos fixos médios, tanto para os navios quanto para os equipamentos e custos variáveis baixos. Fleury (2009) destaca que o modo aquaviário possui custos fixos medianos e custos variáveis pequenos. Isto ocorre porque o modo aquaviário tem capacidade de transportar grandes volumes e pesos, sendo o de maior capacidade entre os cinco modos de transporte, rodoviário, ferroviário, aéreo, dutoviário e aquaviário.

Ainda segundo Fleury (2009), o modo aquaviário tem um baixo desempenho de velocidade comparado com os outros modos de transporte, porém o modo permite transportar um número maior de mercadorias devido a sua capacidade em uma única viagem. Além disso, deve ser ressaltado que, na prática, o tempo de entrega do modo rodoviário e do modo ferroviário depende

fundamentalmente do estado de conservação das vias e do nível de congestionamento das mesmas.

Outro diferencial do modo aquaviário é que basicamente não apresenta limites sobre o tipo de produto que pode transportar, contanto que o navio seja adequado para o tipo de mercadoria.

Fleury (2009) também destaca que o modo aquaviário possui uma baixa frequência e disponibilidade, dificultando o crescimento da navegação de cabotagem. Outro problema é a infraestrutura portuária brasileira ser de baixa capacidade e produtividade.

Em favor da navegação de cabotagem destaca-se a vasta costa que o Brasil possui, cerca de 8,5 mil quilômetros navegáveis. Segundo a Secretaria Especial de Portos (SEP, 2012), o Brasil possui um setor portuário que movimenta anualmente cerca de 700 milhões de toneladas das mais diversas mercadorias e responde sozinho por mais de 90% das exportações.

Segundo a SEP (2012), o sistema portuário brasileiro é composto por 34 portos públicos, entre marítimos e fluviais. Desse total, 16 são delegados, concedidos ou tem sua operação autorizada à administração por parte dos governos estaduais e municipais. Existem ainda 42 terminais de uso privativo e três complexos portuários que operam sob concessão da iniciativa privada. Os portos fluviais e lacustres são de competência do Ministério dos Transportes.

Para uma melhor visualização da infraestrutura portuária do Brasil, a Figura 01 demonstra os principais portos.



Fonte: Ministério dos Transportes (2012)  
**Figura 01:** Principais Portos Brasileiros.

### 2.3. NAVEGAÇÃO DE CABOTAGEM

Segundo a ANTAQ (2012), navegação de cabotagem é aquela realizada entre portos do território brasileiro, utilizando a via marítima ou esta e as vias navegáveis de interior. Encontra-se ainda em diversas citações acadêmicas a

expressão “grande cabotagem”, que GOEBEL (1996) define como todo transporte marítimo realizado ao longo da costa brasileira até os países vizinhos. Para este estudo será utilizado o conceito da ANTAQ (2012).

O mercado de navegação de cabotagem no Brasil, por vários anos, sofreu com descaso quanto aos investimentos públicos e privados. Isto ocorreu devido às dificuldades com investimento em infraestrutura dos portos, em frota de navios, legislação e forte ideologia rodoviarista, entre outras questões.

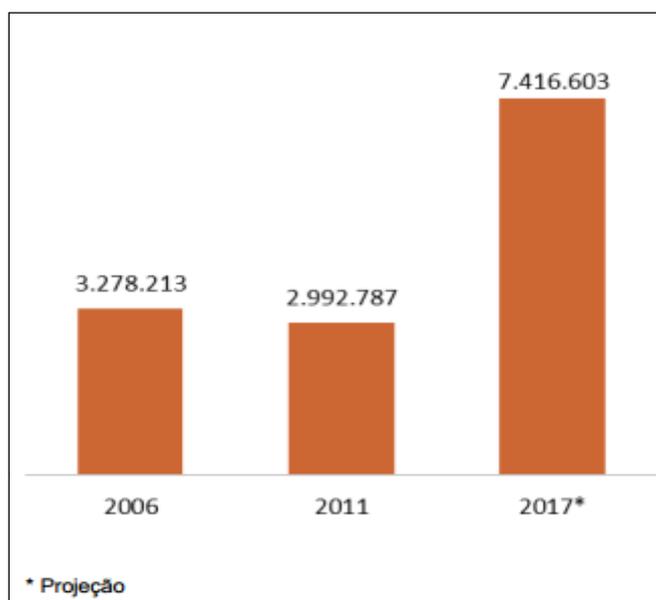
### **2.3.1 Entraves da Navegação de Cabotagem**

Segundo Ono (2001), a navegação de cabotagem sofre grandes entraves, como, por exemplo, a escassez de infraestrutura portuária, que passou por muitos anos sem investimentos. Após a implementação da Lei de Modernização dos Portos, no ano de 1993, o Brasil pôde iniciar uma melhoria nos serviços e uma redução de tarifas, inclusive realizando a modernização dos parques portuários e a desburocratização da atividade portuária.

Outro entrave é o protecionismo aplicado à navegação de cabotagem, restrito às empresas brasileiras de navegação com embarcação de bandeira brasileira. Em sua resolução 496/95, a ANTAQ (2012) estabelece alguns critérios, relacionados a seguir, para o afretamento de embarcações de empresas para navegação de cabotagem no Brasil. Esses critérios são:

- Embarcação ser de bandeira brasileira;
- Embarcação estrangeira afretada a casco nu, com suspensão de bandeira. Neste caso limitada ao dobro da tonelagem de porte bruto das embarcações de tipo semelhante, encomendadas pela interessada no afretamento a estaleiro brasileiro instalado no País, com contrato de construção em eficácia, adicionado de metade da tonelagem de porte bruto das embarcações brasileiras de sua propriedade, ressalvado o afretamento de pelo menos uma embarcação de porte equivalente.

Outro fator limitante ao avanço da navegação de cabotagem é o baixo crescimento da frota brasileira de navios. Segundo a ANTAQ (2011), a frota de navios graneleiros entre 2006 e 2011 diminuiu de 23 para 13 embarcações, acarretando uma queda de 563,8 mil TPB. A frota de petroleiros passou de 41 para 39 navios, reduzindo a TPB (Tonelada de Porte Bruto) agregada em 129,5 mil toneladas. Por outro lado, deve-se registrar que o crescimento da frota de porta-contêineres elevou a capacidade da frota de navegação de cabotagem em 255,5 mil TPB no período, identificando assim uma diminuição líquida da capacidade de transporte da frota brasileira na navegação de cabotagem. A ANTAQ ainda estima que a tendência para os próximos anos seja de que a TPB total da frota de navegação de cabotagem duplique, conforme Figura 02.



Fonte: ANTAQ (2011)

**Figura 02:** Evolução da TPB Total da Frota de Navegação de Cabotagem

Ainda segundo a ANTAQ (2011), a TPB, pode ser considerada como a diferença entre o deslocamento bruto e o líquido da embarcação, ou seja, o que pode ser transportado em carga, combustível e equipagem (tripulação). O relatório da ANTAQ (2011), publicado no final de 2011, relata que a frota brasileira, com bandeira brasileira de navios graneleiros, totaliza em apenas 13 embarcações, com uma capacidade total de 545.599 TPB. Isso equivale a 18,2% da tonelage total da frota, possuindo assim um TPB médio de 41.969 toneladas por embarcação, e uma idade média de 23,2 anos, considerada

elevada em relação à média da frota total. A idade média da frota de graneleiros acaba sendo outro entrave à navegação de cabotagem, aumentando assim tempo de deslocamento e custo com docagem outro entrave é a capacidade residual TPB da frota existente, que é baixa. Além disso, pode-se ainda relatar outros entraves, como a seguir.

Segundo o Portal Naval (2012), os estaleiros brasileiros enfrentam uma série de entraves. Eles possuem baixa capacidade para recebimento de encomenda de navios porque dependem do processamento e da movimentação do aço. Eles também têm dificuldade para encontrar mão de obra especializada. Além disso, a capacidade instalada dos estaleiros para construção de navios grandes, maiores ou iguais aos navios da família *Capesize*, é limitada. Finalmente, problemas relacionados à necessidade de avanços tecnológicos, aos prazos de entrega, à alta demanda de navios *PSVs* (*offshore*) e de navios petroleiros (encomendas feita pela Transpetro) e ao alto custo, tudo isso os coloca em posição desfavorável se comparados aos estaleiros asiáticos.

Segundo a Bunkerworld (2012), os preços de *bunker* (combustíveis marítimos) no Brasil são uns dos mais altos do mundo, se comparados com mercados como Cingapura e Roterdã. No Brasil os combustíveis de navios podem chegar ao consumidor final com uma diferença de mais de 35% se comparado ao mercado tradicional. Segundo MOREIRA (2011), no Brasil o *bunker* é 30% mais caro que o combustível para o transporte rodoviário.

Segundo a G-PORTS (2012), os custos com praticagem nos portos brasileiros passam dos 63% se comparados com outros países como China e Holanda.

No mercado brasileiro há poucos agentes financeiros. Basicamente o BNDES e o BB são os dois agentes financeiros que utilizam o Fundo da Marinha Mercante (FMM). Segundo o BNDES (2012), o Financiamento à Marinha Mercante e à Construção Naval é o financiamento para estaleiros brasileiros na realização de projetos de implantação, expansão, modernização,

construção e reparo de navios. Esse financiamento também é destinado às empresas nacionais de navegação para a encomenda de embarcações, equipamentos e reparos junto aos construtores navais brasileiros. A grande vantagem do fundo é ter baixos juros e longos prazos para pagamento.

Esse fundo é gerado através do recolhimento do Adicional de Frete para Renovação da Marinha Mercante (AFRMM), de acordo com o Decreto Lei nº 10.893/04 (PLANALTO, 2004). Este adicional é uma contribuição para o apoio ao desenvolvimento da Marinha Mercante e da indústria de construção e reparação naval brasileira, o que, inversamente, acaba se tornando um entrave para a navegação de cabotagem no Brasil. Ele é devido na entrada do porto de descarga, sendo calculado sobre o valor do frete marítimo. A tributação varia de 10% para navegação de cabotagem, de 25% em longo curso e até 40% em alguns casos, como para a navegação fluvial, com um prazo de 10 dias para o recolhimento. Após a entrada da embarcação no porto de descarga, o recolhimento do AFRMM é destinado ao Fundo da Marinha Mercante (FMM).

Já os entraves referentes à contratação de tripulação brasileira estão relacionados à elevada demanda por oficiais de Marinha Mercante, ao alto custo dos salários da tripulação e à dificuldade para formar tripulantes e técnicos.

Segundo DREWRY (2012), os custos com mão de obra especializada, marítimos, no Brasil podem ser o triplo do que em países como a China. O armador brasileiro, como qualquer outra empresa brasileira, deve seguir a legislação trabalhista brasileira, o que aumenta o custo da tripulação, enquanto as embarcações de bandeiras estrangeiras não precisam arcar com esse ônus extra.

O crescimento da exploração de petróleo do pré-sal no Brasil trouxe também a expansão da infraestrutura logística *offshore*; embarcações de apoio que farão todo o transporte solicitado pelas plataformas, denominadas embarcações *supply*. Cada embarcação, em média, possui 10 tripulantes, tornando-se um mercado atrativo pelos altos salários e grande demanda de

profissionais qualificados tecnicamente. Isso influencia no valor da mão de obra da navegação de cabotagem.

Para formar profissionais qualificados tecnicamente para trabalhar na Marinha Mercante, existem apenas duas “escolas”. Esses dois grandes centros de treinamento são o Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (CIAGA), no Rio de Janeiro, e o Centro de Instrução Almirante Braz de Aguiar (CIABA), em Belém. Todas essas escolas são administradas pela Marinha do Brasil e recebem todos os anos um grande número de candidatos, porém possuem uma oferta de vagas menor que a demanda.

### **2.3.2 Vantagens na navegação de cabotagem**

Conforme já mencionado no item 2.2, as vantagens elencadas por RODRIGUES (2005) para o modo aquaviário são replicadas para a navegação de cabotagem. Entretanto, ainda podem-se adicionar outras vantagens. De acordo com MOREIRA (2011), as vantagens do modo aquaviário, se comparado com os outros modos de transporte, são:

*“Maior eficiência energética, capacidade de transporte de todos os tipos de cargas, capacidade de deslocamento de grandes volumes de carga por longas distâncias, ‘longa’ vida útil dos equipamentos e veículos, ‘longa’ vida útil da infraestrutura, segurança da carga e controle sobre a distribuição. Menor consumo de combustível, emissão de poluentes, congestionamento de tráfego, custo da infraestrutura, número de acidentes, custo operacional e impacto ambiental.”*

Segundo MOREIRA (2011), há alguns aspectos relevantes para o favorecimento do desenvolvimento da navegação de cabotagem no Brasil. São eles a concentração, ao longo da costa, de setores produtivos e consumidores, a extensa costa marítima dotada de portos públicos e terminais portuários privados, um ambiente macroeconômico favorável e as vantagens comparativas da navegação de cabotagem em relação ao modo rodoviário.

Conforme Carlos Nobrega, da Associação Nacional de Transportes Aquaviários (2007), o custo do frete por navegação de cabotagem pode variar entre 15% e 50%, menor que o rodoviário, dependendo do produto, da origem e do destino. Entre as vantagens do sistema de navegação de cabotagem estão menores custos, riscos de acidentes e roubos.

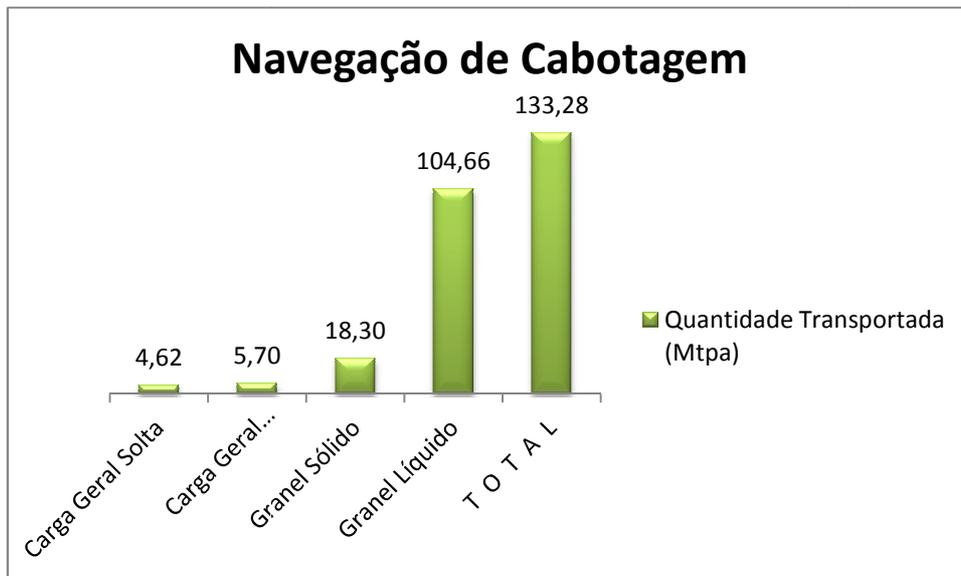
Segundo Angelo Baroncini, diretor comercial da Companhia de Navegação Norsul - NORSUL (Baroncini, 2011),

*“O transporte marítimo oferece claras vantagens sobre o transporte rodoviário e ferroviário, pois permite transportar maior quantidade de carga com menos consumo de combustível por tonelada transportada, além de oferecer maior segurança. Cada bobina de aço da ArcelorMittal transportada nessa rota pode pesar até 40 toneladas, o que, no transporte rodoviário, exige o uso de caminhões especiais. O sistema ferroviário demanda a troca de composições, o que aumenta consideravelmente o tempo de entrega da carga. Já no caso do transporte marítimo, os comboios levam em média 60 horas para fazer a travessia entre Vitória e São Francisco do Sul, e a descarga é realizada em menos de 36 horas.”*

Outra vantagem da navegação de cabotagem é a baixa representatividade nas emissões dos gases de efeito estufa (GEE). A navegação de cabotagem emite um percentual de GEE significativamente menor que os modos rodoviário e ferroviário.

### **2.3.3 Movimentação de Carga na navegação de Cabotagem**

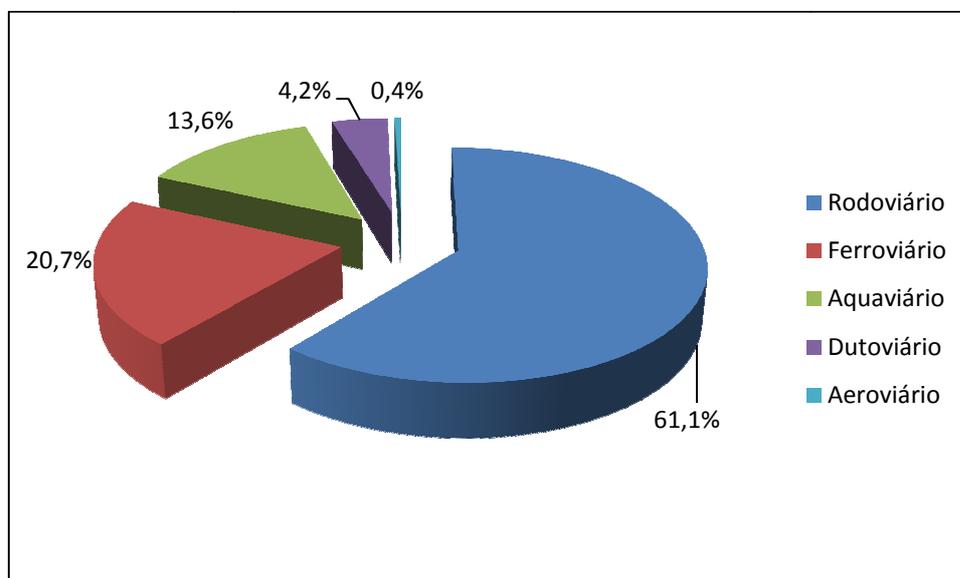
De acordo com a ANTAQ (2011), a movimentação de cargas nos diversos portos do Brasil pela navegação de cabotagem vem crescendo significativamente. De 2002 a 2011 o setor da navegação de cabotagem cresceu 38,3%, sendo que em 2010 teve a maior contribuição para esse número, 28%, e no ano de 2011 foram movimentadas 18,30 milhões de toneladas por ano de granéis sólidos, conforme Figura 03.



Fonte: Elaboração própria a partir de ANTAQ (2012)

**Figura 03:** Distribuição do volume transportado ao ano pela navegação de cabotagem em 2010

Um estudo desenvolvido pela CNT (2011), Confederação Nacional do Transporte demonstrou que a matriz de carga brasileira está desbalanceada e que a maior parte das cargas transportadas no Brasil é transportada através do modo rodoviário, conforme Figura 04.



Fonte: Elaboração própria a partir de CNT (2011)

**Figura 04:** Divisão Modal de Transportes (% TKU por modo 2011)

Sendo assim, pode-se verificar que apenas 13,6% da carga é transportadas através do modo aquaviário no Brasil, mais que 60% da divisão modal é destinada ao escoamento através modo rodoviário.

Conforme Figura 03, os granéis sólidos representam 13,7% da movimentação de carga na navegação de cabotagem, 18,30 milhões de toneladas por ano. Já o minério de ferro teve uma movimentação de 723.952 toneladas no ano de 2011 e representou 0,54% da navegação de cabotagem, conforme Tabela 01.

**Tabela 01:** Total transportado por grupo de mercadoria na navegação de cabotagem

| Natureza da Carga                   | Quantidade Transportada (Mtpa) | %            |
|-------------------------------------|--------------------------------|--------------|
| OUTROS                              | 1,45                           | 1,09%        |
| PRODUTOS SIDERÚRGICOS               | 0,43                           | 0,32%        |
| CARVÃO MINERAL                      | 0,53                           | 0,40%        |
| <b>MINÉRIO DE FERRO</b>             | <b>0,72</b>                    | <b>0,54%</b> |
| SAL                                 | 0,90                           | 0,68%        |
| CELULOSE                            | 1,00                           | 0,75%        |
| SODA CÁUSTICA                       | 1,09                           | 0,82%        |
| REATORES, CALDEIRAS, MÁQUINAS       | 1,21                           | 0,91%        |
| PRODUTOS QUÍMICOS ORGÂNICOS         | 1,22                           | 0,92%        |
| MADEIRA                             | 1,95                           | 1,46%        |
| CONTÊINERES                         | 5,70                           | 4,28%        |
| BAUXITA                             | 14,81                          | 11,11%       |
| COMBUSTÍVEL E ÓLEOS MINERAIS E PROD | 102,27                         | 76,73%       |
| <b>TOTAL</b>                        | <b>133,28</b>                  | <b>100%</b>  |

Fonte: elaboração própria a partir de ANTAQ (2011)

A Tabela 01 demonstra que os três maiores mercados para a navegação de cabotagem no Brasil são os combustíveis (granéis líquidos), a bauxita, da família dos minerais, e o contêiner. O minério de ferro tem pouca representatividade, pois o mesmo tem maior comercialização nos países orientais e europeus devido à concentração de parques siderúrgicos.

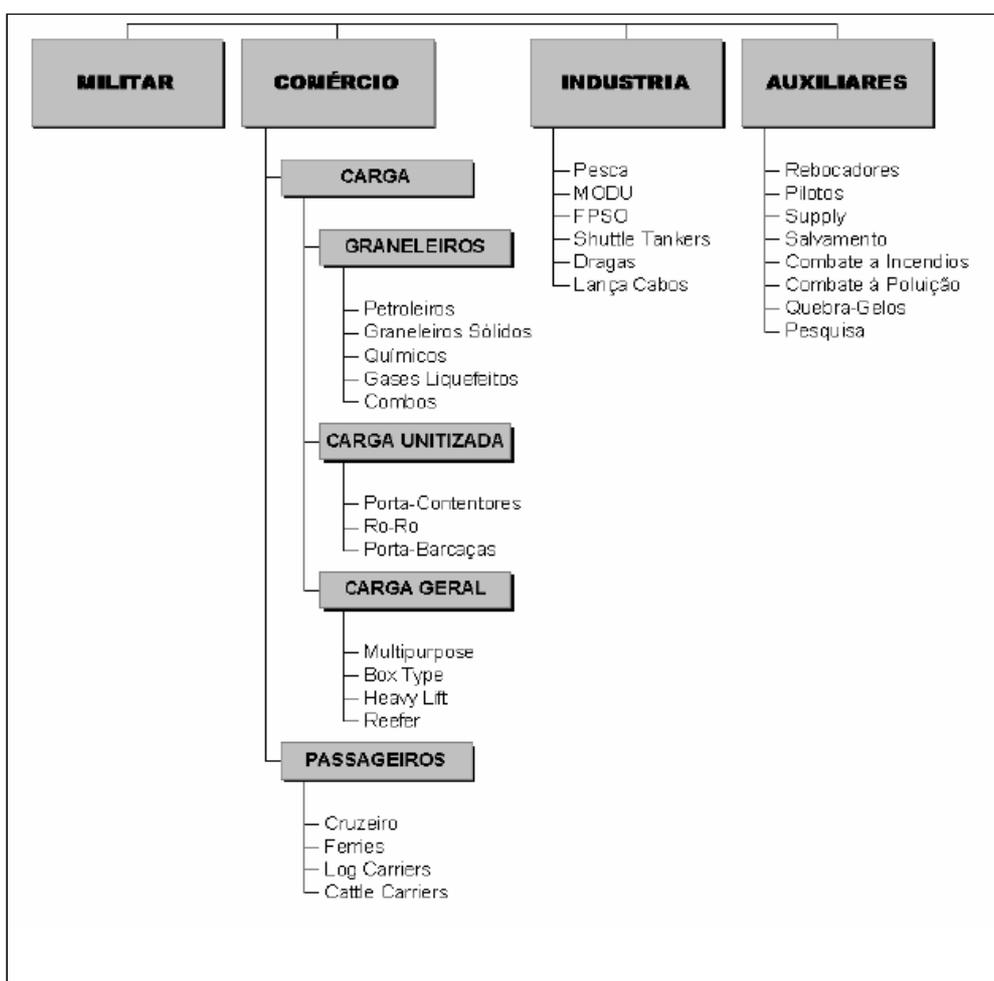
A bauxita tem grande expressão na navegação de cabotagem devido a dificuldades geográficas e barreiras naturais da mina. Para se interligar o ponto de origem da bauxita (Juruti - PA e Oriximiná - PA) ao ponto de destino (empresas de alumínio em Vila do Conde - PA) seria necessária a transposição do Rio Amazonas, tanto no transporte ferroviário quanto no rodoviário.

Segundo a ISSB (2012), o Brasil é o segundo maior exportador do mundo de minério de ferro, totalizando em 2011 331,00 Mtpa e perdendo apenas para Austrália, com 466,00 Mtpa. Os dois maiores portos exportadores do Brasil são Terminais de Uso Privativos (TUP), o TUP de Tubarão - ES e o TUP Ponta da

Madeira - MA, ambos da mesma companhia, a Vale S.A. O somatório da exportação destes terminais passa dos 200,00 milhões de toneladas por ano.

## 2.4 TIPOS DE NAVIOS

Segundo o IST (2012) os navios podem ser classificados de acordo com a sua atividade em comércio, pesca, recreio, rebocadores e auxiliares. Entretanto, esse mesmo instituto indica que, para fazer a distribuição dos navios existentes, é melhor utilizar uma classificação mais detalhada, conforme Figura 05.



Fonte: IST (2012)

**Figura 05:** Classificação Detalhada dos Tipos de Navios.

Segundo a ANTAQ (2012), os navios ainda são subclassificados pelo tipo de navegação. Portanto, eles podem ser para navegação de cabotagem, de

longo curso, de apoio marítimo, de apoio portuário e de apoio portuário – dragagem.

Os navios cargueiros mais comuns são petroleiros, graneleiros, carga geral, porta-contêineres e *ro-ro*. Os navios mais comuns no transporte de passageiros são os cruzeiros.

Os navios de carga ainda são divididos por tipo de porte de navios, conforme sua capacidade de carga em *Deadweight Tonnage (DWT)* ou Tonelagem de Porte Bruto (TPB).

#### **2.4.1 Navio de Carga Geral**

É o navio que se destina ao transporte de vários gêneros, geralmente em pequenos lotes, tais como sacarias, caixas, pedras e fardos, ou sobre rodas e em pequena quantidade, tais como bobinas de papel de imprensa, vergalhões, filmáquina, bobinas de aço, barris, barricas etc. Tipicamente são navios entre 15-20.000 *DWT*. O arranjo dos porões permite várias combinações de carga. Esse tipo de navio está se tornando cada vez menos comercializado o que torna a frota antiga (ITS, 2012).

#### **2.4.2 Navio-Tanque ou Petroleiro**

São os navios para transporte de petróleo bruto e produtos refinados (álcool, gasolina, diesel, querosene etc.). Os navios petroleiros, que representam cerca de 48 % do porte bruto da frota mundial, constituem o maior segmento do mercado e aquele em que se encontram os maiores navios em existência, do tipo ULCC - *Ultra Large Crude Carrier*<sup>1</sup>. Os navios petroleiros podem ser classificados quanto ao porte em *Handysize*, *Panamax*, *Aframax*, *Suezmax*, *VLCC (Very Large Crude Carriers)* e *ULCC (Ultra Large Crude Carrier)* (ITS, 2012).

#### **2.4.3 Navio Porta-Contêineres**

---

<sup>1</sup> O título de maior navio do mundo pertence desde 1976 ao petroleiro “*Jahre Viking*” (ex-“*Seawise Giant*”) com 564.739 *DWT*

Segundo o ITS (2012), os navios porta-contêineres são navios semelhantes aos de carga geral, porém destinados a transportar apenas contêineres. Alguns desses navios apresentam guindastes especiais, principalmente os navios da navegação de cabotagem no Brasil, pois os portos brasileiros possuem certas restrições de equipamentos portuários.

A capacidade desses navios é medida em *TEU* (*twenty-foot equivalent unit*) e não em *DWT* como os petroleiros. *TEU* é uma unidade equivalente a 20 pés e é uma medida padrão utilizada para calcular o volume de um contêiner. Um *TEU* representa a capacidade de carga de um contêiner marítimo normal, de 20 pés de comprimento, por 8 de largura e 8 de altura. Um contêiner de 40 pés equivale a 2 *TEUs*. Sua classe pode ser dividida em *Feeder*, *Feedermax*, *Handy*, *Sub-Panamax*, *Panamax* e *Post-Panamax* e a capacidade de cada um é medida pela quantidade de *TEUs*.

#### **2.4.4 Navio Ro-Ro (*Roll on-Roll off*)**

*Ro-Ro* é uma abreviatura para *roll-on roll off*. Esse navio é um tipo de cargueiro para o transporte de automóveis e outros veículos, de modo que estes entrem e saiam do navio pelos seus próprios meios.

#### **2.4.5 Navio Graneleiro – *Bulk Carrier***

Esse é um navio especializado no transporte de mercadorias a granel (açúcar, soja, milho, trigo, minério de ferro e carvão). Subdivide-se em alguns tipos como graneleiros convencionais e mineraleiros. A principal diferença entre eles é a forma de arranjo dos seus porões.

Os navios graneleiros se subdividem nas seguintes classes: *Handysize*, *Handymax*, *Panamax*, *Capesize* e *VLOC* (*Very Large Ore Carrier*). Algumas outras classes são criadas para o intermédio entre as classes, como *Pós-Panamax*, *SmallCape* e *LargeCape*. A maior classe de navios construída no mundo são os navios *Chinamax* ou *Valemax*, navios mineraleiros encomendados em estaleiros chineses, pela Vale S.A., com capacidade de transportar até 400.000 *DWT*.

Segundo o *Lloyd's Register* (2012), os navios são divididos por família, como *Bulk*, *Ro-Ro*, *Container*, *Tank* e outros. Dentro de cada família, os navios são diferenciados por classe ou tamanho. No caso do *Bulk* ou Graneleiros, essas famílias são divididas por capacidade de *DWT*, conforme a Tabela 02.

**Tabela 02:** Divisão entre navios graneleiros - navios Bulk Carrier

| Família   | Tipo de Navio | Tamanho (DWT)   | DWT médio (t) |
|-----------|---------------|-----------------|---------------|
| VLOC      | Bulk Carrier  | 200,000+        | 227.000,00    |
| Capesize  | Bulk Carrier  | 100,000–199,999 | 163.000,00    |
| Panamax   | Bulk Carrier  | 60,000–99,999   | 74.000,00     |
| Handymax  | Bulk Carrier  | 35,000–59,999   | 45.000,00     |
| Handysize | Bulk Carrier  | 10,000–34,999   | 26.000,00     |

Fonte: Elaboração própria a partir de *Lloyd's Register* (2012)

A família dos navios graneleiros divide-se em cinco grandes grupos. Para esses grupos não se pode utilizar a mesma taxa de emissão de GEE, pois existem diferentes tipos e tamanhos de motores e variação de capacidade entre eles, destacando-se principalmente a diferença de capacidade transportada de carga.

#### 2.4.5.1 Desempenho de Consumo de Combustível - Família Bulk

As emissões de GEE nos navios são geradas a partir da queima de combustível<sup>2</sup> principalmente em função da unidade de potência propulsora, chamado de motor principal, ou motor de propulsão. Esses são motores que vão de 6 até 14 cilindros, ligados a um único eixo de hélice para propulsão. Sua fonte geradora é o óleo combustível para navio, também chamado de *bunker*. Existem alguns tipos desse óleo, tais como a família *FO* - *Fuel oil* (óleo combustível); *IFO* - *Intermediate Fuel Oil* (óleo combustível intermediário); *MFO* - *Marine Fuel Oil* (óleo combustível marítimo) e *HFO* - *Heavy Fuel Oil* (óleo combustível pesado). Quando o navio está parado em fila, aguardando ser chamado pelo porto no fundeio, ou quando está atracado, descarregando ou carregando no porto, o motor de propulsão apresenta baixo consumo de *FO*.

<sup>2</sup> Neste caso está se fazendo uma aproximação entre a emissão de GEE e a emissão de CO<sub>2</sub>, principal gás de efeito estufa.

Na embarcação, a energia para alimentar o sistema de iluminação, o sistema de segurança, o sistema de radar e outros, é gerada através dos motores auxiliares. Esses tipos de motores consomem o *bunker* da família *DO - Diesel oil* (óleo diesel), que pode ser o *MDO – Marine diesel oil* (óleo diesel marítimo) ou o *MGO – Marine gas oil* (gasóleo marítimo). Estes motores ficam ligados para a geração de energia mesmo quando o navio estiver em fila ou atracado no porto. Os motores marítimos queimam combustível derivado do petróleo para liberar energia. Segundo a IMO (2009), após a combustão são liberados os gases de efeito estufa (GEE), conhecidos como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e outros menos relevantes HFCs, PFCs e SF<sub>6</sub>, para o nosso estudo de caso esses últimos serão desconsiderados. Os gases de escape são a principal fonte de emissões de navios. O dióxido de carbono CO<sub>2</sub> é o mais importante GEE emitido por navios. Tanto em termos de quantidade e de potencial de aquecimento global, que serão identificados no Capítulo 3. Ainda nessa queima são liberadas algumas substâncias definidos nos termos de referência como NO<sub>x</sub>, NMVOC, CO, PM e SO<sub>x</sub>.

Para compor dados referentes aos navios da classe de cargueiros graneleiros ou *bulk*, será necessário para o estudo de caso no Capítulo 4, conhecer as características técnicas referentes ao consumo de combustível, velocidade e tamanho dos navios.

Na Tabela 04 estão as informações referentes ao consumo médio de combustível por dia por embarcação conforme sua família. Os dados foram adotados/demonstrados baseados em duas fontes. A primeira fonte é a NTUA (2012) - *National Technical University of Athens*, a qual desenvolveu um sistema para calcular a emissão de gases de escape pelos navios - *Ship Emissions Calculator*, sistema que calcula as emissões de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. A outra fonte foi uma média obtida entre os navios, publicada conforme Tabela 03.

**Tabela 03:** Publicações das informações de consumo de combustível

| Fonte                            | Ano  |
|----------------------------------|------|
| <i>The Baltic Exchange</i>       | 2012 |
| <i>RightShip</i>                 | 2012 |
| <i>Clarksons</i>                 | 2012 |
| <i>Lloyd's List Intelligence</i> | 2012 |

Fonte: Próprio autor (2013)

**Tabela 04:** Informações de consumo tonelada/dia por família de navios Bulk Carrier

| Fonte               | Família     | Tamanho (DWT) | Velocidade Média (Nós) | Consumo IFO Navegando (t/dia) <sup>1</sup> | Consumo MDO navegando (t/dia) <sup>1</sup> | Consumo IFO no Porto (t/dia) | Consumo MDO no Porto (t/dia) |
|---------------------|-------------|---------------|------------------------|--|--|------------------------------|------------------------------|
| NTUA                | Handysize   | 27.000,00     | 13,00                  | 24,00                                      | 1,50                                       | 4,50                         | 1,50                         |
|                     | Handymax    | 50.000,00     | 14,00                  | 28,00                                      | 1,50                                       | 3,50                         | 1,50                         |
|                     | Panamax     | 67.230,00     | 14,00                  | 32,00                                      | 1,50                                       | 3,00                         | 1,50                         |
|                     | Pós-Panamax | 90.000,00     | 15,00                  | 38,00                                      | 1,50                                       | 3,50                         | 1,50                         |
|                     | Capesize    | 136.000,00    | 13,50                  | 40,00                                      | 1,50                                       | 5,00                         | 1,50                         |
| Fontes <sup>2</sup> | Handysize   | 28.968,00     | 14,00                  | 26,00                                      | 2,00                                       | 2,00                         | 0,50                         |
|                     | Handymax    | 52.454,00     | 14,00                  | 30,00                                      | 0,20                                       | 1,50                         | 1,50                         |
|                     | Panamax     | 74.000,00     | 14,00                  | 33,50                                      | 0,40                                       | 2,23                         | 1,50                         |
|                     | SmallCape   | 116.104,00    | 12,50                  | 46,00                                      | 0,10                                       | 3,00                         | 0,50                         |
|                     | Capesize    | 172.036,00    | 14,50                  | 65,00                                      | 0,10                                       | 3,50                         | 0,10                         |

<sup>1</sup> - Considerar o mesmo consumo para navegação vazio em *ballast*

<sup>2</sup> - Média do consumo entre registros dos navios

Fonte: Próprio autor baseado em NTUA (2012), *The Baltic Exchange* (2012), *RightShip* (2012), *Clarksons* (2012) e *Lloyd's List Intelligence* (2012).

Pode haver casos de navios com consumo de *bunker* muito similares, porém transportando um número maior de mercadoria. Sendo assim, navios maiores poderão ter um desempenho de emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada transportada melhor do que os menores.

## 2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo permite verificar e conhecer os diferentes tipos de navegação, os portos brasileiros, os tipos de navios e suas especificidades, a divisão por família dos navios e as características de consumo de combustível dos navios graneleiros. Neste capítulo também foi possível verificar as principais características da navegação de cabotagem, seus principais entraves, suas vantagens e a movimentação anual de cargas pela navegação de cabotagem.

Verificou-se que o comércio de minério de ferro que se utiliza da navegação de cabotagem não significou 1% no ano de 2011, segundo a

ANTAQ (2012). O cenário da navegação de cabotagem ainda tem um árduo caminho de melhorias para os próximos anos, mas com algumas ações público-privadas é possível contribuir para o aumento da navegação de cabotagem nos próximos anos, o que será demonstrado e sugerido no estudo de caso no Capítulo 4.

O modo aquaviário/navegação de cabotagem apresenta algumas vantagens competitivas perante os outros modos de transporte, tais como vantagens em relação aos custos de transporte, resultando em menores fretes, capacidade de transportar, eficiência energética e impactos ambientais. Isso reforça o uso do transporte da navegação de cabotagem, o que será demonstrado no estudo de caso no Capítulo 4.

Com isso se pode avançar nesta pesquisa. No Capítulo 3 será considerado um estudo mais detalhado dos principais indicadores ambientais para o transporte marítimo, onde serão identificados e quantificados os principais impactos ambientais causados pelo transporte marítimo. Esses resultados servirão de *input* para o Capítulo 4, o estudo de caso.

### **3. INDICADORES AMBIENTAIS MARÍTIMOS**

#### **3.1. INTRODUÇÃO**

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2012), conforme sua resolução no CONAMA, meio ambiente é o conjunto de fatores e condições que interagem. Esses fatores podem ser sociais, culturais, biológicos e naturais e permitem abrigar e reger a vida em todas as suas formas.

O meio ambiente no qual se instala uma organização é afetado por sua atuação. Por esse motivo, essa organização tem a responsabilidade de preservá-lo, incluindo-se o ar, a água, o solo, os recursos naturais, a flora, a fauna, os seres humanos e suas inter-relações. Portanto, ela deve respeitar o meio ambiente que a cerca, agindo como não poluente e cumprindo as legislações e normas pertinentes (ISO 14001, 2004).

A navegação marítima, sendo ela de cabotagem ou internacional, interage com o meio ambiente, tanto nos mares como nos rios e estes abrigam várias comunidades de seres vivos. Nesses ecossistemas, qualquer incidência excessiva de resíduos pode acarretar um desbalanceamento natural, afetando todo o planeta.

##### **3.1.1. A Mudança Climática**

Segundo o IPCC (2006), uma mudança no clima é identificada quando ocorre uma reunião de fatores. O primeiro refere-se a uma mudança que possa ser atribuída direta ou indiretamente à atividade humana e à natureza. O segundo pressupõe uma alteração da composição da atmosfera global. O último indica a necessidade de que essa alteração seja adicional à variabilidade natural do clima observada ao longo de períodos comparáveis de tempo.

A mudança climática global é um dos grandes problemas enfrentados por diversos países e tem o potencial de alterar o ambiente, bem como o modo como os seres humanos interagem entre si e com a natureza. O aquecimento

global é um desses principais problemas ambientais enfrentados pelo homem. As consequências disso já são visíveis em todo o mundo, como o degelo das calotas polares.

Ainda de acordo com o IPCC (2006), essas mudanças climáticas têm graves efeitos sobre os oceanos. Elas ameaçam não somente o ecossistema costeiro, como também os setores econômicos que dele dependem.

Dentro do quadro das mudanças climáticas encontra-se o efeito estufa. Hoje ele é considerado um dos principais impactos ambientais em escala global. Esse fenômeno consiste na retenção do calor irradiado pela superfície da terra devido à concentração de gases de efeito estufa (GEE), tendo como seu principal representante o gás carbônico ou dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), na atmosfera, o que eleva a temperatura média do planeta.

Segundo o ICBE (2012) cada gás de efeito estufa tem radiativo ativo, ou retém o calor. Para comparar os gases de efeito estufa, que são indexados de acordo com seu potencial de aquecimento global. Potencial de Aquecimento Global (GWP) é a capacidade de uma estufa para reter o calor na atmosfera em relação a uma quantidade igual de dióxido de carbono. Sendo assim, o Potencial de Efeito de Estufa (GWP) é calculado através da combinação dos três gases que mais contribuem para o efeito de estufa: o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ) e está expresso em toneladas equivalentes de  $\text{CO}_2$  conforme Tabela 05, (IPCC, 1995).

**Tabela 05:** Publicações das informações de consumo de combustível

| Gases                | Potencial de Aquecimento Global |
|----------------------|---------------------------------|
| $\text{CO}_2$        | 1                               |
| $\text{CH}_4$        | 21                              |
| $\text{N}_2\text{O}$ | 310                             |

Fonte: Próprio autor baseado em IPCC (1995)

Segundo IPCC (1995), a definição de equivalente de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ -eq ou o  $\text{GtCO}_2$ -eq) é a quantidade de emissões de  $\text{CO}_2$  que causaria o mesmo forçamento radiativo que uma quantidade emitida de um gás de efeito

estufa bem misturado ou uma mistura de gases de efeito estufa bem misturados, todos multiplicados por seus respectivos potenciais de aquecimento global para levar em conta os diferentes tempos em que permanecem na atmosfera. Para emissão de outras substâncias relevantes dentro dos gases de escape ou chamados de Poluentes Locais, (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, CO e COVMN) não se aplica o fator potencial de aquecimento global.

### **3.1.2. O Desenvolvimento Sustentável**

A organização WWF-Brasil (2012) dispõe o seguinte sobre o tema:

“A definição mais aceita para desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender às necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro.”

Portanto, para ser alcançado, o desenvolvimento sustentável depende do planejamento e do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos (WWF, 2012). A partir desse entendimento surge o termo transporte de carga sustentável. Ele visa, através do planejamento, alcançar desenvolvimento e crescimento constantes das atividades dos meios de transporte de carga, sem degradar o meio ambiente onde ocorre esse crescimento da infraestrutura e da atividade.

### **3.2. IMO - *INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION* e o Meio Ambiente**

IMO é a Organização Marítima Internacional, do inglês *International Maritime Organization*. Ela é uma das agências especializadas da ONU (Organização das Nações Unidas). Essa organização é responsável pela segurança da navegação e pela prevenção da poluição marinha por navios (IMO, 2012).

A IMO surgiu devido à necessidade de serem criadas normas internacionais de segurança e prevenção de poluição que regulassem o

transporte marítimo. Essas normas internacionais são chamadas de tratados marítimos. Esses tratados adquirem cada vez mais relevância no ideal mundo sustentável que as organizações vêm tentando criar.

Em 1948, em uma conferência internacional em Genebra, aprovou-se uma convenção estabelecendo formalmente a IMO. O seu nome originalmente era IMCO, do inglês *Inter-Governmental Maritime Consultative Organization*, ou Organização Marítima Consultiva Inter-Governamental. Em 1982 seu nome foi mudado para IMO (IMO, 2012).

### **3.2.1 Os Tratados da IMO**

A primeira tarefa da IMO foi a adoção de uma nova versão da Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS – *Safety of Life at Sea*). Esse é o mais importante de todos os tratados relativos à segurança marítima. A segurança foi, e continua sendo, a maior responsabilidade da IMO, no entanto, atualmente um novo problema começou a surgir, a poluição. (IMO, 2012).

Durante alguns anos a IMO teve a tarefa de elaborar uma série de medidas para prevenir acidentes com petroleiros. Eles ocorriam devido às suas operações de limpeza de tanques de carga e de eliminação de resíduos da casa das máquinas. Porém, com os anos foram surgindo necessidades que demandavam a criação de regras ambientais para todo tipo de frota marítima.

Sendo assim, foi criada a mais importante de todas as medidas, a convenção MARPOL, em 1973. A Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, alterada pelo Protocolo de 1978 (MARPOL 73/78), abrange não só a poluição acidental e operacional, mas também a poluição por produtos químicos, produtos em embalagens, esgoto, lixo e poluição do ar (IMO, 2012). Dessa forma, mais razão e importância começaram a ser dados, ao que seria chamado nos dias de hoje, a uma visão mais sustentável.

A MARPOL 73/78 inclui regulamentações referentes à construção e à resistência estrutural da embarcação, como o fato do navio possuir tanques de

lastro segregados. (MARPOL 73/78, 1978). A MARPOL 73/78 consiste em 20 Artigos, 2 Protocolos e 6 Anexos que contém regulamentações para a prevenção da poluição por:

Anexo I: Regras para a Prevenção da Poluição Por Óleo;

Anexo II: Regras para o Controle da Poluição por Substâncias Líquidas Nocivas a Granel;

Anexo III: Regras para a Prevenção da Poluição Causada por Substâncias Danosas Transportadas por Mar sob a Forma de Embalagens;

Anexo IV: Regras para a Prevenção da Poluição Causada por Esgoto dos Navios;

Anexo V: Regras para a Prevenção da Poluição Causada pelo Lixo dos Navios;

Anexo VI: Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios.

A Regra 21 da MARPOL introduziu a exigência do casco duplo para navios de 5.000 *DWT* ou maior, ordenados para fabricação a partir de 1993. Ela elabora também um cronograma para a conversão ou desativação de navios de casco simples a partir de 1995. Porém, após alguns acidentes, foi realizada uma revisão desse cronograma de desativação de navios de casco simples. Foi estabelecido como um novo limite o ano de 2010 para a adequação à regra (MARPOL 73/78).

Entretanto, após um acidente em suas águas, os Estados Unidos adotaram, unilateralmente, uma legislação mais severa que as normas da MARPOL para a prevenção da poluição por óleo, o *Oil Pollution Act - OPA*, de 1990. Conforme essa lei, os navios petroleiros de casco simples sem duplo fundo ou costado duplo não estavam autorizados a operar em águas norte-americanas a partir de 1º de janeiro de 2010.

A IMO (2012) dispõe o seguinte sobre esse tema:

"A missão da Organização Marítima Internacional (IMO), como uma agência especializada das Nações Unidas, é a de promover o transporte seguro, ou melhor, o transporte ambientalmente seguro, eficiente e sustentável através da cooperação. Isto poderá ser realizado caso sejam adotados os mais elevados padrões possíveis de segurança marítima, de eficiência da navegação e de prevenção e controle da poluição por navios, bem como através da consideração das questões legais relacionadas e da implementação efetiva dos instrumentos da IMO com vista à sua aplicação universal e uniforme."

Esses tratados são de grande relevância devido ao fato de os navios serem os principais meios de ligação entre os países e responsáveis pelo comércio internacional. Porém, os navios não têm rotas fixas. Por exemplo, um navio mineraleiro pode estar no Brasil hoje e, após 32 dias, com uma velocidade média de 14 Nós, chegar à China e ficar aguardando em fila por cerca de 5 dias. Com mais 2 dias, ele ficará atracado descarregando no porto. Após a descarga total, inicia-se outra viagem. No 13º dia, esse navio chegará à costa Leste da Austrália, em Brisbane. Enfim, em menos de 2 meses, esse navio terá passado por 3 países, 3 oceanos e 3 continentes, conforme a Figura 06.



Fonte: Elaboração própria a partir do *Software Port to Port* (2012)

### **Figura 06:** Rota marítima Brasil X China X Austrália.

A IMO (2012) espera que o ano quando todos os seus acordos estejam em pleno funcionamento seja 2017, quando 21 convenções, das 51 que dizem respeito às questões ambientais, estejam adotadas e em funcionamento no transporte marítimo mundial.

#### **3.2.2 Registro IMO**

Além da responsabilidade pela segurança da navegação e prevenção da poluição marinha por navios, a IMO também cuida dos registros dos navios, ou seja, da frota mundial. Esse registro IMO dos navios é obrigatório e está vinculado ao banco de dados do *Lloyd-IHS Fairplay*, em nome da IMO. Com o registro da IMO, todas as embarcações podem ser monitoradas e classificadas pelas classificadoras internacionais, como a *Lloyd's Register - Classification*.

O número IMO é a identidade do navio, que é criado logo em seu “nascimento”. Mesmo que o nome do navio mude, o seu número de IMO (registro/identidade) não muda. Conforme se pode verificar na Tabela 06, extraída do site da *RightShip* (2012), o número IMO vem sempre ao lado do navio. Ainda se pode verificar também que o navio em questão, MV Vale Brasil, mudou de nome antes do seu comissionamento final, mas o número IMO continua o mesmo.

**Tabela 06:** Registro do MV Vale Brasil na IMO

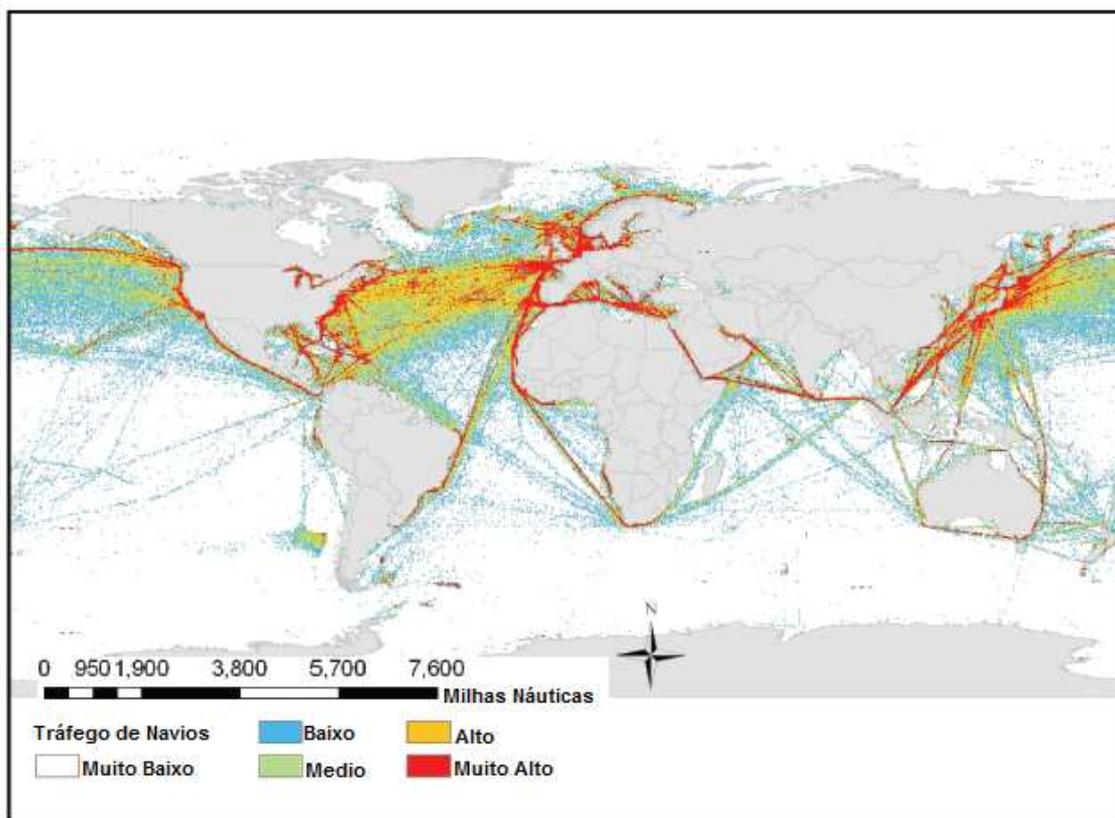
| <b>Dados do navio</b>                 |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>VALE BRASIL</b> (9488918)          |  |
| Nome do navio eficaz a partir de 2011 |  |
| <b>Número IMO</b>                     | 9488918  |
| <b>Outros nomes do navio</b>          | DAEWOO (2011), DAEWOO 1201 (2011), MINÉRIO DE CHINA (2011) |
| <b>Estado de comércio</b>             | EM SERVIÇO / COMISSÃO (2011)                               |
| <b>Tipo de navio</b>                  | Portador de minério (2011)                                 |
| <b>Bandeira</b>                       | CINGAPURA (2011)   |
| <b>Ano de construção</b>              | 2011   |
| <b>Data de construção</b>             | 30/mar/11  |
| <b>Idade atual</b>                    | 1,6 anos (s)   |
| <b>DWT (verão)</b>                    | 402347   |
| <b>GRT</b>                            | 198980   |
| <b>NRT</b>                            | 67.993   |
| <b>Velocidade (nós)</b>               | 14,8 (Serviço)   |
| <b>Calado (m)</b>                     | 23,00 (75,46 pés)  |
| <b>Pontal de construção (m)</b>       | 30,40 (99,74 pés)  |
| <b>Largura (m)</b>                    | 65,00 (213,25 pés)   |
| <b>Comprimento</b>                    | 362,00 (1,187.66 ft) (LENOA)                               |
| <b>Comprimento (BP)</b>               | 350,00 (1,148.29 ft)                                       |
| <b>Classe Sociedade</b>               | Det Norske Veritas   |
| <b>Número oficial (Classe Soc)</b>    | 396661   |
| <b>Classe Alterações Não.</b>         | 1  |
| <b>Porto de Registro</b>              | CINGAPURA  |
| <b>P &amp; I Club</b>                 | Steamship Mutual U / W (Bermuda) (Fonte: Lloyds)           |

Fonte: RightShip (2012)

Segundo a IMO (2012), o número IMO é assegurado e permanente. Ele é atribuído a cada navio para a identificação. Esse número permanece inalterado após a transferência do navio para outra(s) bandeira(s) e é inserido no certificado do navio. O número IMO tornou-se obrigatório para todos os navios (com algumas limitações) a partir de 1º de janeiro de 1996.

Com esse registro, a IMO pode acompanhar o trajeto da vida do navio e seus fluxos, seguindo suas rotas e intensidade, conforme consta na Figura 07, com base nos dados da ICOADS - *International Comprehensive Ocean–Atmosphere Data Set* e do AMVER – *Automated Mutual-Assistance Vessel Rescue System*. Dessa forma a IMO consegue inclusive monitorar as áreas de maior incidência de emissão de GEE. Desde os anos 70, a IMO vem buscando

liderar as questões ambientais marítimas que o mundo enfrenta, sendo o órgão que regula o transporte através do consenso internacional.



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de ICOADS, citado em IMO (2009)

**Figura 07:** Aproximação da distribuição de tráfego de navios.

A IMO vem, por muitos anos, desempenhando um papel muito importante perante a sociedade marítima, com intuito de dar uma resposta ao mundo quanto aos impactos ambientais marítimos. Assim, ela adota diversos tratados internacionais marítimos, desde a convenção da MARPOL, até a gestão da água de lastro, a gestão do lixo e outros. Quase todos esses tratados estão 100% em vigor com o intuito de minimizar os impactos ambientais marítimos, no mar ou no ar.

### **3.3. IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO TRANSPORTE MARÍTIMO E SEUS INDICADORES**

Impacto ambiental pode ser confundido com acidente ambiental. Na costa brasileira, por exemplo, já ocorreram alguns acidentes ambientais, como o vazamento de óleo por navios, por plataformas e até mesmo por navios de

turismo (os cruzeiros). Porém, o termo impacto ambiental vai além da ocorrência de acidentes. Ele abrange os impactos causados ao ambiente pelo transporte marítimo. Com a utilização desse meio de transporte, alguns resíduos são gerados ao longo de sua operação.

A IMO, há muitos, anos vem estudando os impactos ambientais causados pelo transporte marítimo no mundo e, cada vez mais, o assunto tem se tornado mais relevante e mais preocupante. A organização, com todos os seus acordos e tratados, sugere que alguns impactos ambientais sejam considerados de maior relevância para o transporte marítimo internacional, porque implicam um reflexo negativo à natureza. São considerados como indicadores de impactos ambientais relevantes, a água de lastro, os hidrocarbonetos, as águas oleosas, o esgoto, as tintas anti-incrustantes, os resíduos sólidos e, o mais relevante destes, as emissões de Gases de escape. Fazem parte desta lista: CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e o NO<sub>x</sub>.

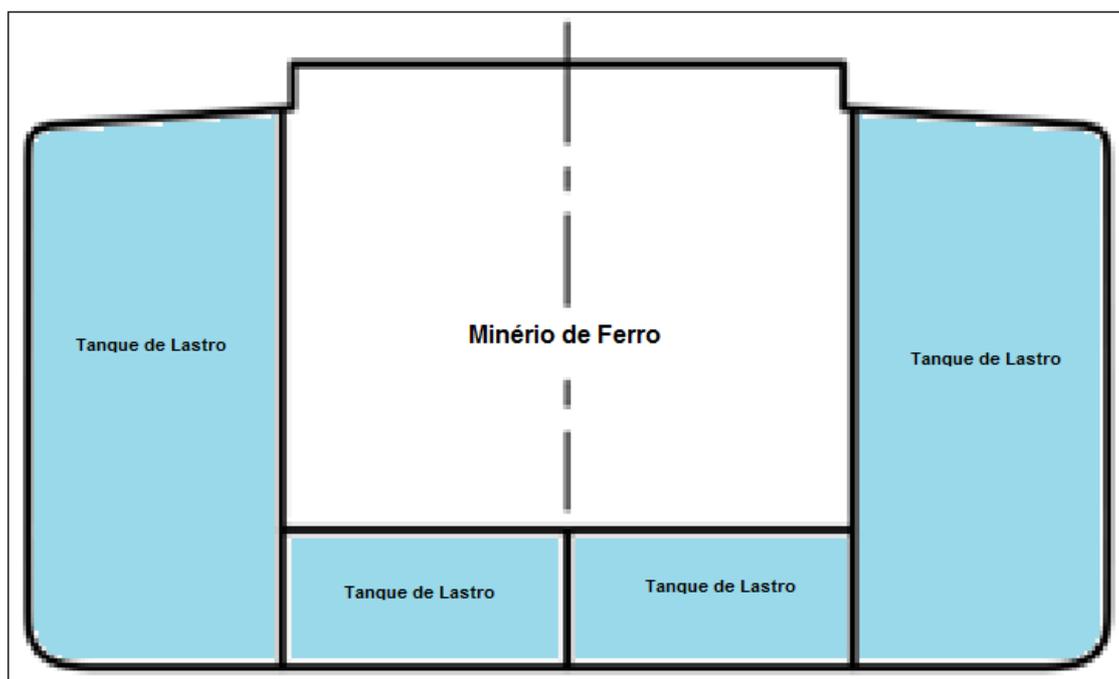
Esses indicadores, se não forem planejados e administrados de forma a minimizar a quantidade emitida na natureza, futuramente causarão um colapso do ecossistema, onde o ser humano será o mais prejudicado. A falta de administração desses indicadores poderá elevar, nos próximos anos, a riscos sociais, ambientais e econômicos.

### **3.3.1 Água de Lastro**

De acordo com a *North Sea Ballast Water – NSBW* (2012), a água de lastro auxilia na estabilidade e na capacidade de manobra de navios. Ela é bombeada para os tanques de lastro, que são tanques individuais localizados nos porões dos navios. Nesse caso, não há a mistura da água de lastro, que vem do mar, com a carga, mesmo quando o navio está com carga parcial ou nenhuma carga. Navios de grande porte podem levar milhões de litros de água em seu lastro.

Segundo a IMO (2012), a água de lastro é bombeada para manter condições seguras de operação ao longo de uma viagem. Esta prática diminui a tensão sobre o casco, fornece estabilidade transversal, melhora a capacidade

de manobra e de propulsão e compensa o peso perdido devido ao consumo de combustível e de água.



Fonte: Adaptado pelo autor de *GloBallast/ IMO (2012)*

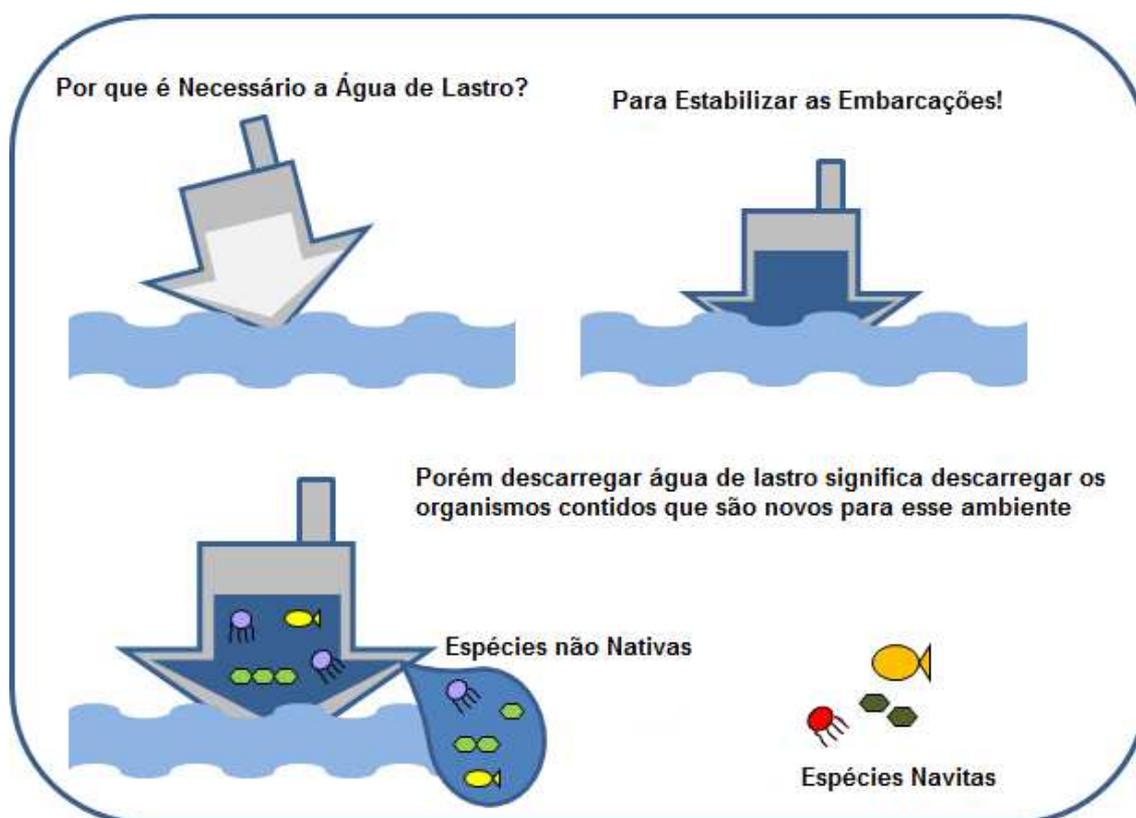
**Figura 08:** Identificação dos tanques de lastro - Seção transversal de um navio minareleiro.

A água de lastro é proveniente do mar e é facilmente bombeada para dentro do tanque de lastro, conforme mostra a Figura 08. Depois desse processo, ela é bombeada para o retorno ao mar pelas bombas de lastro dos navios. Esse intercâmbio de águas que ocorre entre os “mares” do mundo inteiro gera um significativo impacto ambiental. Essa água pode ser captada por um navio vazio na China e, quando ele chega ao Brasil para ser carregado no porto, ele despeja a água de lastro, assim ocorrendo esse processo sucessivamente entre os portos ao redor do mundo.

Quando ocorre o lastreamento do navio, a bomba, além de sugar a água, pode sugar espécies diversas de microrganismos marinhos, de algas e até de pequenos peixes. Essas espécies, uma vez dentro do tanque de lastro, podem viver tranquilamente no período de navegação, pois os tanques de lastro acabam se tornando grandes aquários. Entretanto, quando essas espécies são descarregadas em um novo ecossistema, podem trazer também consigo

diversos problemas ambientais, tanto para as espécies nativas da região quanto para o homem.

Para a NSBW (2012), as espécies exóticas, assim chamadas as espécies que não são nativas na região, podem crescer muito rapidamente na ausência de predadores naturais. Nesse caso, elas são chamadas de "invasivas". Somente poucas espécies são invasoras de sucesso, porque a maioria das espécies não são capazes de sobreviver em ambientes novos, nos quais a temperatura, a alimentação e a salinidade são diferentes daquelas do seu habitat natural. Porém, as espécies que sobrevivem são espécies muito resistentes e podem causar danos ao ecossistema, conforme explica a Figura 09. De acordo com a GloBallast/ IMO (2012), as espécies exóticas são uma das quatro maiores ameaças aos oceanos do mundo, podendo causar grandes impactos ambientais, econômicos e de saúde pública.



Fonte: Adaptado pelo autor de NSBW (2012)

**Figura 09:** A ameaça da água de lastro

A IMO (2004), desde 1980, tem participado ativamente na busca de soluções para o grande problema da água de lastro. Em 1991 desenvolveu e

publicou um conjunto de orientações denominado “Diretrizes para controle e gerenciamento da água de lastro dos navios para minimizar a transferência de espécies aquáticas”, que foram modificadas posteriormente em 1997. Em 1991, com sua comissão de proteção do meio marinho, concluiu e elaborou várias orientações para a prevenção da introdução de organismos indesejáveis e patógenos de águas de lastro de navio e descargas de sedimentos MEPC 50.

Após anos de negociação entre os estados membros da IMO, foi aprovada, por consenso na Conferência Diplomática realizada na sede da IMO em Londres, em 2004, a Convenção Internacional para Controle e Gerenciamento da Água de Lastro e Sedimentos (BWM - *Ballast Water Management Convention*). Essa convenção exige que todos os navios implementem um plano de gestão da água de lastro. Segundo a convenção, todos os navios terão de levar um livro de registro da água de lastro e será necessária a realização de procedimentos de gestão dessa água conforme um determinado padrão.

Esse plano de gestão prevê o controle do gerenciamento da água de lastro e dos sedimentos através de formas mecânicas e gerenciais. Os meios mecânicos podem considerar processos químico/físicos e biológicos, removendo ou evitando a captação ou descarga de organismos aquáticos exóticos. Para o controle através de processos químicos, deverá haver gestão sobre as possíveis substâncias, produtos químicos e outros produtos, previamente autorizados pela legislação da convenção BWM, que serão manipulados ou usados no processo a bordo.

Ainda conforme a *GloBallast/ IMO (2012)*, no ano de 2000, a IMO juntou forças com o Meio Ambiente Global (GEF) e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) para criar o Programa Global de Gerenciamento de Água de Lastro, o *GloBallast*, com o objetivo de ajudar os países em desenvolvimento a reduzir a transferência de organismos aquáticos nocivos e agentes patogênicos para a água de lastro de navios e implementar as orientações da IMO sobre o uso da água de lastro.

A Convenção BWM foi desenvolvida para regular as descargas de água de lastro e reduzir o risco de introdução de espécies não nativas, espécies exóticas. Uma vez estando 100% em vigor, no final do ano de 2016, exigirá tratamento da água de lastro para ser utilizada, ao invés de simplesmente trocar a água de lastro como ocorre nos dias de hoje. Esta exigência será gradualmente exigida de acordo com os prazos indicados na convenção, cujo prazo final é 2016 e está baseado nos anos de construção dos navios.

### **3.3.2. Hidrocarbonetos e Águas Oleosas**

Hidrocarboneto é o combustível não queimado na câmara de combustão dos motores. Os motores a combustão não conseguem a queima plena de todo o combustível. Isto ocorre porque quando a frente de chama atinge as paredes do cilindro, sempre mais frias, ela desaparece deixando uma pequena quantidade de combustível sem queimar. Segundo a Marinha do Brasil (2012) "hidrocarbonetos petrolíferos" significa o petróleo sob todas as suas formas, inclusive o petróleo bruto, o combustível, os lodos, os resíduos de hidrocarbonetos e os produtos petrolíferos refinados (outros que os produtos petroquímicos).

Águas Oleosas normalmente são geradas a bordo através da lavagem de peças mecânicas, de manutenções e da lavagem de porões, podendo se misturar com o esgoto e outras possíveis misturas de água com óleo. Elas devem ser tratadas para separar o óleo da água e de outras impurezas. Após a separação efetiva da água filtrada, esta pode ser eliminada. Já o componente de óleo é destinado ao descarte adequado e/ou reutilizado ou reciclado. Para que haja essa separação entre água e óleo, filtros devem ser utilizados. A partir daí, outros resíduos são gerados, sólidos e sujos de óleo, o que requer uma maior atenção no descarte (PACPOL, 2002).

Trechos da Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em caso de Poluição por Óleo, do inglês *International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation* (OPRC), são relevantes porque estabelecem medidas para lidar com incidentes de poluição,

em nível nacional ou em cooperação com outros países. Segundo essa convenção, os navios são obrigados a realizar um plano de emergência de bordo em caso de poluição.

No ano de 1954, a IMO preparou a *Oil Pollution Convention* (1954), a primeira convenção sobre poluição por hidrocarbonetos. Inicialmente foi concebida apenas para regular a operação de navios petroleiros. Em 1969 ela sofreu a primeira modificação com o intuito de melhorar o desempenho das operações com óleos. Em 1971 a convenção foi alterada para normatizar novos padrões para a construção de navios petroleiros. Essa convenção foi substituída pela MARPOL 73/78 (IMO, 2012).

Segundo o PACPOL (2002), um navio cargueiro tem uma geração de resíduos conforme a proporção apresentada na Tabela 07:

**Tabela 07:** Geração de resíduos oleosos por tamanho de navio

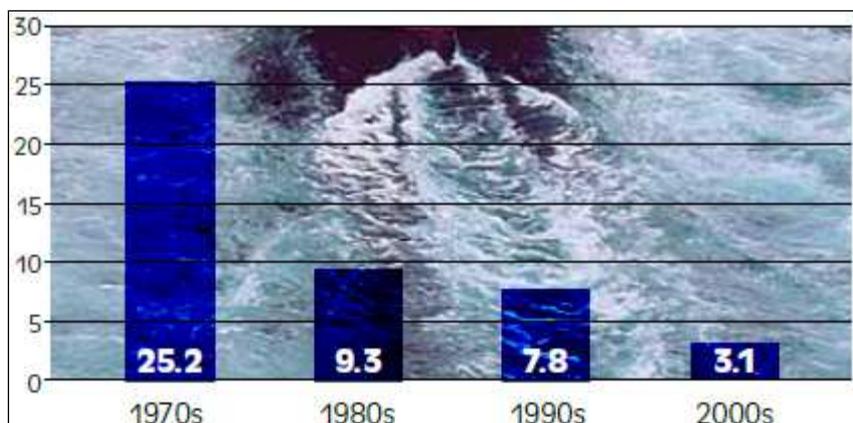
| Categorias de Petróleos de Geração de Resíduos              | Capacidade dos Navios (DWT) |                 |          |
|---|-----------------------------|-----------------|----------|
|   | 15.001 - 40.000             | 40.001 - 70.000 | > 70.000 |
| Água Oleosa <sup>1 2</sup> (m <sup>3</sup> /viagem)         | 1000,00                     | 1000,00         | 1000,00  |
| Óleo de Lamas e Resíduos <sup>3</sup> (t/dia)               | 0,30                        | 0,40            | 0,50     |
| Óleo de Lamas e Resíduos <sup>4</sup> (m <sup>3</sup> /dia) | 0,27                        | 0,35            | 0,45     |

Notas:

1. Não inclui lavagem de tanques.
2. Assume que todos os navios de maior porte são equipados com equipamentos de controle de poluição, anexo I da MARPOL 73/78.
3. Quantidade real de lodo é influenciada pela qualidade da eficiência de combustível, de purificadores e concentradores, e destruição a bordo, ex. por incineração, se equipada.
4. Densidade específica do lodo tipicamente cerca de 0,95-0,97 kg / l (950-970 kg / m<sup>3</sup>). Densidade específica de lubrificantes de petróleo, tipicamente da ordem de 0,7-0,8 kg / l. Considerando as incertezas da composição total do fluxo de resíduos de óleo e do grau de precisão dos dados, suficiente para assumir a densidade da lama / resíduos de petróleo fluxo de 0,9 kg / L (0,9 t / m<sup>3</sup>).

Fonte: PACPOL (2002)

O derramamento de óleo por embarcações era muito mais comum nos anos 70 do que nos dias de hoje. Isso ocorreu porque a MARPOL 73/78 vem ajudando a garantir uma drástica redução no derramamento pelo transporte de óleo desde a sua criação, conforme números apresentados na Figura 10.



Fonte: ITOPF (2012) citado por ICS (2011)

**Figura 10:** Número médio de grandes derramamentos de petróleo por ano (mais de 700 toneladas).

### 3.3.3 Esgoto, Águas Residuais e Águas Pluviais

Águas residuais são provenientes de esgotos e ralos, entre outros. Segundo a IMO (2009), a sua geração a bordo de um navio tem as mesmas características da geração doméstica das grandes cidades e, se jogadas de qualquer forma no meio ambiente, podem trazer vários danos à sociedade e ao ecossistema. Ainda de acordo com a IMO (2012), a descarga de esgoto no mar pode representar um risco à saúde da fauna e da flora marinhas e à saúde humana, além de trazer uma poluição visual em áreas costeiras e praias.

Todas as normas de manuseio e descarte de esgoto estão demonstradas no anexo IV da MARPOL, que apresenta um conjunto de normas relativas à descarga de esgotos para o mar. Esse anexo também estabelece regulamentos sobre o uso de equipamentos a bordo, visando um sistema ideal de manipulação, tratamento e controle da descarga do esgoto. Ele ainda define as características das instalações nos portos e terminais para a recepção de esgoto e os requisitos para vistoria e certificação.

Os navios existentes são obrigados a cumprir as disposições desse anexo IV. O anexo foi revisto cinco anos após a data em que entrou em vigor, ou seja, em 27 de setembro de 2008. Nele consta que os navios devem ser equipados com instalação de tratamento de esgoto aprovada e certificada pela IMO ou um tanque de esgoto. Portanto, a descarga no mar é proibida, exceto quando o navio tem em funcionamento uma estação de tratamento de esgoto. Somente

após tratamento esse esgoto pode ser despejado, respeitando-se a distância de três milhas náuticas da terra.

A geração dessas águas varia conforme a quantidade de tripulantes a bordo. Segundo o PACPOL (2002), um navio da família cargueiro gera em torno de 70 litros por tripulante/dia. Considerando-se um navio com 20 tripulantes, tem-se geração de resíduos de esgotos e águas cinza em torno de 1.400 litros por dia e 511 mil litros por ano nesse navio, conforme a Tabela 08.

**Tabela 08:** Geração de esgoto por navio

| <b>Litros de Esgoto<br/>(l/dia/tripulante)</b> | <b>Tripulantes<br/>(quantidade)</b> | <b>Litros de Esgoto<br/>(l/dia/tripulação)</b> | <b>Litros de Esgoto<br/>(l/ano/navio)</b> |
|--|-------------------------------------|--|---|
| 70   | 20                                  | 1.400  | 511.000                                   |

Fonte: Elaboração própria a partir de PACPOL (2002)

Outra preocupação relacionada ao assunto das águas geradas por navios é o caso das águas sujas ou infectadas após a lavagem dos porões. Isso ocorre, por exemplo, com muitos navios graneleiros que, quando terminam de fazer o frete de um determinado produto e vão transportar outro, para não haver contaminação da nova carga, precisam fazer a lavagem dos porões. Após a lavagem dos porões com água, a mesma não pode ser despejada no mar para não contamina-lo. Esse assunto é abordado no anexo V da MARPOL.

### **3.3.4. Tintas Anti-Incrustantes**

As tintas anti-incrustantes, utilizadas para pintar o casco das embarcações, revestem toda a parte inferior do navio, ou seja, a parte que fica dentro do mar. Como o nome sugere, essa tinta é capaz de inibir ou diminuir a fixação de organismos, como ostras, mexilhões e outros no casco dos navios.

Normalmente a incrustação ocorre nos momentos em que o navio não está navegando; quando está em fila, no porto ou em um período de estabilidade operacional. Devido a essa incrustação no casco, podem acontecer diversos contratemplos, como a transferência de espécies entre diferentes ecossistemas, assim como da água de lastro. Ainda por causa da incrustação, dependendo da quantidade e da concentração, também pode

ocorrer um maior atrito com a água, o que diminui a velocidade do navio e aumenta o consumo de combustível, com isso aumentando a emissão de gases de escape<sup>3</sup>.



Fonte: Próprio acervo do autor

**Figura 11:** Crustáceos no casco do navio.

Segundo a IMO (2012), as tintas anti-incrustantes, utilizadas como revestimento ou em pintura de tratamento de superfície, contêm compostos que inibem a fixação de crustáceos no casco dos navios. Estudos têm demonstrado que estes compostos permanecem na água, matando a vida marinha e prejudicando o meio ambiente. Um dos mais eficazes anti-incrustantes, desenvolvido na década de 1960, contém a substância “*organotin tributylin*” (*TBT*). Foi comprovado que esse tipo de anti-incrustante pode causar deformações em ostras.

Em novembro de 1999, a IMO adotou uma resolução do Comitê de Proteção do Meio Ambiente Marinho, do inglês *Marine Environment Protection Committee* (MEPC), que é vinculado à IMO. Ela é resultado de um pedido da

---

<sup>3</sup> Por exemplo, um navio saindo da costa brasileira com destino à Turquia deveria desempenhar uma velocidade de 14,5 Nós, porém só desempenhou 12 – 12,5 Nós, acarretando assim um atraso de 4,5 dias de navegação. Este atraso é resultado do excesso de crustáceos em seu casco, conforme a Figura 11, que, conseqüentemente, o fez consumir mais combustível e emitir mais gases de escape.

IMO ao MEPC para desenvolver um instrumento legalmente vinculativo em todo o mundo para enfrentar os efeitos nocivos dos anti-incrustantes utilizados nos navios. A resolução pediu a proibição completa, em 1º de janeiro de 2008, da aplicação de compostos organoestânicos que atuam como biocidas em anti-incrustantes usados em navios. Este instrumento foi adotado como Convenção Internacional sobre o Controle de Sistemas Anti-incrustantes em navios (IMO, 2004).

### **3.3.5. Resíduos Sólidos**

Resíduos sólidos são todos os resíduos gerados a bordo, sendo lixo doméstico ou lixo operacional. Segundo a ANTAQ (2012), a geração dos resíduos sólidos pode ser considerada um dos principais impactos ambientais relacionados às atividades portuárias. Eles são gerados pela operação do porto ou pelas próprias embarcações.

Os resíduos gerados pelas embarcações devem ser desembarcados nos portos que tenham sistema de reciclagem de lixo. Isso deve ocorrer conforme especificações e adequações definidas pelo MEPC e validadas pela IMO, que trata dos resíduos gerados pelos navios que são regulamentados pelo Anexo V da MARPOL.

O regulamento reza que se deve registrar no livro de “registro de resíduos a bordo” os resíduos gerados durante o percurso. Estes só podem ser desembarcados nos portos que possuem plano de gerenciamento de resíduos, atendendo às especificações do CONAMA 05/93 e da ANVISA 217/01. Este último, no caso de portos brasileiros, é proibitivo quanto ao desembarque desses resíduos em portos que não tenham o plano homologado.

Segundo a ABRELPE (2011), Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, no Brasil um habitante gera em média cerca de 381,6 kg de lixo por ano. A média das cidades brasileiras, exceto as mais geradoras de lixo, fica em torno de 1 kg de lixo por dia.

Segundo o PACPOL (2002), cada família de navio mercante apresenta seus próprios desafios de gestão de resíduos, porém a estimativa média de geração/produção de resíduo sólido por tripulante por dia é de 1,5 kg/tripulante.

A IMO (1999) menciona que há poucas informações confiáveis disponíveis com relação à produção de lixo por navios uma vez que isto pode variar muito de navio para navio. Entretanto, acredita-se que normalmente é gerado 1,5 kg de lixo doméstico por dia por pessoa a bordo de navios de carga e, aproximadamente, o dobro em um navio de passageiros.

Segundo a consultoria Drewry (2009), um navio tipo *Handymax* tem um número estimado de 15 tripulantes a bordo, um navio tipo *Panamax* tem um número estimado de 19 tripulantes a bordo. Um navio do tipo *Pós-Panamax* possui cerca de 20 tripulantes. Já os navios do tipo *Capesize* carregam cerca de 21 tripulantes, que estão todos os dias, 24h, morando e trabalhando dentro das embarcações, gerando lixo doméstico e de trabalho dentro do mesmo ambiente. Sendo assim, considerando um navio do tipo *SmallCape* ou *Pós-Panamax*, com aproximadamente 20 tripulantes, tem-se 1,5 kg de lixo por dia por tripulante, portanto, uma produção de 30 kg por dia e 10,95 toneladas por ano, conforme apresenta a Tabela 09.

**Tabela 09:** Quantidade produzida de lixo a bordo

| Lixo<br>(kg/dia/tripulante) | Tripulantes<br>(quantidade) | Lixo<br>(kg/dia/tripulação) | Lixo<br>(kg/ano/navio) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1,5                         | 20                          | 30                          | 10.950                 |

Fonte: Elaboração própria a partir do PACPOL (2002)

### **3.3.6. Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e Gases de Escape (Poluentes Locais)**

O ecossistema é complexo e cíclico. Sendo assim, se há emissão de gases de efeito estufa na Holanda ou na China, poderá haver impactos socioambientais no Brasil.

As mudanças climáticas mundiais têm relevância política porque dependem dessa esfera de atuação para que haja redução e controle dos

GEE. Esse fato acaba gerando preocupações tanto para a sociedade quanto para os líderes políticos, o que pode trazer impactos sociais, econômicos e naturais e causar um desequilíbrio no ecossistema. Além dessas consequências, esse problema pode representar um aumento do custo da saúde dos países afetados e impactar negativamente na saúde e qualidade de vida da população.

#### *3.3.6.1 Emissões de GEE Marítima no Mundo*

Embora o transporte marítimo seja o modo que menos emite GEE, devido à proporção que está tomando, começa a ter uma relevância significativa e crescente nas emissões de GEE, representando uma contribuição para o aumento de dióxido de carbono global (CO<sub>2</sub>). O transporte marítimo é responsável por 90% do transporte do comércio mundial. Nos últimos 25 anos, a frota mercante mais que dobrou para atender o crescimento do comércio mundial. A previsão para os próximos 20 anos é que a interação de mercadorias entre os países aumente significativamente. Com isso a frota marítima mundial deve triplicar e aumentar a demanda por navios maiores e mais rápidos para atender o comércio mundial.

Segundo a IMO (2009), como já foi reconhecido pelo Protocolo de Kyoto, as emissões de CO<sub>2</sub> oriundas do transporte marítimo internacional não podem ser atribuídas a qualquer economia nacional. Sendo assim, a IMO procurou atender à limitação e redução dos gases de efeito estufa (GEE) produzidos no transporte marítimo internacional em reconhecimento à grandeza do desafio das mudanças climáticas e do intenso foco sobre este tema.

Ainda de acordo com a IMO (2009), o transporte marítimo foi o responsável pela emissão de 870 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> no ano de 2007, o equivalente a 2,7% das emissões globais de CO<sub>2</sub>. Na estimativa da *Shipping Efficiency* (2012), em 2012 o número de emissões de CO<sub>2</sub> de toda a frota marítima no mundo já ultrapassou a marca de 1,18 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

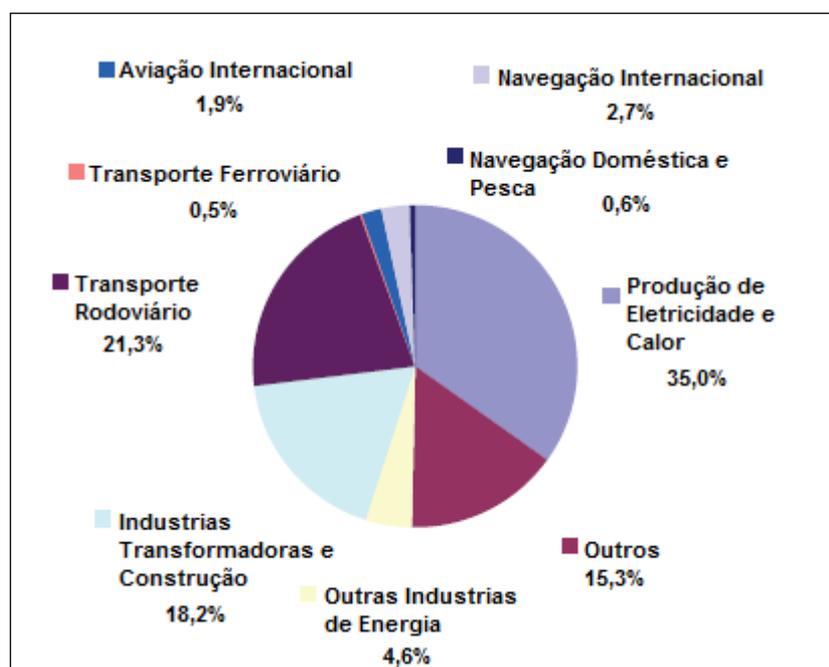
A estimativa das emissões dos GEE do ano de 2007 é apresentada na Tabela 10. As emissões de SF<sub>6</sub> e PFC<sub>s</sub> são consideradas desprezíveis e não são quantificadas. As emissões de CO<sub>2</sub> no transporte marítimo são comparadas com as emissões globais totais na Figura 12.

**Tabela 10:** Resumo das emissões dos GEE a partir do transporte marítimo em 2007

| GEE              | Navios Internacionais (Milhões de) | Total de Navios      |                             |
|------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
|                  |                                    | Milhões de Toneladas | CO <sub>2</sub> Equivalente |
| CO <sub>2</sub>  | 870,00                             | 1.050                | 1.050                       |
| CH <sub>4</sub>  | Não identificado*                  | 0,24                 | 6,00                        |
| N <sub>2</sub> O | 0,02                               | 0,03                 | 9,00                        |

\* A divisão em emissões nacionais e internacionais não é possível.

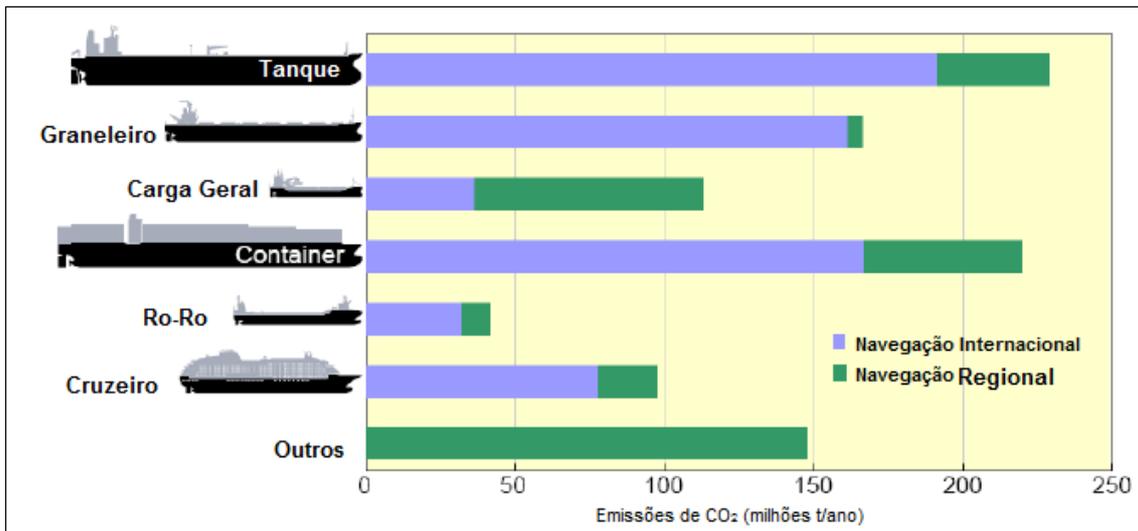
Fonte: Adaptado pelo autor de IMO (2009)



Fonte: Adaptado pelo autor de IMO (2009)

**Figura 12:** As emissões de CO<sub>2</sub> no transporte marítimo em comparação com as emissões globais totais.

A partir do total de emissões de CO<sub>2</sub> produzidos por ano pela frota mundial de navios, a IMO (2008) realizou uma divisão das emissões de GEE por tipo (classe) de navios, demonstrados na Figura 13.

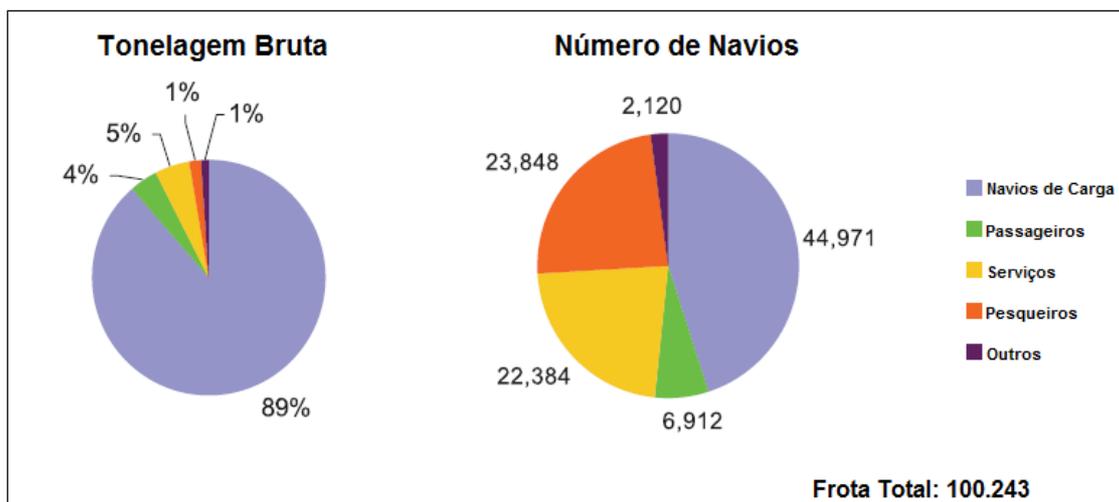


Fonte: IMO, Apresentado ao Encontro Inter-Primeiro do Grupo de Trabalho sobre Emissões de GEE Navios, em 24 de junho de 2008, citado em *Final Report to the Committee on Climate Change* (2008)

**Figura 13:** Emissões de CO<sub>2</sub> por Categoria de Navio no ano de 2007.

A Figura 13 relaciona diretamente as emissões de CO<sub>2</sub> ao número de navios no mundo e sua classe. Portanto, quanto maior o número de navios dentro de sua classe, maior a emissão de CO<sub>2</sub> por ano.

Para se calcular a emissão de CO<sub>2</sub> da frota mundial de navios, a IMO (2009) fez uma estimativa das emissões totais de gases de escape de navios a partir da base de dados do consumo de combustível em transporte no ano de 2007. Segundo a *Lloyd's Register – Fairplay* (2007), a frota de navios em 2007 já ultrapassava as 100 mil unidades, conforme indica a Figura 14, dos quais menos da metade são navios de carga, o que corresponde a 89% da tonelagem de porte bruto (do inglês *Deadweight Tonnage - DWT*).



Fonte: Adaptado pelo autor de *Lloyd's Register – Fairplay* (2007)

**Figura 14:** Número total de navios e sua distribuição por tipo de navio.

Ainda de acordo com a *Lloyd's Register – Fairplay* (2007), o número de navios mais que dobrou, quase triplicando nos últimos 40 anos, e a tendência para os próximos anos é que dobre a quantidade de navios dos números atuais.

A estimativa de consumo de combustível marítimo vem sendo estudada por milhares de especialistas, pois, com a identificação do consumo mundial de combustível marítimo, pode-se chegar a um número ideal para a emissão dos GEE. Porém, para que isso ocorra, os navios devem ser diferenciados por classe, tipo, tamanho, capacidade, tipo de máquina e consumo.

Segundo um estudo elaborado pela IMO (2009), estima-se que o consumo de combustível marítimo no mundo foi de 400 milhões de toneladas em 2007, conforme a Tabela 11.

**Tabela 11:** Estimativa de consumo de combustível em milhões de toneladas no ano de 2007

| Tipo de Consumo                             | Consumo de Combustível |
|---|------------------------|
| Consumo Marítimo Total <sup>1</sup>         | 400                    |
| Consumo Marítimo Internacional <sup>2</sup> | 344                    |

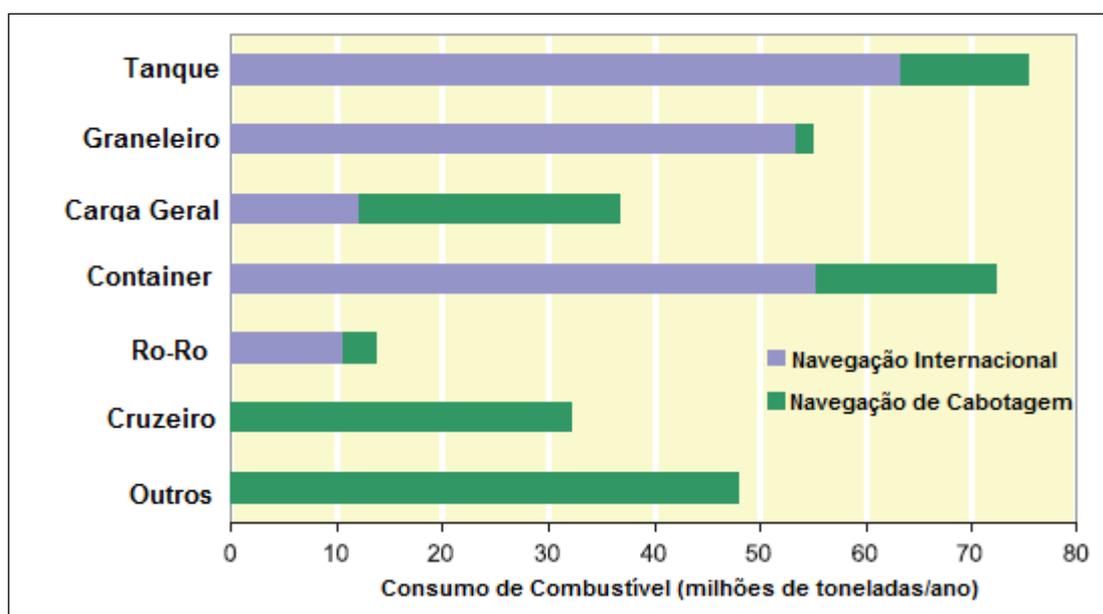
<sup>1</sup> Esta estimativa é baseada em todos os navios não militares maiores que 100 GT (*Gross tonnage*) e inclui o transporte nacional e pesca.

<sup>2</sup> Excluindo transporte doméstico, pesca e navios militares.

Fonte: Adaptado pelo autor de IMO (2009)

A IMO (2009) identificou o consumo estimado de combustível por navios no ano de 2007, por meio de duas metodologias:

1. Baseado em dados de atividade (abordagem *bottom-up*), e
2. Baseado em estatísticas de combustíveis (abordagem *top-down*).



Fonte: IMO (2009)

**Figura 15:** Consumo de combustível separado pelas principais categorias de navio.

Segundo a IMO (2009), na Figura 15, estima-se que a família de graneleiro/mineraleiro (*bulk*) consome em média 55 milhões de toneladas de combustível por ano. Essa estimativa refere-se aos dias navegados multiplicados pelo consumo diário de combustível da família *FO* e aos dias “boiando” multiplicados por combustíveis da família *DO*, conforme mencionado no Capítulo 2.

A IMO (2009) apurou através de um levantamento, utilizando metodologia para a medição de emissões de GEE e outros gases de escape, um fator de emissão, em kg emitido por tonelada de combustível queimado, demonstrado na

Tabela 12.

**Tabela 12:** Fatores de emissão de GEE e gases de escape por tonelada queimada de bunker.

| Emissão                              |   | Fator de Emissão (kg emitido/tonelada de combustível) |
|--------------------------------------|---|---|
| <b>Emissões de GEE</b>               |   |   |
| CO <sub>2</sub>                      | <i>MDO Bunker</i>                         | 3.130,0   |
|                                      | <i>IFO Bunker</i>                         | 3.190,0   |
| CH <sub>4</sub>                      |   | 0,3   |
| N <sub>2</sub> O                     |   | 0,1   |
| <b>Emissões de Gases de Escape**</b> |   |   |
| CO                                   |   | 7,4   |
| NMVOOC                               |   | 2,4   |
| SO <sub>2</sub>                      | <i>MDO Bunker</i>                         | 54,0  |
|                                      | <i>IFO Bunker</i>                         | 10,0  |
| NO <sub>x</sub> *                    | <i>baixa velocidade de motores diesel</i> | 85,0  |
|                                      | <i>média velocidade de motores diesel</i> | 56,0  |
|                                      | <i>caldeiras</i>                          | 7,0   |

\* Fatores de emissão de NO<sub>x</sub>: não regulamentado sujeitas à regulamentação IMO NO<sub>x</sub> (2007 - fator de emissão médio).

\*\* Poluentes Locais.

Fonte: IMO (2009)

A

Tabela 12, será utilizada no Capítulo 4, como fator de multiplicação pelo número de combustível queimado, pelos navios do estudo de caso.

O resultado das emissões totais de gases de escape para o transporte marítimo mundial no ano de 2007 está relacionado na Tabela 13 e aponta uma variação de ± 20%.

**Tabela 13:** Total da estimativa de emissão de gases de escape em milhões de toneladas no ano de 2007

|                              | ANO  | GEE             |                 |                  | OUTRAS SUBSTÂNCIAS |                 |      |      |                   |
|------------------------------|------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|-----------------|------|------|-------------------|
|                              |      | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | NO <sub>x</sub>    | SO <sub>x</sub> | PM   | CO   | NM <sub>VOC</sub> |
| Gases MMt 2007 Total         | 2007 | 1.050,00        | 0,10            | 0,03             | 25,00              | 15,00           | 1,80 | 2,50 | 0,80              |
| Gases MMt 2007 Internacional | 2007 | 870,00          | 0,08            | 0,02             | 20,00              | 12,00           | 1,50 | 2,00 | 0,70              |

Obs.: Estimativa de consumo de combustível podendo variar de  $\pm$  20%.

Fonte: Elaboração própria a partir de IMO (2009)

No ano de 2000, a IMO elaborou um relatório, “*Study of Greenhouse Gas Emissions From Ships*”, no qual apresentou três fontes diferentes para a emissão de gases de escape fazendo uma comparação entre elas. Os estudos apresentados pela IMO no ano de 2000, são dados baseados em levantamentos pela *Lloyd’s Register* (1991) e da *MARINTEK* (1990) e comparados com os dados do fabricante, como demonstrados na Tabela 14.

**Tabela 14:** Fatores de emissão média entre fontes - kg por tonelada de combustível queimado

| Valores Médios (kg/t queimada) | Dados do Fabricante |                  | Lloyd’s Register |                  | MARINTEK         |                  |
|--------------------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                | Velocidade Lenta    | Velocidade Média | Velocidade Lenta | Velocidade Média | Velocidade Lenta | Velocidade Média |
| CO <sub>2</sub>                | -                   | -                | 3153,0           | 3165,0           | -                | 3171,0           |
| NO <sub>x</sub>                | 105,4               | 61,2             | 80,4             | 57,5             | -                | 63,8             |
| CO                             | 3,3                 | 2,8              | 8,7              | 7,9              | -                | 6,1              |
| HC                             | 7,7                 | 1,8              | 7,0              | 6,6              | -                | 2,1              |

Fonte: Adaptado pelo autor de IMO 2000.

Segundo a IMO (2000), o consumo específico de combustível (média) está vinculado à sua velocidade de cruzeiro. Portanto, quanto mais rápida for a sua velocidade, maior será o consumo. Então, para uma velocidade lenta, o consumo médio é de 195 g/kWh; para uma velocidade média, o consumo médio será de 215 g/kWh; e para uma velocidade alta, o consumo médio será de 230 g/kWh para navios graneleiros.

Na Tabela 15 foi feito um comparativo para analisar a variação e a média entre as emissões de gases de escape nos estudos apresentados pela IMO no ano de 2000 e 2009. Dentre as emissões de GEE, o CO<sub>2</sub> é um dos gases de maior representatividade. O resultado das emissões de gases de escape obtido entre os três estudos e as informações do fabricante aponta que as emissões tiveram uma variação menor que 1%, chegando a uma média de emissão do CO<sub>2</sub> de 3.175 kg/t de combustível marítimo queimado.

**Tabela 15:** Estudo Comparativo entre as emissões de fases de escape - Fatores de emissão por kg por tonelada queimada de combustível

| GEE                    | Dados do Fabricante |                  | Lloyd's Register |                  | MARINTEK         |                  | IMO (2009)**     |                  | Média Considerando                              |
|------------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|
|                        | Velocidade Baixa    | Velocidade Média | Velocidade Baixa | Velocidade Média | Velocidade Baixa | Velocidade Média | Velocidade Baixa | Velocidade Média | (Kg emitido / tonelada de combustível queimado) |
| CO2 (Kg/t combustível) | -*                  | -*               | 3153             | 3165             | -*               | 3171             | -*               | 3190             | 3.175,3   |
| NOx (Kg/t combustível) | 105,4               | 61,2             | 80,4             | 57,5             | -*               | 63,8             | 85               | 56               | 59,6  |
| CO (Kg/t combustível)  | 3,3                 | 2,8              | 8,7              | 7,9              | -*               | 6,1              | -*               | 7,4              | 6,1   |

\*Dados não disponíveis pelas fontes

\*\*O fabricante dos motores só disponibiliza dados de velocidade média

\*\*\*IMO (2009), conforme diretrizes de referências

Média Velocidade: Considerando consumo de combustível com navios em velocidade média de cruzeiro + ou - 13 Nós

Baixa Velocidade: Considerando consumo de combustível com navios em velocidade baixa de cruzeiro + ou - 8 Nós

Fonte: Elaboração própria a partir de IMO (2009) e IMO (2000)

A IMO (2009) desenvolveu uma metodologia na qual a eficiência da emissão de CO<sub>2</sub> é expressa através da emissão de CO<sub>2</sub> por TKU, ou seja, a massa total de emissão a partir da quantidade transportada por quilômetro. A eficiência da emissão de CO<sub>2</sub> é definida conforme Equação (3.1).

(3.1)

$$CO_2TKU \frac{CO_2}{tonelada \times km}$$

Onde:

CO<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> total emitido pelo navio dentro do período (ex.: dentre uma rota verificada)

Tonelada = Tonelada transportada pelo veículo na rota verificada

km = Quilômetro - distância percorrida na rota verificada.

Sendo assim, a eficiência de CO<sub>2</sub> dependerá do fator carga transportada e sua distância, pois quanto maior for o navio, maior será a emissão de CO<sub>2</sub>. Porém, quando dividido pela sua capacidade e multiplicado pela sua distância percorrida, o número de CO<sub>2</sub>/TKU será menor para um navio grande que para navios de pequeno porte. Como o transporte marítimo sempre tem como referência distâncias por milhas náuticas, a eficiência pode ser representada por CO<sub>2</sub>/toneladas-milhas<sup>4</sup>,

De acordo com a IMO (2009), os números apresentados na

<sup>4</sup> Para converter para gramas CO<sub>2</sub>/toneladas-km, deve-se multiplicar por 0,540.

Tabela 16 são destinados a indicar os níveis de eficiência de transporte de várias categorias de navios. Os valores reais dos navios individuais e as médias anuais dependerão de fatores, dentre eles, a variação na demanda do comércio, os dias navegando, a velocidade e os fatores de carga. Tudo isso é relevante para se chegar a um número de CO<sub>2</sub> emitido por TKU.

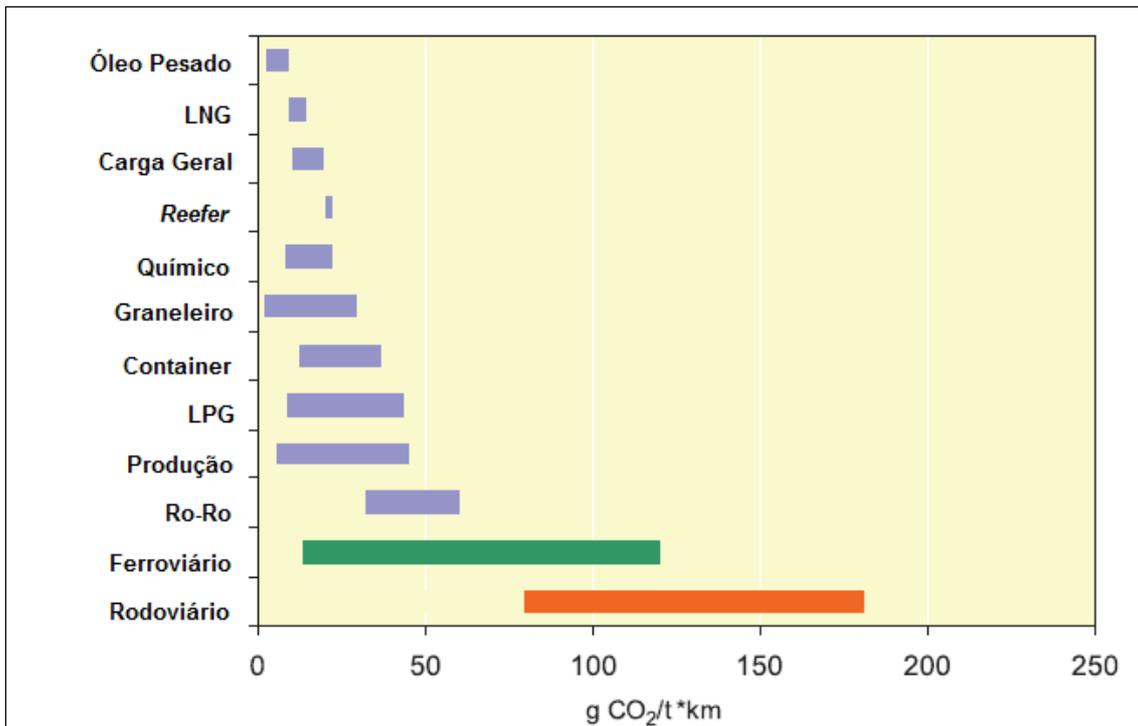
**Tabela 16:** Estimativas de eficiência de CO<sub>2</sub> para navios de carga

| Família   | Tamanho (DWT)     | DWT Médio (t) | Média anual capacidade utilização | Velocidade Média (Nós) | Transporte Trabalho (t-MN/ano) | Eficiência (gCo2/t-km) |
|-----------|-------------------|---------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
| -         | 0-9.999           | 2.400,00      | 0,60                              | 11,00                  | 68.226.787,00                  | 2,50                   |
| Handysize | 10.000-34.999     | 26.000,00     | 0,55                              | 14,30                  | 1.268.561.872,00               | 3,00                   |
| Handymax  | 35.000-59.999     | 45.000,00     | 0,55                              | 14,40                  | 2.243.075.236,00               | 4,10                   |
| Panamax   | 60.000-99.999     | 74.000,00     | 0,55                              | 14,40                  | 3.821.361.703,00               | 5,70                   |
| Capesize  | 100.000 - 199.999 | 163.000,00    | 0,50                              | 14,40                  | 7.763.260.284,00               | 7,90                   |
| Vloc      | 200.000 +         | 227.000,00    | 0,50                              | 14,40                  | 10.901.043.017,00              | 29,20                  |

Fonte: Elaboração própria a partir de IMO (2009)

### 3.3.6.2. Comparação da Eficiência dos Meios de Transporte na Emissão de CO<sub>2</sub>

Como já mencionado nesse capítulo, o transporte marítimo é um dos modos de menor impacto ambiental, principalmente se as emissões forem medidas por tonelada transportada. A Figura 16 apresenta um estudo realizado pela IMO (2009), que demonstra classes de navios comparadas com o modo rodoviário e o ferroviário.



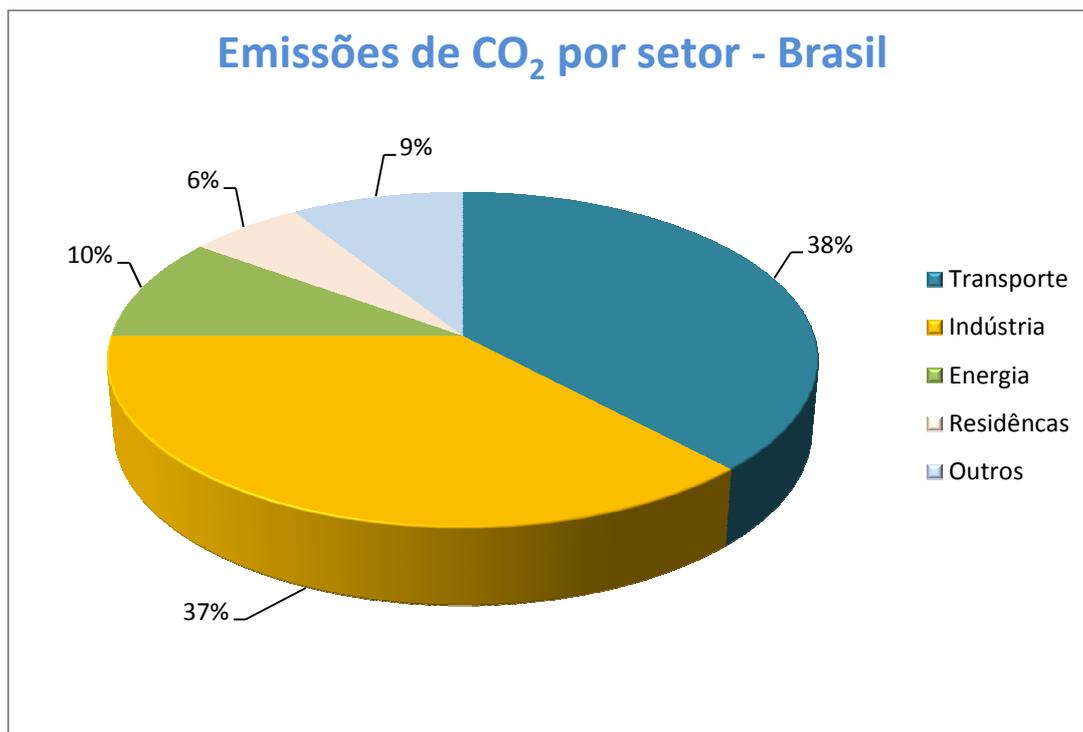
Fonte: Adaptado pelo autor de IMO (2009)

**Figura 16:** Variações típicas de eficiências de CO<sub>2</sub> por classe de navios comparados com os outros modos.

Pode-se identificar as variações típicas de eficiências de CO<sub>2</sub> dos navios, divididos por tipo/classe, em comparação com o transporte ferroviário e rodoviário.

### 3.3.6.3. Emissão de CO<sub>2</sub> No Brasil

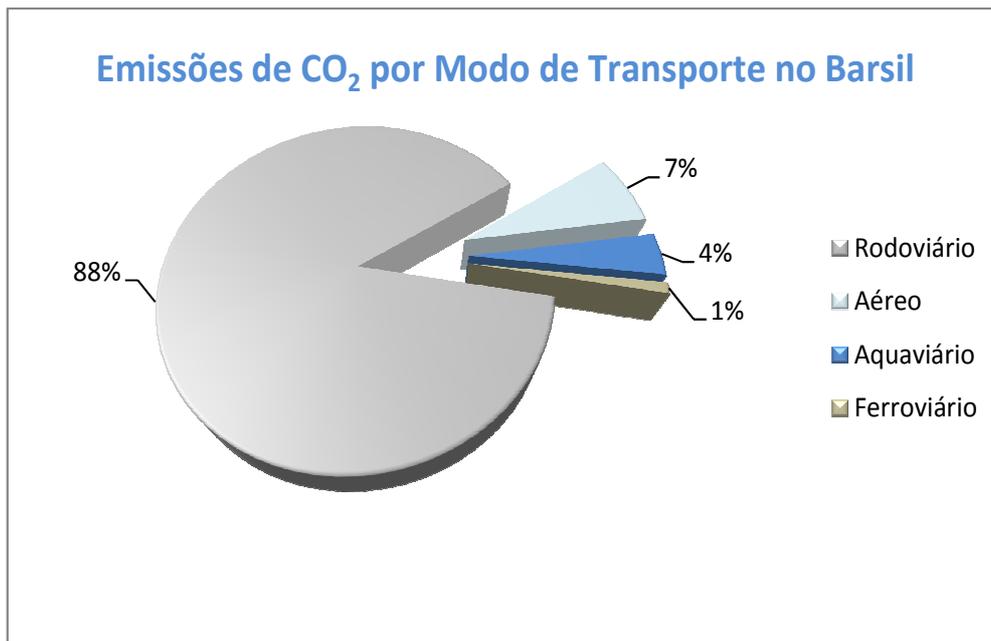
Segundo Cordeiro (2012), as emissões de CO<sub>2</sub> são setorizadas nas seguintes distribuições: transporte 38%, indústria 37%, energia 10%, residências 6 % e outros 9%, conforme apresenta a Figura 17. Os dados excluem as queimadas na grande Amazônia e em outros biomas.



Fonte: Próprio autor com base em Cordeiro (2012) - Inventário Brasileiro de Emissões de Gases do Efeito Estufa, Ministério de Ciência e Tecnologia e Estudo WWF.

**Figura 17:** Emissão de CO<sub>2</sub> por setor no Brasil.

O setor de transporte é o maior contribuinte para as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil. A divisão de emissão de CO<sub>2</sub> por modo de transporte ocorre da seguinte maneira: 88% no modo rodoviário, 7% no modo aéreo, 4% no modo aquaviário e 1% para o modo ferroviário, conforme indica a divisão modal do transporte brasileira, vista no Capítulo 2. A Figura 18 demonstra a emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil por modo de transporte.



Fonte: Próprio autor baseado em Cordeiro (2012) - Inventário Brasileiro de Emissões de Gases do Efeito Estufa, Ministério de Ciência e Tecnologia e Estudo WWF.

**Figura 18:** Emissão de CO<sub>2</sub> por modo de transporte no Brasil.

O modo ferroviário apresenta um índice menos expressivo devido à divisão modal do transporte no Brasil.

Cordeiro (2012) destaca que um caminhão pode emitir 4 vezes mais carbono do que um navio para transportar 1 tonelada em 1 km.

Nesse estudo não serão levantadas as emissões de gases relacionados aos refrigeradores, que são utilizados em instalações de refrigeração em navios frigoríficos e em aparelhos de ar condicionado e de refrigeração de provisões, bem como em todos os tipos de navios e contêineres refrigerados a bordo dos navios. Os principais gases relacionados a essas atividades são: HFCs (hidrofluorcarbonos), CFCs (clorofluorcarbonos) e R7 17 (amônia).

### 3.4. CONCLUSÃO

Neste capítulo foram apresentados os principais impactos ambientais causados pelo transporte marítimo no mundo. Foi possível verificar que existem diversos impactos ambientais ligados à navegação e que os mesmo devem estar em conformidade com as exigências dos tratados internacionais.

As estimativas de geração de resíduos relacionada a cada indicador ambiental, gerando um índice de emissão ou de geração de resíduo por indicador também foram estudadas.

Para cada indicador ambiental existe uma norma ou um tratado a qual a embarcação deve se adequar, tratados esses geridos pela IMO.

Hoje, a questão ambiental marítima está no processo final de adequação da frota da marinha mercante no mundo. Uma empresa de navegação deve cumprir todas as legislações atuais e as que por ventura podem surgir. Porém, ainda se está muito longe da excelência em prevenção e minimização dos impactos ambiental.

O próximo passo da comunidade marítima é focar em uma forma de minimizar os principais impactos, modificando e identificando novas fontes de combustível, métodos de tratamento de esgoto e águas oleosas, entre outros.

Cada empresa de navegação marítima deve focar na característica da sua frota e se adequar às necessidades por tipo e tamanho dos seus navios para que se tenham transporte sustentável para as próximas gerações e, assim, elas possam usufruir de maneira sustentável desse ambiente.

## **4. ESTUDO DE CASO**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

O estudo de caso apresentado a seguir trata do abastecimento de minério de ferro para a Siderúrgica do Pecém. Os insumos que abastecem essa siderúrgica serão movimentados pelo Porto do Pecém através da navegação de cabotagem. Esse tipo de operação não é comum no Brasil como foi demonstrado no Capítulo 2. Devido à baixa movimentação de minério de ferro na navegação de cabotagem brasileira, a frota de navios graneleiros ou mineraleiros pequena, o que também foi abordado no Capítulo 2. Portanto, para que haja esse tipo de operação, poderá ser necessária a construção de novos navios para uma frota dedicada, porque há uma indisponibilidade de navios graneleiros na frota brasileira destinados à navegação de cabotagem.

Segundo o Governo do Ceará (2012), a Siderúrgica do Pecém tem uma previsão de capacidade de produção em torno de 3,0 milhões de toneladas de placas de aço por ano. Com relação à produção de aço no Brasil, existem três insumos básicos necessários: o minério de ferro, em alguns casos pelotas, o calcário e o carvão metalúrgico. Este estudo de caso terá como premissa apenas abordar sobre o fornecimento de minério de ferro. Então, para uma produção anual de 3,0 milhões de toneladas de placas de aço, estima-se que a indústria siderúrgica necessite, em média, de 5,06 milhões de toneladas de minério de ferro por ano.

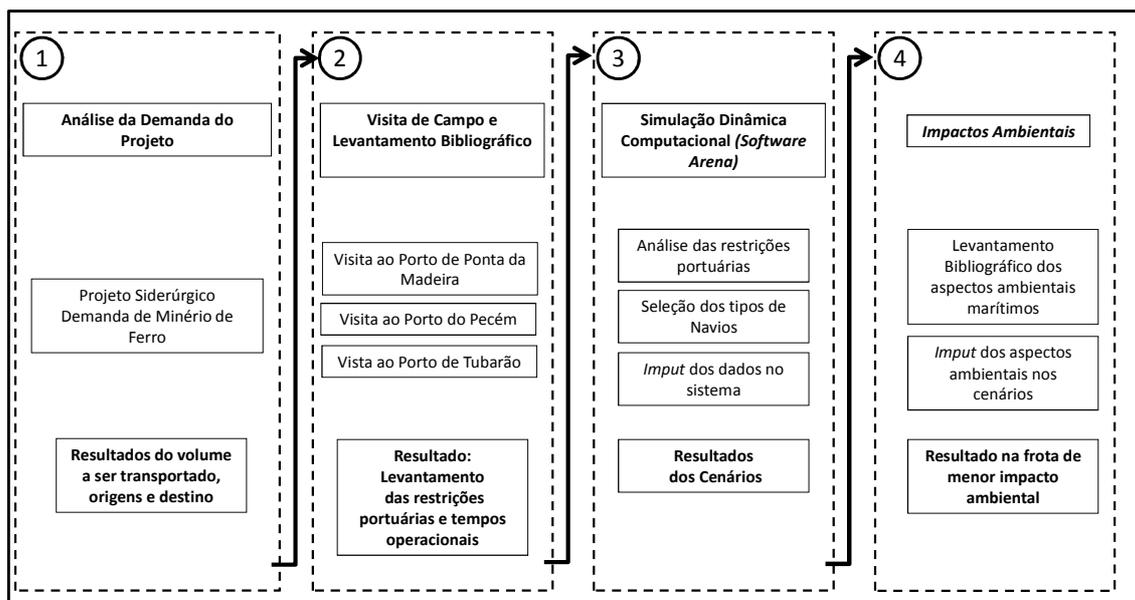
O presente estudo considerará os portos de Ponta da Madeira e de Tubarão como portos de origem. O porto de recebimento e destino será o Porto do Pecém, conforme Figura 19. Estima-se que o Porto de Ponta da Madeira terá um volume na navegação de cabotagem de 3,54 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (70%) e o Porto de Tubarão, 1,52 milhões de toneladas por ano (30%).



Fonte: Próprio autor

**Figura 19:** Fluxo Logístico Marítimo *Inbound* de Minério de Ferro.

Um dos objetivos desse capítulo é conseguir obter, através da simulação dinâmica computacional utilizando o *software Arena*, o dimensionamento da frota de navios da navegação de cabotagem conforme a demanda do projeto. Para que isso seja realizado serão considerados os principais tempos e movimentos desempenhados pela frota ideal. Após o resultado do dimensionamento de frota serão considerados os aspectos ambientais, resultando na frota de menor impacto ambiental para o estudo de caso, conforme Figura 20.



Fonte: Próprio autor (2013)

**Figura 20:** Fluxograma do Procedimento Adotado.

O método de simulação dinâmica computacional foi escolhido por permitir a obtenção de resultados mais próximos à realidade. O estudo de caso não irá abordar as interfaces da simulação dinâmica, mas apenas os resultados alcançados.

## 4.2 COMPANHIA SIDERÚRGICA DO PECÉM

Segundo a própria Companhia Siderúrgica do Pecém - CSP (2012), ela será a primeira siderúrgica do nordeste. Quando estiver finalmente concluída, irá impulsionar o crescimento econômico do Ceará. A previsão inicial de produção é de 3,0 milhões de toneladas de placas de aço por ano. As placas de aço produzidas pela CSP serão de alta qualidade metalúrgica, pois contarão com tecnologia e padrão de excelência mundial. Isso se deve ao fato de que o seu principal mercado será a exportação mundial (CSP, 2012).

Desde o ano de 2000, o Governo do Estado do Ceará vem idealizando o projeto de uma siderúrgica no Estado com a finalidade de incentivar seu crescimento socioeconômico, o que contribui também para o crescimento do país. Fazem parte do planejamento do Estado inúmeras medidas, tais como vários investimentos em infraestrutura, portuária e rodoviária, a desapropriação

de áreas e uma série de incentivos fiscais para a Siderúrgica do Estado do Ceará.

Na primeira concepção da Siderúrgica do Estado do Ceará, o nome do projeto era Ceará Steel e seus principais sócios eram o BNDESPar, a Dongkuk Steel, a Vale S.A. e a Danieli Steel. A partir de 2007 a concepção do projeto mudou para CSP, Companhia Siderúrgica do Pecém, e seus sócios mudaram; agora são a Vale S.A., a Dongkuk Steel e a Posco.

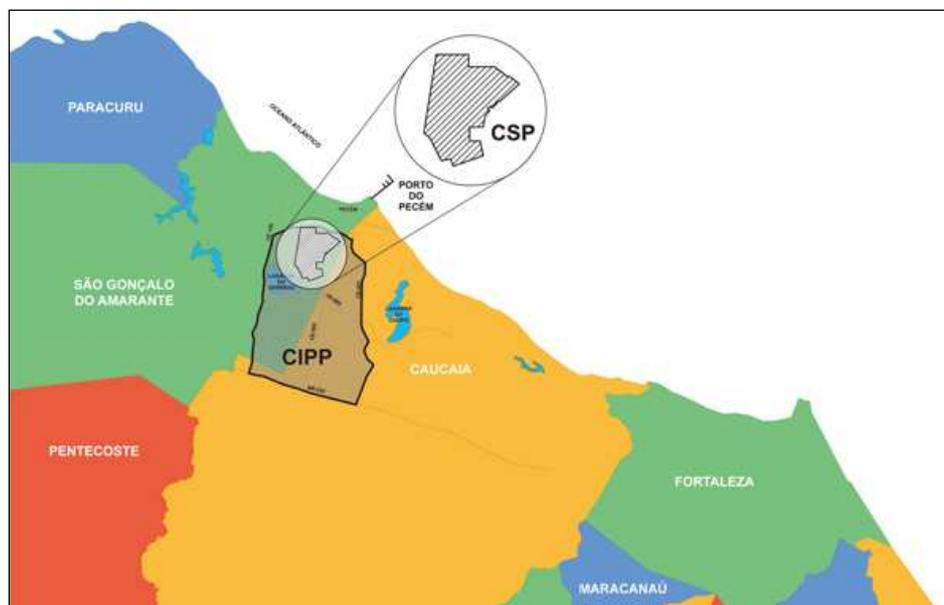
Em 2009 o Governo do Ceará assinou um memorando de entendimento entre o Estado do Ceará, o Município de São Gonçalo do Amarante e a CSP para a implantação de um parque industrial destinado à fabricação de produtos siderúrgicos. O Governo do Ceará concedeu à CSP uma série de incentivos fiscais, já ratificados através da Lei Estadual 14.456/2009 e que inclui o Estado nas responsabilidades em relação ao Porto do Pecém.

Segundo a Lei Estadual 14.456/2009, para a implantação da siderúrgica, o Governo do Ceará concederia alguns benefícios. Tais benefícios seriam o indeferimento de ICMS para aquisição de bens, máquinas e equipamentos, o indeferimento de ICMS para aquisição de matérias-primas, material intermediário e material de embalagem adquiridos no Estado do Ceará ou importados, a serem utilizados no processo de industrialização, e o deferimento do diferencial de alíquota na compra de bens e matérias-primas adquiridos fora do Estado. Conforme essa lei, o Estado se comprometeria a garantir condições de descarga de matérias-primas e embarque de produtos siderúrgicos nos volumes e prazos adequados ao funcionamento da CSP. Em contrapartida, haveria a cobrança de uma tarifa de R\$2,05 por tonelada embarcada ou desembarcada por um período de 20 anos.

Ainda segundo a Lei Estadual 14.456/2009, o Estado deve garantir a adequação das instalações do Porto do Pecém. Isso incluiria os berços dedicados ao descarregamento de matérias-primas, a profundidade mínimo necessário, os equipamentos portuários de embarque de produtos siderúrgicos e de desembarque de insumos adequados e as correias transportadoras

independentes, que servem para o transporte de carvão e coque, e o transporte de minério de ferro e pelotas, ligando o terminal até a entrada do terreno da CSP.

De acordo com a CSP (2012), a localização da usina siderúrgica será no CIPP (Complexo Industrial e Portuário do Pecém), conforme Figura 21, no município de São Gonçalo do Amarante, região metropolitana de Fortaleza/CE. A localização é estratégica, pois se beneficia de toda a infraestrutura já instalada no CIPP, o que inclui a facilidade de acesso marítimo, uma profundidade natural, a existência de malhas ferroviária e rodoviária para acesso, a disponibilidade de energia elétrica, o abastecimento de água e um sistema de descarte de efluentes.



Fonte: CSP (2012)

**Figura 21:** Localização da Siderúrgica do Pecém.

O estoque da Siderúrgica do Pecém foi dimensionado conforme o consumo da usina e suas limitações/restrições físicas. O estoque identificado como um estoque ótimo para o pátio de minério de ferro foi de 380.000 toneladas de minério de ferro. O consumo diário da siderúrgica será distribuído uniformemente, sem considerar a variação de mercado.

### **4.3 PORTO DO PECÉM**

O Terminal Portuário do Pecém ou, como é conhecido, Porto do Pecém é um complexo portuário na região Nordeste do Brasil, situado no Município de São Gonçalo do Amarante, que faz parte da região metropolitana de Fortaleza-CE. Seu acesso terrestre fica a 63 km de distância de Fortaleza e seu acesso marítimo fica a 31 milhas náuticas do Porto de Mucuripe ou, como é conhecido, Porto de Fortaleza, conforme Figura 22.

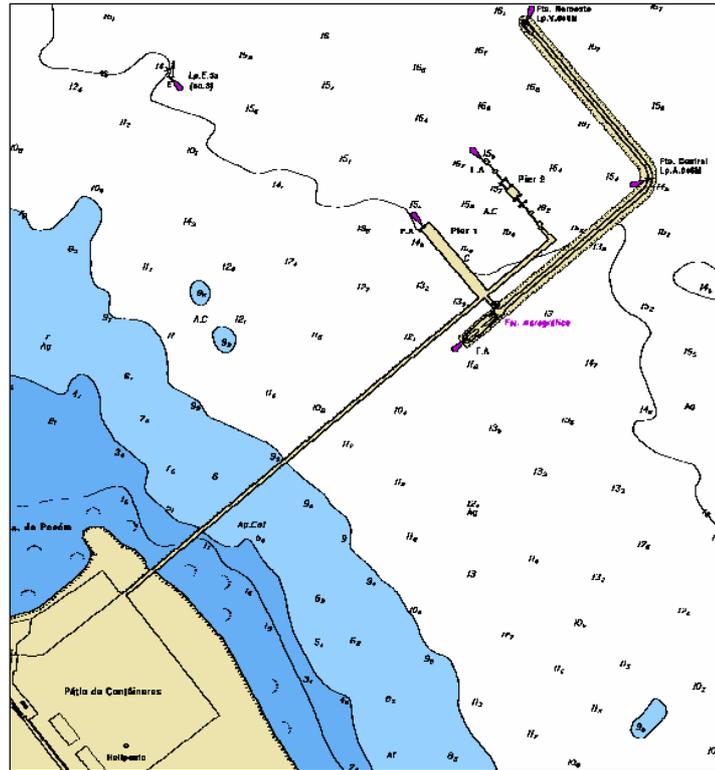


Fonte: World Port Source (2012)

**Figura 22:** Localização do Porto do Pecém.

O Porto do Pecém é administrado pela Companhia de Integração Portuária do Ceará, conhecida como Cearáportos. Ela é uma empresa de economia mista criada por meio de um decreto da Assembleia Legislativa do Estado do Ceará sancionado pela Lei n.º 12.536/95 de 22 de dezembro de 1995. De acordo com esse decreto a empresa está vinculada à Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará, SEINFRA-CE.

Segundo a DHN (2012), o Porto do Pecém está referenciado pela carta náutica N° 705, Latitude 3°31' S e Longitude 38°48' O, conforme Figura 23.



Fonte: DHN (2001)

**Figura 23:** Terminal Portuário do Pecém - Carta Náutica N°705.

### 4.3.1 Características Portuárias

De acordo com a Cearáportos (2012), o Terminal Portuário do Pecém, Figura 24, tem como objetivo viabilizar a operação de atividades portuárias e industriais integradas, representando um complexo com características de Porto Industrial.



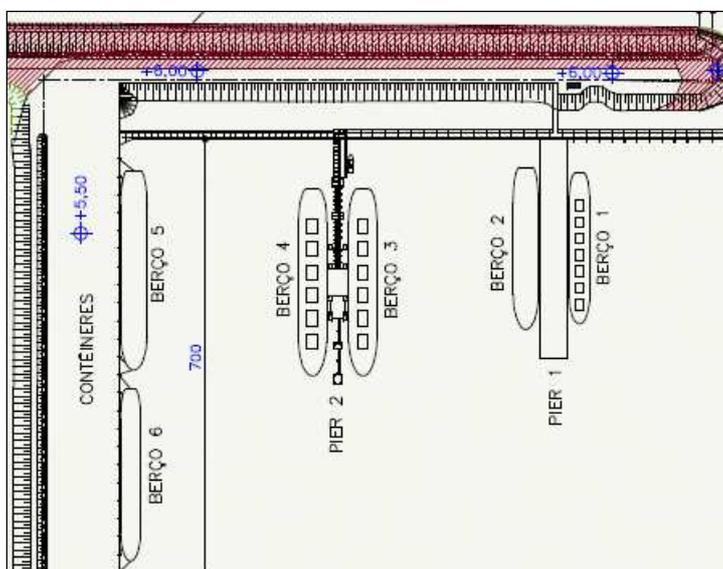
Fonte: Cearáportos (2012)

**Figura 24:** Terminal Portuário do Pecém – Vista Geral.

Por se tratar de um terminal *offshore*, os *piers* de atracação estão protegidos da ação das ondas e correntes por um quebra-mar do tipo “*rubble mound breakwater*” na forma de "L" e com 1.768 m de extensão. Ambos são ligados ao continente por uma ponte rodoviária entre o pátio de armazenagem e as instalações de atracação de navios (Cearáportos, 2012).

Ainda de acordo com a Cearáportos (2012), o porto possui seis berços de atracação, conforme a Figura 25, cujas vocações e características técnicas são detalhadas na

Tabela 17.



Fonte: Cearáportos (2012)

**Figura 25:** Layout do Porto do Pecém no ano de 2012.

**Tabela 17:** Características dos Berços do Porto do Pecém

| Berços  | Vocação                 | Comprimento (m) | Capacidade Porte Bruto (t) | Calado (m) |
|---------|-------------------------|-----------------|----------------------------|------------|
| Berço 1 | Carvão                  | 350,00          | 75.000,00                  | 14,00      |
| Berço 2 | Minério de Ferro        | 350,00          | 125.000,00                 | 15,00      |
| Berço 3 | Gás Natural             | 336,56          | 125.000,00                 | 15,50      |
| Berço 4 | Granéis Líquidos        | 336,56          | 175.000,00                 | 15,50      |
| Berço 5 | Container e Carga Geral | 760,00          | 4a Geração                 | 18,00      |
| Berço 6 | Container e Carga Geral | "               | 4a Geração                 | 18,00      |

Fonte: Elaboração própria a partir de Cearáportos (2012) e visitas técnicas ao porto do Pecém.

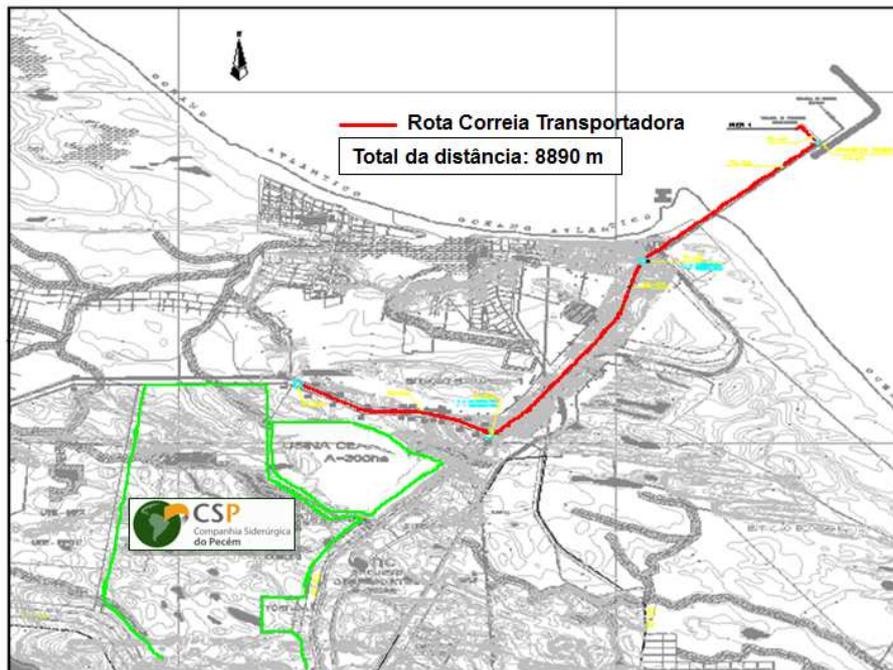
O Berço 2 tem vocação para descarga de minério de ferro. Seu projeto e concepção foram desenvolvidos pela Cearáportos junto com a SEINFRA-CE.

Esse berço será utilizado pela siderúrgica para o recebimento do minério de ferro dedicado para a demanda da siderúrgica ao longo dos anos.

#### **4.3.2 Descarregador de Navio**

Durante o projeto do porto ficou definido que o Berço 2 seria um berço dedicado às operações de movimentação marítima de minério de ferro para abastecer a usina siderúrgica. Isso foi estabelecido na Lei Estadual 14.456/2009.

O descarregador de navio (DN) é um equipamento de descarga de minério de ferro dotado de *clamshell* e dimensionado através de um projeto conceitual para operar com uma vazão de 1.200 toneladas por hora. Sua capacidade máxima de carga é de 35 toneladas e seu movimento vertical varia de 17,9 metros abaixo do nível do trilho até 24,5 metros acima do nível do mesmo (Cearáportos 2012). O descarregador contínuo estilo *clamshell* será conectado diretamente a uma correia transportadora tubular e contínua, interligado diretamente com o pátio de minério de ferro da siderurgia. Essa correia transportadora tem um dimensionamento total de 8.890 metros do DN do Berço 2 até o pátio de estocagem de minério de ferro da usina siderúrgica, conforme Figura 26. A correia transportadora tubular contínua tem a capacidade de transportar 2.400 toneladas de minério de ferro por hora, o que atende a demanda com 50% de sua capacidade máxima.



Fonte: Cearáportos (2012)

**Figura 26:** Traçado da correia transportadora.

#### 4.4 NAVIOS UTILIZADOS NO ESTUDO DE CASO

Para identificar os possíveis navios para atracar no Porto do Pecém, foram identificadas as restrições portuárias máximas do Porto do Pecém, como limitantes das dimensões das embarcações. Nessa análise foram consideradas as restrições técnicas quanto à infraestrutura e à superestrutura e as restrições marítimas, o que já foi demonstrado na

Tabela 17 desse capítulo.

O navio ótimo para atracar no Porto do Pecém deve ser customizado e dimensionado para atender às restrições portuárias. Os navios da classe *Smallcape* são os mais indicados para o Porto do Pecém. Isso porque esses navios teriam uma capacidade em torno de 115.000 *DWT*.

O navio de projeto tem as seguintes características: capacidade de 115.000 mil *DWT* e capacidade de *Payload* de 111.600 toneladas. A diferença entre a carga líquida e o *DWT* são os consumíveis, tais como água e óleo combustível. O *Payload* poderá variar conforme a distância portuária. As

dimensões do *Smallcape* e suas características serão demonstradas na Tabela 18.

Como restrições mínimas verificou-se também nos portos de origem e de destino que são capazes de receber navios menores da classe Panamax e menor ainda da classe Handymax. Sendo assim para o estudo de caso também serão consideradas mais duas classes de navios; os navios do tipo *Panamax*, de 74.000 mil *DWT*, com capacidade de *Payload* de 71.600 toneladas; e os navios do tipo *Handymax*, de 52.000 mil *DWT*, com capacidade de *Payload* de 50.000 toneladas. Na Tabela 18 podem ser encontrados detalhes das informações dos navios utilizados.

No estudo do dimensionamento da frota optou-se por três classes de navios conforme o apresentado na Tabela 18. A principal diferença verificada é a capacidade de transporte de carga. No resultado do dimensionamento de frota poderá haver uma combinação entre os tipos de navios. Esse *mix* de classe de navios com diferentes capacidades será de forma positiva para testar o atendimento da demanda e o nível de impacto ambiental da frota.

**Tabela 18:** Características técnicas dos navios do estudo de caso

| <b>Navio</b> | <b>LOA<br/>(m)</b> | <b>Beam<br/>(m)</b> | <b>DWT<br/>(t)</b> | <b>Payload<br/>(t)</b> | <b>Draft<br/>(m)</b> | <b>Velocidade<br/>(knts)</b> |
|--------------|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------------|
| SmallCape    | 260,00             | 40,00               | 115.000,00         | 111.600,00             | 15,0                 | 14,5                         |
| Panamax      | 225,00             | 32,25               | 74.000,00          | 71.600,00              | 14,0                 | 14,0                         |
| Handymax     | 189,99             | 32,26               | 52.000,00          | 50.000,00              | 12,0                 | 14,0                         |

Fonte: Próprio autor baseado em BALTIC (2012)

Segundo a BALTIC (2012), as medidas de *LOA* são as medidas máximas de comprimento do navio. As medidas de *BEAM* ou boca são as medidas da largura do navio. *DWT* representa a tonelagem de porte bruto, ou seja, a carga mais os consumíveis. *Payload* ou carga líquida é a capacidade em toneladas útil de carga a ser transportada. *Draft* ou calado é a profundidade em metros da linha d'água até o ponto mais profundo da embarcação, a quilha do navio. A velocidade do navio, que é medida em Nó, em inglês "*knots*", velocidade equivalente a uma milha náutica por hora, ou seja, 1,852 metros por hora.

Segundo Drewry (2012), os navios da classe *SmallCape* possuem a bordo, em média, 22 tripulantes por embarcação simultaneamente, sendo que alguns podem estar de folga e outros trabalhando. Já nos navios da classe *Panamax* trabalham 20 tripulantes simultaneamente e nos navios da classe *Handymax* o número de tripulantes é de 18. Todos os tripulantes estão sempre a bordo da embarcação, desconsiderando-se a tripulação reserva e de férias que estiverem fora da embarcação.

Para as premissas da navegação e *inputs* da simulação dinâmica foram considerados alguns outros tempos e movimentos que não serão detalhados aqui. Foram considerados aqui tempos e movimentos operacionais referentes à navegação, tais como dias de docagem, dias *offhire*, tempo de navegação, tempo de fila e tempo de carga e descarga.

Todos os navios serão dedicados ao fornecimento de insumos de minério de ferro para a siderúrgica. Entretanto, os navios não serão dedicados a rotas, sendo o atendimento aleatório conforme disponibilidade.

#### **4.4.1. Características de Consumo das Embarcações**

Cada classe de navio demonstrado na Tabela 18 tem uma característica quanto ao consumo de *bunker* em grama/quilowatt por hora (g/Kwh). Entretanto, nesse estudo de caso o consumo será demonstrado em tonelada por dia (t/dia).

Conforme identificado no Capítulo 2, o consumo de combustível de qualquer navio é diferenciado quando ele está navegando ou não. Quando o navio está navegando há um consumo maior de *IFO*. Quando o navio está "flutuando" o consumo de *IFO* do motor principal é baixo, fica entre 5% a 10% do consumo navegando. O consumo de *MDO* é maior quando o navio se encontra parado, pois o consumo dos motores geradores ocorre para manter o sistema de geração de energia da embarcação.

Na Tabela 19 estão as informações sobre o consumo de combustível dos navios utilizados no estudo de caso. Os consumos estão demonstrados

separadamente, em consumo de *IFO* e consumo de *MDO*, ambos os consumos com o navio navegando e parado. A fonte adotada foi uma média das principais embarcações conforme Tabela 05. Ao adotar essa média o estudo de caso torna-se mais conservador e não adota a fonte NTUA de 2012, como demonstrado no Capítulo 2, pois a média dos consumos desse estudo está se apresentando maior que a da NTUA.

**Tabela 19:** Consumo dos Navios do Estudo de Caso

| Navio     | IFO - Consumo Navegando (t/dia) | MDO - Consumo Navegando (t/dia) | IFO - Consumo sem navegação (t/dia) | MDO - Consumo sem navegação (t/dia) |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| SmallCape | 46,00                           | 0,10                            | 3,00                                | 0,50                                |
| Panamax   | 33,50                           | 0,40                            | 2,23                                | 1,50                                |
| Handymax  | 30,00                           | 0,20                            | 1,50                                | 1,50                                |

Fonte: Próprio autor baseado *The Baltic Exchange* (2012), *RightShip* (2012), *Clarksons* (2012) e *Lloyd's List Intelligence* (2012).

Os dados identificados na Tabela 19 serão utilizados como *input* de consumo de combustível, após o resultado do desempenho de cada frota, com o intuito de ranquear as frotas com maior consumo de combustível. O consumo demonstrado na tabela acima é considerado tanto quando o navio estiver carregado (*laden*) como quando estiver vazio (*ballast*).

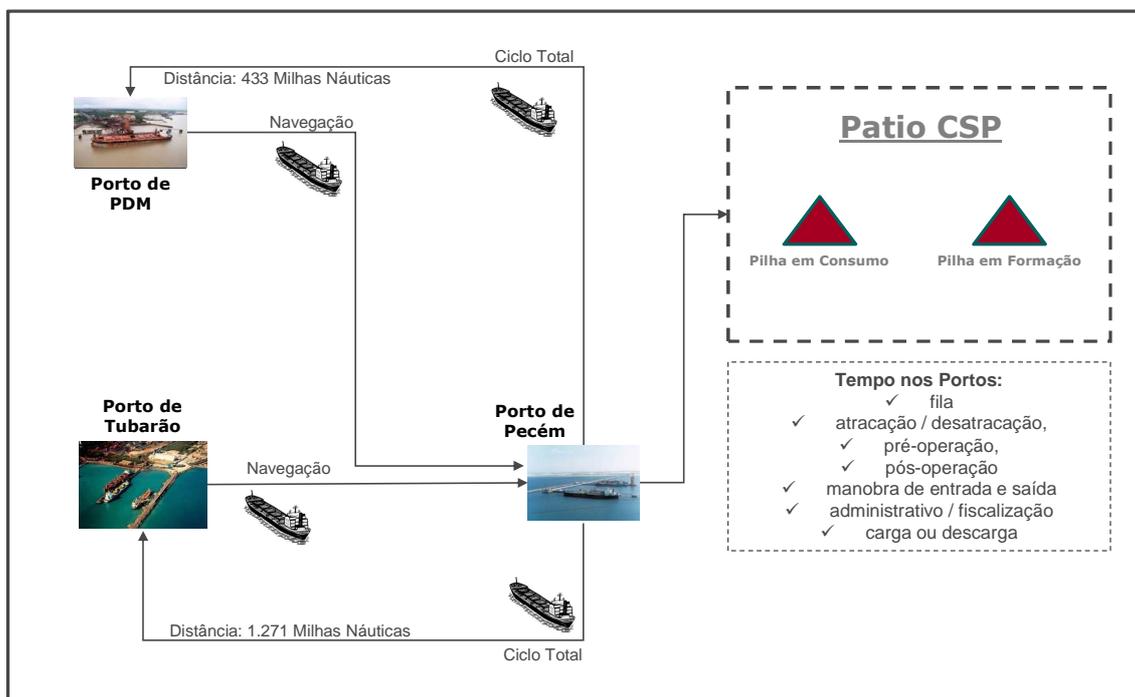
#### 4.5 PORTOS DE ORIGEM

Os portos de origem foram identificados no Capítulo 2 como sendo os dois maiores exportadores de minério de ferro do Brasil. Esses portos são o Terminal Marítimo Ponta da Madeira - TMPM, conhecido como PDM, localizado em São Luís no Estado do Maranhão, e o Terminal Portuário de Tubarão, conhecido como Ponta de Tubarão ou Porto de Tubarão, em Vitória no Estado do Espírito Santo.

Devido ao volume de minério que será movimentado pelos portos, eles foram divididos da seguinte maneira: 30% do volume será movimentado pelo Porto de Tubarão e 70% do volume será movimentado pelo Porto de Ponta da Madeira. O atendimento dos portos em 30% e 70% é baseado na menor distância do porto de destino e potencialidade de atendimento e crescimento para os próximos anos segundo o plano diretor dos portos.

Com relação aos *inputs* da simulação dinâmica, foram utilizados determinados tempos e movimentos. Estes elementos são a distância percorrida entre os portos de origem e o porto de destino, os tempos operacionais no porto e o tempo de atracação, pré-operação, pós-operação e de manobra de entrada e saída, utilizando um coeficiente de variação.

Os tempos de navegação e operação considerados foram os mais próximos da realidade após visita técnica de campo nos portos. A Figura 27 apresenta um esquema do sistema de abastecimento por via marítima.



Fonte: Próprio autor (2012)

**Figura 27:** Sistema de abastecimento da Siderúrgica.

#### 4.5.1 Porto de Tubarão

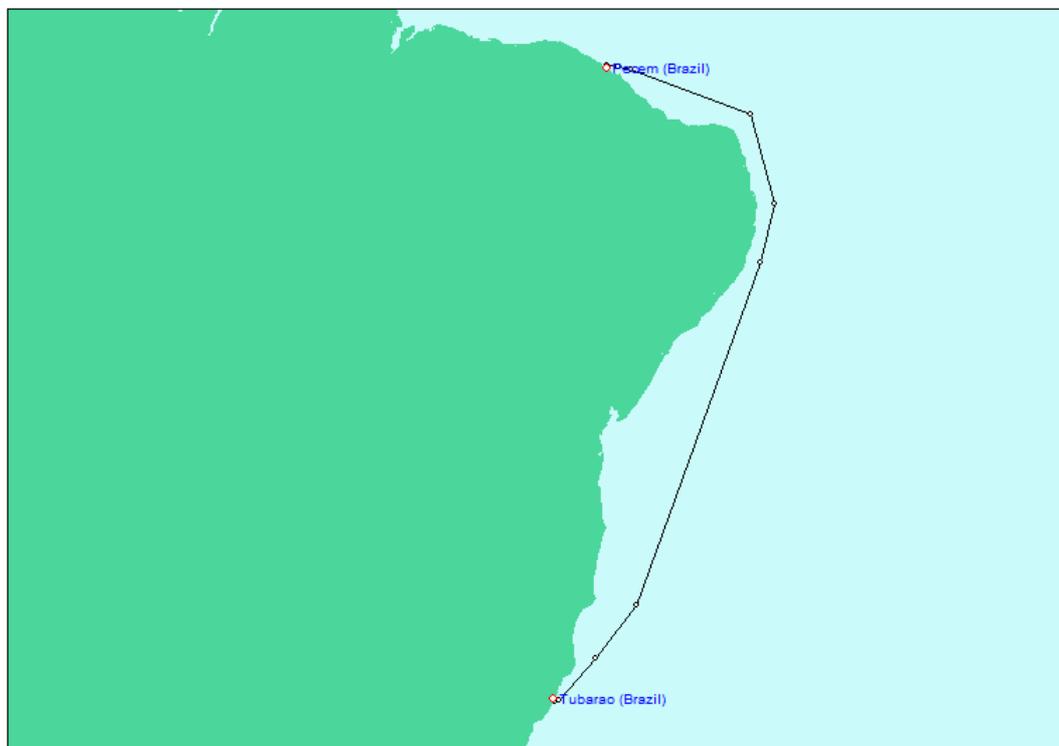
O Terminal Portuário de Tubarão é um complexo portuário da região Sudeste, localizado no lado norte da baía de Vitória, cidade que fica no Estado do Espírito Santo, conforme Figura 28. Este terminal é privado, operado e administrado pela empresa Vale S.A..



Fonte: *World Port Source* (2012)

**Figura 28:** Porto de Tubarão.

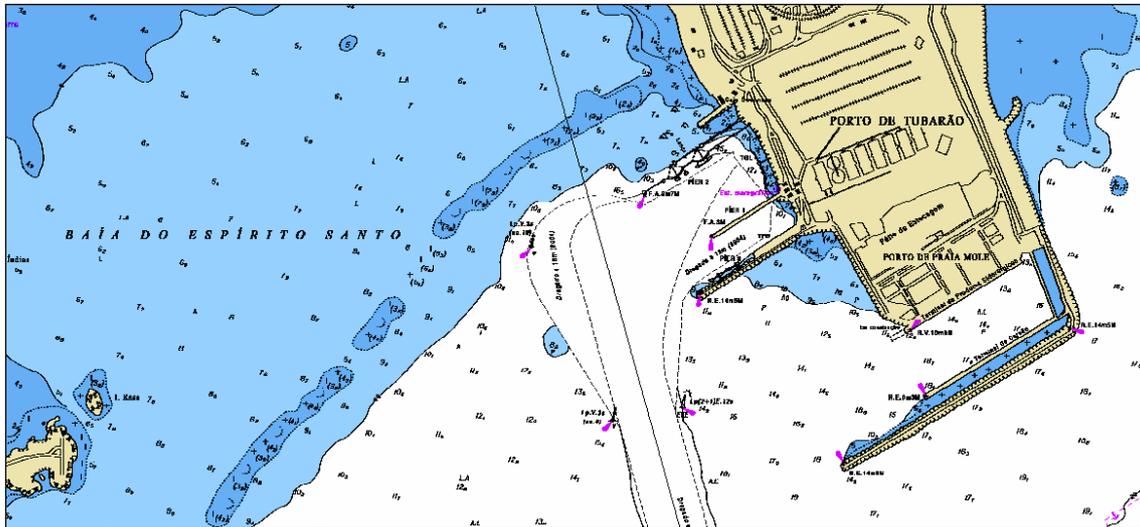
Utilizando um *software* que mede distâncias portuárias, *Port to Port* (2012), chega-se à distância do Porto de Tubarão. Ele fica a 1.271 milhas náuticas do Porto do Pecém, como mostra a Figura 29.



Fonte: Próprio autor – utilizando *software Port to Port* (2012)

**Figura 29:** Traçado da navegação e distância do Porto de Tubarão.

A localização do Porto de Tubarão está georreferenciada nas seguintes coordenadas: Latitude - 20° 17' 35" Sul e Longitude - 040° 14' 51" Oeste. Segundo a DHN (2012), o Porto de Tubarão está referenciado pelas cartas náuticas N° 1401 e 1410, conforme Figura 30.



Fonte: DHN (2009)

**Figura 30:** Terminal Portuário de Tubarão - Carta Náutica N°140 1.

Segundo a Vale (2012), o terminal está conectado a Estrada de Ferro Vitória a Minas e a rodovias. Ele possui dois píeres que atendem até três navios, simultaneamente, durante a movimentação de minério de ferro. O píer 1 acolhe dois navios ao mesmo tempo; um de até 170 mil *DWT* no berço sul e outro de até 200 mil *DWT* no berço norte. Já o píer 2 recebe um navio de até 400 mil *DWT* por vez, conforme Figura 31.



Fonte: Vale (2012)

**Figura 31:** Terminal Portuário de Tubarão – Vista Geral.

Entre os principais equipamentos do terminal estão: carregadores de navios, viradores de vagões, empilhadeiras e recuperadoras de minério de ferro e transportadores de correia (Vale, 2012).

#### **4.5.2 Terminal Marítimo Ponta da Madeira - TPM**

O Terminal Portuário de Ponta da Madeira é um complexo portuário da região Nordeste, que está localizado à margem leste da Baía de São Marcos, na Ilha de São Luís, Estado do Maranhão, conforme Figura 32. Ele está situado a 8 quilômetros ao sul do centro da cidade de São Luís. O Porto de Ponta da Madeira é um terminal privado, operado e administrado pela empresa Vale S.A.. O Terminal Marítimo Ponta da Madeira, fica na mesma região do Porto Público de Itaqui.

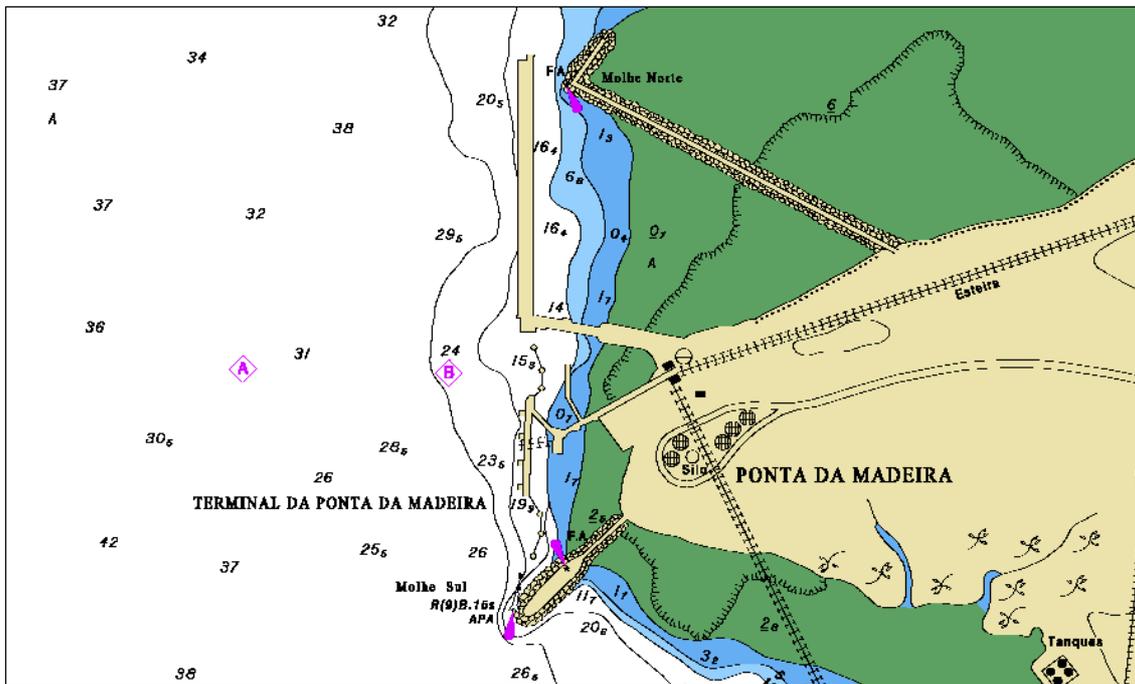


Fonte: *World Port Source* (2012)

**Figura 32:** Localização do Porto de Ponta da Madeira.

A localização do Terminal de Ponta da Madeira está georreferenciado nas seguintes coordenadas: **Pier 1** - Lat.: 02° 34.0' S e Long.: 044° 23.0' W, **Pier 2** ou Porto de Itaqui - Lat.: 02° 34.5' S e Long.: 044° 22.3' W e **Pier 3** (Porto de Itaqui) - Lat.: 02° 33,70' S e Long.: 044° 22,75'W.

Segundo a DHN (2012), o Porto de Ponta da Madeira está referenciado pelas cartas náuticas N° 410, 411, 412, 413 e 414, conforme Figura 33.



Fonte: DHN (1999)

**Figura 33:** Terminal Portuário de Ponta da Madeira - Carta Náutica N°413.

Utilizando o *software* que mede distâncias portuárias, *Port to Port* (2012), chega-se à distância do Porto de Ponta da Madeira. Ele fica a 433 milhas náuticas do Porto do Pecém, como mostra a Figura 34.



Fonte: Próprio autor – utilizando *software* *Port to Port* (2012)

**Figura 34:** Traçado da navegação e distância do Porto de Ponta da Madeira.

Segundo a Vale (2012), o Terminal de Ponta de Madeira está em uma posição estratégica no Nordeste do Brasil, no estado do Maranhão. Isso ocorre

porque ele se localiza próximo aos mercados norte-americano e europeu. Conectado à Estrada de Ferro Carajás, ele escoia principalmente a produção de minério de ferro. O TPM é o segundo maior porto brasileiro em movimentação e tem uma capacidade de armazenamento de 6,2 milhões de toneladas métricas, conforme Figura 35.



Fonte: Vale (2012)

**Figura 35:** Terminal Portuário de Ponta da Madeira – Vista Geral.

As instalações do terminal podem acomodar simultaneamente até três navios operando minério de ferro. O píer 1 pode receber até o maior graneleiro do mundo, que tem capacidade de 400 mil *DWT*. O píer 3, que possui dois ancoradouros e três carregadores, pode acomodar navios de até 220 mil *DWT* no berço sul e 180 mil *DWT* no berço norte, o Píer II não opera minério de ferro (Vale, 2012).

#### **4.6 PREMISSAS ADOTADAS NO ESTUDO DE CASO**

A escolha dos navios, conforme Tabela 18 desse capítulo, foi orientada pelas restrições máximas de atracação no Porto de Pecém. Como o navio *Smallcape* é o maior navio que consegue atracar no Porto do Pecém, devido às

restrições portuárias, não foram escolhidos navios maiores como os da família *Capesize*. Os navios *Panamax* e *Handymax* foram escolhidos por serem de classe menor, verificando-se, assim, se a frota ideal é de navios maiores ou menores ou uma composição entre eles. Essa verificação será realizada quanto ao atendimento da demanda de minério de ferro para a siderúrgica e buscando os menores impactos ambientais. Os navios que serão utilizados foram demonstrados quanto às suas características técnicas na Tabela 18 desse capítulo e seus dados de consumo de combustíveis foram demonstrados na Tabela 19 desse mesmo capítulo.

Entende-se que os navios maiores são navios que necessitam de maior investimento para serem construídos, mas isso resulta em menores valores de frete por tonelada. Esse fato ocorre porque a diferença de transporte de carga do *Smallcape* para o *Panamax* é de 40.000 toneladas e do *Panamax* para o *Handymax* é de 21.600 toneladas, sendo assim navios maiores possibilitam menores valores por tonelada. Para uma visão econômica, o ideal seria a escolha de frotas de navios maiores, porém para o estudo de caso não será considerada tal visão, tão somente o atendimento da demanda e os indicadores ambientais.

Para a composição dos cenários foi feita uma combinação entre os três tipos de navios, tentando sempre deixar o cenário com pelo menos um navio da maior classe.

#### **4.7 RESULTADOS OBTIDOS**

A escolha dos cenários foi realizada através de uma combinação de capacidade dos navios para atender a demanda. Para combinação dos cenários foram elaboradas simulações estáticas prévias para saber um possível número de cenários a serem executados no simulador dinâmico. Sendo assim chegando a algumas combinações de frota de navios, sempre utilizando os três tipos de classes de navios, *Smallcape*, *Panamax* e *Handymax*. Após as combinações possíveis entre os três tipos de navios,

foram identificados oito cenários possíveis, conforme o apresentado na Tabela 20.

Caso o resultado da simulação dinâmica não der positivo no atendimento da demanda para nenhum dos oito cenários, será necessária a introdução de mais navios no sistema até o atendimento total da demanda.

**Tabela 20:** Possíveis cenários para o dimensionamento de frota

| Cenários  | SmallCape | Panamax | Handymax | Total de Navios |
|-----------|-----------|---------|----------|-----------------|
| Cenário 1 | 1         | 2       |          | 3               |
| Cenário 2 | 3         |         |          | 3               |
| Cenário 3 |           | 3       | 1        | 4               |
| Cenário 4 | 2         | 1       |          | 3               |
| Cenário 5 | 2         |         |          | 2               |
| Cenário 6 |           | 3       |          | 3               |
| Cenário 7 |           | 2       |          | 2               |
| Cenário 8 | 1         | 1       |          | 2               |

Fonte: Próprio autor (2012)

Após a realização das rodadas da simulação, foram obtidos diferentes resultados a partir dos oito cenários possíveis, conforme a Tabela 21. Os resultados da simulação dinâmica demonstraram que existem várias combinações entre as diferentes classes de navios que atendem à demanda. O Cenário 2 foi o único que apresentou um atendimento à demanda com uma única classe de navios.

Dos oito cenários preestabelecidos antes da rodada de simulações, apenas quatro cenários demonstraram comportamento satisfatório, atendendo a 100% da demanda de minério de ferro e garantindo assim o consumo da siderúrgica, conforme demonstra a Tabela 21.

**Tabela 21:** Resultado do dimensionamento de frota

| Cenários  | SmallCape | Panamax | Handymax | Total de Navios | Atende a Demanda |
|-----------|-----------|---------|----------|-----------------|------------------|
| Cenário 1 | 1         | 2       |          | 3               | 😊                |
| Cenário 2 | 3         |         |          | 3               | 😊                |
| Cenário 3 |           | 3       | 1        | 4               | 😊                |
| Cenário 4 | 2         | 1       |          | 3               | 😊                |
| Cenário 5 | 2         |         |          | 2               | 😐                |
| Cenário 6 |           | 3       |          | 3               | 😐                |
| Cenário 7 |           | 2       |          | 2               | 😞                |
| Cenário 8 | 1         | 1       |          | 2               | 😞                |

Fonte: Próprio autor (2012)

Os cenários que atenderam à demanda estão em verde na coluna “Atende a Demanda” e serão detalhados posteriormente, onde serão imputados os índices de impacto ambiental obtidos no Capítulo 3 e será analisado seu comportamento, resultando na melhor frota para o estudo de caso.

Os cenários amarelos não atenderam a 100% da demanda de minério de ferro. Como apontaram os resultados da simulação dinâmica computacional, o estoque da siderúrgica não foi suficiente para atender à demanda, ficando negativo de 5% a 10% do tempo anual. Sendo assim, os cenários amarelos serão melhorados posteriormente com o intuito de tornar os cenários viáveis.

Os cenários vermelhos não atenderam à demanda anual de minério de ferro, deixaram de atender cerca de 30% a 35% da demanda, não podendo ser considerado uma frota ideal. Dessa forma, os cenários vermelhos serão descartados.

#### 4.7.1 Resultado dos Cenários

Após as rodadas de simulação dinâmica computacional utilizando o *software* Arena, obtiveram-se os resultados de tempos e movimentos da navegação. Eles serão utilizados para cálculo de impactos ambientais na navegação.

Os cenários demonstrados na Tabela 22 serão detalhados e discutidos quanto à quantidade de atracções no Porto do Pecém, no Porto de Ponta da Madeira e no Porto de Tubarão. Também serão detalhados e discutidos os

tempos de navegação no ano, o tempo em que o navio ficou parado ou boiando, o tempo *offhire* e o tempo de docagem.

**Tabela 22: Resultados da Simulação Dinâmica por Cenário**

| Cenários  | Atendimento da Demanda | Atracações PECEM | Atracações PDM | Atracações Tubarão | Tempo Navegando (dias/navio/ano) | Tempo Parado (dias/navio/ano) | Tempo Offhire (dias/navio/ano) | Tempo Docagem (dias/navio/ano) | Tempo de Disponibilidade (dias/navio/ano) | Nº de Navios no Sistema |
|-----------|------------------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------|
| Cenário 1 | 100%                   | 59,34            | 41,11          | 18,23              | 78,58                            | 264,19                        | 10,89                          | 11,25                          | 365                                       | 3,0                     |
| Cenário 2 | 100%                   | 45,39            | 32,82          | 12,57              | 58,02                            | 284,61                        | 10,89                          | 11,25                          | 365                                       | 3,0                     |
| Cenário 3 | 100%                   | 76,89            | 55,89          | 21,00              | 73,20                            | 269,58                        | 10,89                          | 11,25                          | 365                                       | 4,0                     |
| Cenário 4 | 100%                   | 52,12            | 38,28          | 13,84              | 65,52                            | 277,22                        | 10,89                          | 11,25                          | 365                                       | 3,0                     |

Fonte: Próprio autor (2012)

Além do detalhamento das linhas da Tabela 22, também serão detalhadas as colunas.

#### *4.7.1.1 – Atendimento da Demanda*

Os quatro cenários demonstrados na Tabela 22 realizaram 100% do atendimento ao volume de minério de ferro da demandante, a Siderúrgica do Pecém.

A demanda anual de minério de ferro poderá ser ultrapassada com o atendimento dos navios, conforme o consumo da siderúrgica e o espaço em seu estoque.

#### *4.7.1.2 – Atracações no Porto do Pecém*

Considera-se como atracação no Porto do Pecém o número total de vezes que um navio visitou em um ano esse porto. Para que isso se configure, o processo deverá ter sido o seguinte: o navio realizou atracações para dar continuidade ao processo de descarregamento no Porto do Pecém e, após esse descarregamento, ele aguarda a sinalização do sistema para sequenciar qual o próximo porto que ele será destinado para o carregamento, podendo ser o Porto de Ponta da Madeira ou de Tubarão.

Portanto, entende-se por atracação o número total de atracações no Porto do Pecém, ou seja, todas as atracações realizadas neste porto por todos os navios que constam no sistema. A quantidade final de atracações no Porto do Pecém representa o total das atracações no Porto de Ponta da Madeira e no Porto de Tubarão. Uma das premissas, adotada ao longo da análise de resultados, considera que o número de atracações por ano não será demonstrada de modo fracionado. Isso ocorre porque o número de atracações se encerra quando completados os 365 dias do ano ou quando se completa o volume máximo a ser transportado dentro do ano, assim se replicando para os portos de origem.

#### *4.7.1.3 – Atracações no Porto de Ponta da Madeira*

Considera-se como atracação no Porto de Ponta da Madeira o número total de vezes que um navio visitou em um ano esse porto. Para que isso se configure, o processo deverá ter sido o seguinte: o navio realizou atracações para dar continuidade ao processo de carregamento nesse porto e, ao término, ele automaticamente segue viagem para o Porto do Pecém para efetivar a descarga.

#### *4.7.1.4 – Atracações no Porto de Tubarão*

Considera-se como atracação no Porto de Tubarão o número total de vezes que um navio visitou em um ano esse porto. Para que isso se configure, o processo deverá ter sido o seguinte: o navio realizou atracações para dar continuidade ao processo de carregamento nesse porto e, ao término, ele automaticamente segue viagem para o Porto do Pecém para efetivar a descarga.

#### *4.7.1.5 – Tempo Navegando*

Tempo navegando é o tempo total em dias por ano que um navio ficou navegando para atender à demanda de minério de ferro. Esse cálculo é feito independentemente do porto de origem do navio.

Em cada cenário o simulador apresentou a quantidade de navios no sistema que atendiam à demanda de minério de ferro. Porém, o simulador divide a frota de navios igualmente, o que resulta em uma mesma quantidade de tempo navegando para todos os navios do sistema.

#### *4.7.1.6 – Tempo Parado*

Tempo parado representa o tempo total em dias por ano que um navio se encontrou parado ou boiando. O tempo parado pode ocorrer por vários motivos, dentre eles o tempo de espera em fila aguardando no fundeio, ou quando o navio estiver atracado aguardando o término do carregamento nos

portos de origem, ou ainda o tempo em que o navio estiver atracado aguardando descarregamento no porto de destino.

#### 4.7.1.7 – Tempo Offhire

Tempo total *offhire* equivale ao tempo em dias por ano que um navio se encontra indisponível para navegação. Essa indisponibilidade pode ocorrer por vários motivos, dentre eles em caso de manutenção corretiva ou preventiva, ou por acidente, ou por qualquer outro tipo de problema de máquina, leme ou tripulação.

Esse tempo foi considerado como *input* da simulação e foi considerado como uma mesma premissa para todos os navios. Ainda como parte dessa premissa, quando o navio estiver *offhire*, o mesmo não terá consumo de combustível *IFO*.

#### 4.7.1.8 – Tempo Docagem

Segundo o IST (2012), docagem é a operação de assentamento do navio sobre um picadeiro seco ou uma doca seca. Essa operação é necessária para efetuar manutenção preventiva ou corretiva, limpeza ou pintura de casco.

A docagem no simulador foi definida da seguinte forma: a docagem é intermediária quando realizada após 30 meses de início da operação dos navios e a docagem é completa quando realizada a cada 30 meses após a docagem intermediária e assim se repetindo até o navio obter 30 anos de idade.

Quando o navio chega aos 25 anos, o tempo de docagem dele é o dobro do tempo da docagem completa. O tempo da docagem intermediária também será menor que o tempo da docagem completa.

Como *output* da simulação e com a finalidade de calcular os tempos desempenhados pelos navios, o sistema identificou de forma linear 11,25 dias do ano por navio. O tempo será considerado linear por todos os anos.

Como parte da premissa assumida, quando a embarcação estiver em docagem, ela não irá consumir combustível *IFO* e *MDO*.

#### 4.7.1.9 – Número de navios no sistema

O número de navios no sistema representa um número pré-selecionado antes da simulação que, portanto, gerou a quantidade de navios no sistema simultaneamente. Essa quantidade de navios foi verificada após o término da simulação, sendo que todos os quatro cenários atenderam à demanda de minério de ferro.

Os cenários apresentados na Tabela 22 tiveram a seguinte distribuição entre os tipos de navios:

O Cenário 1 teve como distribuição de frota um navio da classe *SmallCape* e dois navios da classe *Panamax*. Com essa configuração, o sistema distribuiu o atendimento dos navios uniformemente de modo linear. Como resultado, cada navio ficou 78,6 dias do ano navegando e 275,1 dias parado, sendo que 10,9 dias desse tempo ocorreram devido ao status *offhire*.

O Cenário 2 teve como distribuição de frota três navios da classe *SmallCape*, sendo esse o único cenário que teve uma distribuição uniforme de classe de navios. Com essa configuração, o sistema distribuiu o atendimento dos navios uniformemente de modo linear. Como resultado, cada navio ficou 58,0 dias do ano navegando e 295,5 dias parado, sendo que 10,9 dias desse tempo ocorreram devido ao status *offhire*. O Cenário 2 foi o cenário que apresentou mais ociosidade de navios.

O Cenário 3 teve como distribuição de frota três navios da classe *Panamax* e um navio da classe *Handymax*. O cenário 3 foi o único que realizou o atendimento da demanda usando navios *Handymax* e o único que utilizou quatro navios ao todo. Com essa configuração, o sistema distribuiu o atendimento dos navios uniformemente de modo linear. Como resultado, cada navio ficou 73,2 dias do ano navegando e 280,5 dias parado, sendo que 10,9 dias desse tempo ocorreram devido ao status *offhire*.

O Cenário 4 teve como distribuição de frota dois navios da classe *SmallCape* e um navio da classe *Panamax*. Com essa configuração, o sistema distribuiu o atendimento dos navios uniformemente de modo linear. Como resultado, cada navio ficou 65,5 dias do ano navegando e 288,1 dias parado, sendo que 10,9 dias desse tempo ocorreram devido ao status *offhire*.

#### 4.7.2 - Melhoria dos Cenários

Quatro cenários demonstraram-se aplicáveis ao estudo de caso. Os quatro outros cenários foram descartados porque não demonstraram um pleno atendimento da demanda total. A seguir será realizada uma análise de sensibilidade dos dois cenários que foram classificados com marcação amarela, cuja distribuição de frota ocorre conforme Tabela 23.

**Tabela 23:** Resultado do dimensionamento de frota

| Cenários  | SmallCape | Panamax | Handymax | Total de Navios | Atende a Demanda |
|-----------|-----------|---------|----------|-----------------|------------------|
| Cenário 5 | 2         |         |          | 2               | ☹️               |
| Cenário 6 |           | 3       |          | 3               | ☹️               |

Fonte: Próprio autor (2012)

Os cenários 5 e 6 chegaram próximo ao atendimento da demanda de minério de ferro. O Cenário 5 com uma frota dedicada de dois navios da classe *SmallCape* e o Cenário 6 tinha uma frota dedicada de três navios da classe *Panamax*. O cenário 5 demonstrou maior ociosidade dos navios, menor dimensionamento de frota e menor atendimento à demanda que o Cenário 6.

Como esses dois cenários se aproximaram ao atendimento da demanda, poderá haver um possível ganho para os dois caso haja uma contribuição no atendimento da demanda por outros navios possibilidade de atendimento *Spot*, ou contratação em *Voyage Charter* (contratação/afretamento de um navio por uma viagem ou um número determinado de viagens). Como mostra a Tabela 24, o Cenário 5 atendeu a 94,1% da demanda de minério de ferro e o Cenário 6 atendeu a 97,6% dessa demanda.

**Tabela 24:** Resultado do dimensionamento de frota dos Cenários 5 e 6

| Cenários  | Atendimento da Demanda | Atracações PECEM | Atracações PDM | Atracações Tubarão | Tempo Navegando (dias/navio/ano) | Tempo Parado (dias/navio/ano) | Tempo Offhire (dias/navio/ano) | Tempo Docagem (dias/navio/ano) | Tempo de Disponibilidade (dias/navio/ano) | Nº de Navios no Sistema |
|-----------|------------------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------|
| Cenário 5 | 94,1%                  | 42,70            | 30,90          | 11,80              | 81,70                            | 261,10                        | 10,90                          | 11,30                          | 365                                       | 2,0                     |
| Cenário 6 | 97,6%                  | 69,00            | 49,90          | 19,10              | 87,90                            | 254,90                        | 10,90                          | 11,00                          | 365                                       | 3,0                     |

Fonte: Próprio autor (2012)

Portanto, com essa configuração, o sistema distribuiu o atendimento dos navios uniformemente de modo linear no Cenário 5 e no Cenário 6. Como resultado no Cenário 5, cada navio ficou 81,70 dias do ano navegando e 272,0 dias parado, sendo que 10,9 dias desse tempo ocorreram devido ao status *offhire*. Já como resultado no Cenário 6, cada navio ficou 87,90 dias do ano navegando e 265,8 dias parado, sendo que 10,9 dias desse tempo ocorreram devido ao status *offhire*.

O Cenário 5 deixou de atender à demanda em 5,90%. Esse percentual corresponde a 298.540,00 toneladas de minério de ferro. O Cenário 6 deixou de atender à demanda em 2,4%. Esse percentual corresponde a 121.440,00 toneladas de minério de ferro.

Para que o atendimento ocorra em 100% da demanda para os cenários 5 e 6, será inserido no sistema um navio extra para auxílio da frota dedicada. Os cenários extras serão atendidos de duas formas, criando-se um cenário em que os mesmos serão atendidos com frota dedicada e com frota *Spot*.

O atendimento *Spot* só será demandando quando houver uma falta no atendimento dos navios dedicados. Enfim, o mesmo só entrará no sistema quando for solicitado e isso ocorrerá através de uma contratação *Voyage Charter*. Além disso, o navio que fará o atendimento *Spot* será um navio da classe *Panamax*, identificado na Tabela 18.

#### 4.7.2.1 - Cenário 5 Extra

O Cenário 5 Extra teve como distribuição de frota de navios dedicados dois navios da classe *SmallCape* e um navio *Spot* da classe *Panamax*, totalizando três navios para o atendimento da demanda total. Conforme Tabela 25, os navios dedicados atenderam a 94,1% da demanda de minério de ferro e o navio *Spot* atendeu a 5,9% dessa demanda.

**Tabela 25: Resultados da Simulação Dinâmica Detalhamento dos Tempos do Cenário 5 Extra Dedicado e Spot**

| Cenário 5 Extra               | Atendimento da Demanda | Atracações PECEM | Atrcações PDM | Atrcações Tubarão | Tempo Navegando (dias/navio/ano) | Tempo Parado (dias/navio/ano) | Tempo Offhire (dias/navio/ano) | Tempo Docagem (dias/navio/ano) | Tempo de Disponibilidade (dias/navio/ano) | Nº de Navios no Sistema | Classe Navio |
|-------------------------------|------------------------|------------------|---------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------|--------------|
| Cenário 5 - Navios Dedicados  | 94,10%                 | 42,70            | 30,90         | 11,80             | 81,70                            | 261,10                        | 10,90                          | 11,30                          | 365                                       | 2,0                     | SmallCape    |
| Cenário 5 - Navio <i>Spot</i> | 5,90%                  | 4,17             | 2,92          | 1,25              | 23,93                            | 76,49                         | -                              | -                              | -   | 1,0                     | Panamax      |

Fonte: Próprio autor (2012)

Com essa configuração, o sistema distribuiu o atendimento dos navios dedicados uniformemente de modo linear. Como resultado, cada navio dedicado ficou 81,70 dias do ano navegando e 272,0 dias parado, sendo que 10,9 dias desse tempo ocorreram devido ao status *offhire*, e o navio *Spot* ficou 23,93 dias do ano navegando e 76,49 dias parado, como mostra a Tabela 25. Não foram considerados para o navio *Spot* o tempo *offhire* e o tempo de docagem, pois ele só iria fazer 4,17 viagens no ano ao Porto do Pecém.

O atendimento do navio *Spot* aos portos de origem foi dividido conforme a demanda; 70% no Porto de Ponta da Madeira, resultando em 2,92 atracções ao ano, e 30% no Porto de Tubarão, resultando em 1,25 atracções ao ano. Com o auxílio no atendimento do navio *Spot* aos navios dedicados, foi possível atender à demanda de minério de ferro em 100%.

#### 4.7.2.2 - Cenário 6 Extra

O Cenário 6 Extra teve como distribuição de frota três navios dedicados da classe *Panamax* e um navio *Spot* da classe *Panamax*, totalizando quatro navios para atender a demanda total. Conforme Tabela 26, os navios dedicados atenderam a 97,6% da demanda de minério de ferro e o navio *Spot* atendeu a 2,4% dessa demanda.

**Tabela 26:** Resultados da Simulação Dinâmica Detalhamento dos tempos do Cenário 6 Extra Dedicado e Spot

| Cenário 6 Extra               | Atendimento da Demanda | Atracações PECEM | Atracações PDM | Atracações Tubarão | Tempo Navegando (dias/navio/ano) | Tempo Parado (dias/navio/ano) | Tempo Offhire (dias/navio/ano) | Tempo Docagem (dias/navio/ano) | Tempo de Disponibilidade (dias/navio/ano) | Nº de Navios no Sistema | Classe Navio |
|-------------------------------|------------------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------|--------------|
| Cenário 6 - Navios Dedicados  | 97,60%                 | 69,00            | 49,90          | 19,10              | 87,90                            | 254,90                        | 10,90                          | 11,00                          | 365                                       | 3,0                     | Panamax      |
| Cenário 6 - Navio <i>Spot</i> | 2,40%                  | 1,70             | 1,19           | 0,51               | 6,48                             | 18,80                         | -                              | -                              | -   | 1,0                     | Panamax      |

Fonte: Próprio autor (2012)

Com essa configuração, o sistema distribuiu o atendimento dos navios dedicados uniformemente de modo linear. Como resultado, cada navio dedicado ficou 87,90 dias do ano navegando e 265,8 dias parado, sendo que 10,9 dias desse tempo ocorreram devido ao status *offhire*, e o navio *Spot* ficou 6,48 dias do ano navegando e 18,80 dias parado, como apresenta a Tabela 26. Não foram considerados para o navio *Spot* o tempo *offhire* e o tempo de docagem, pois ele só iria fazer 1,70 viagens no ano ao Porto do Pecém.

O atendimento do navio *Spot* aos portos de origem foi dividido conforme a demanda; 70% no Porto de Ponta da Madeira, com 1,19 atracções ao ano, e 30% no Porto de Tubarão, com 0,51 atracções no ano. Com o auxílio no atendimento do navio *Spot* aos navios dedicados, foi possível atender à demanda de minério de ferro em 100%.

Com adaptações e melhorias operacionais, o atendimento positivo foi obtido em mais dois cenários. Sendo assim, foram aprovados seis cenários no total, nos quais serão introduzidos os índices de impactos ambientais.

#### **4.8 – Resultados dos Impactos Ambientais no Estudo de Caso**

Os resultados dos impactos ambientais no estudo de caso baseiam-se na inserção dos principais índices de indicadores ambientais, demonstrados no Capítulo 3, multiplicados pelos resultados obtidos na simulação dinâmica por cenário.

Nesse item serão apresentados, para os seis cenários, os índices ambientais gerados dentro de um ano. Para essa análise serão demonstrados os índices de geração de esgoto, de geração de lixo, de consumo de *bunker* e das emissões de GEE e gases de escape. No final do capítulo será obtida uma matriz de resultados dos indicadores ambientais, identificando-se a frota de menor impacto.

Como premissa, todos os cálculos demonstrados nos resultados estarão baseados em operações convencionais. Por exemplo, quando o navio estiver em tempo de Docagem, será considerado que todos os tripulantes estão a

bordo e que todos os motores estão desligados, estando a energia do navio conectada à energia do estaleiro através de cabeamento. Quando o navio estiver em *Offhire*, será considerado que todos os tripulantes estão a bordo e que apenas os motores geradores de energia estão em funcionamento. Nesse caso o motor de propulsão estará totalmente desligado e sem consumo de combustível.

#### 4.8.1 Geração de Lixo

Todos os cálculos sobre a geração de lixo foram baseados nas premissas adotadas no Capítulo 3, confrontados com os resultados de tempo dos navios obtidos na simulação dinâmica nesse capítulo. O cenário que apresentou melhor desempenho quanto à geração de lixo por ano, ou seja, o menor índice, foi o Cenário 5 Extra, com 24,76 toneladas de lixo por ano. Este cenário foi seguido pelo Cenário 1, Cenário 6 Extra, Cenário 4, Cenário 2 e, por último, o Cenário 3, conforme a Tabela 27, por ordem de grandeza.

**Tabela 27: Geração de Lixo**

| Cenários                     | Lixo (kg/dia/tripulante) | Tripulantes por Cenário (quant.) | Tempo de Utilização (dias/ano) | Lixo (kg/ano) | Variação |
|------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------|----------|
| Cenário 5 - Navios Dedicados | 1,50                     | 40,00                            | 365,00                         | 24.761,99     | 0%       |
| Cenário 5 - Navio Spot       | 1,50                     | 19,00                            | 100,42                         |               |          |
| Cenário 1                    | 1,50                     | 58,00                            | 365,00                         | 31.755,00     | 28,24%   |
| Cenário 6 - Navios Dedicados | 1,50                     | 57,00                            | 365,00                         | 31.927,95     | 28,94%   |
| Cenário 6 - Navio Spot       | 1,50                     | 19,00                            | 25,28                          |               |          |
| Cenário 4                    | 1,50                     | 59,00                            | 365,00                         | 32.302,50     | 30,45%   |
| Cenário 2                    | 1,50                     | 60,00                            | 365,00                         | 32.850,00     | 32,66%   |
| Cenário 3                    | 1,50                     | 72,00                            | 365,00                         | 39.420,00     | 59,20%   |

Fonte: Próprio autor (2012)

O cálculo da geração de lixo por ano foi obtido a partir da quantidade em quilos de lixo gerado por tripulante por dia, multiplicado pela quantidade de tripulantes do cenário, conforme Anexo 3 – Total de tripulantes por cenário. Ao resultado dessa operação são multiplicados os dias que os navios ficaram em utilização no ano, o que resulta na quantidade de quilos de lixo gerados pelos navios em cada cenário no período de um ano.

Verificou-se que a opção pela escolha da frota adequada poderá ter uma redução máxima de até 59% de lixo. O cenário que apresentou o segundo melhor resultado teve uma produção 28,24% maior que o cenário de menor impacto. Sendo assim, com a escolha da frota ideal do ponto de vista

ambiental, foi possível notar uma variação de 28,24% do cenário de menor impacto para o segundo de menor impacto e uma variação de 59% para o pior cenário.

#### 4.8.2 Geração de Esgoto

Todos os cálculos sobre a geração de esgoto foram baseados nas premissas adotadas no Capítulo 3, confrontados com os resultados de tempo dos navios obtidos na simulação dinâmica nesse capítulo. O cenário que apresentou melhor desempenho quanto à geração de esgoto por ano, ou seja, o menor índice, foi o Cenário 5 Extra, com 1,15 milhões de litros de esgoto por ano. Este cenário foi seguido pelo Cenário 1, Cenário 6 Extra, Cenário 4, Cenário 2 e, por último, o Cenário 3, conforme a Tabela 28, por ordem de grandeza.

**Tabela 28: Geração de Esgoto**

| Cenários                     | Esgoto (l/dia/tripulante) | Tripulantes por Cenário (quant.) | Tempo de Utilização (dias/ano) | Esgoto (l/ano) | Varição |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------|---------|
| Cenário 5 - Navios Dedicados | 70,00                     | 40,00                            | 365,00                         | 1.155.559,67   | 0%      |
| Cenário 5 - Navio Spot       | 70,00                     | 19,00                            | 100,42                         |                |         |
| Cenário 1                    | 70,00                     | 58,00                            | 365,00                         | 1.481.900,00   | 28,24%  |
| Cenário 6 - Navios Dedicados | 70,00                     | 57,00                            | 365,00                         | 1.489.971,21   | 28,94%  |
| Cenário 6 - Navio Spot       | 70,00                     | 19,00                            | 25,28                          |                |         |
| Cenário 4                    | 70,00                     | 59,00                            | 365,00                         | 1.507.450,00   | 30,45%  |
| Cenário 2                    | 70,00                     | 60,00                            | 365,00                         | 1.533.000,00   | 32,66%  |
| Cenário 3                    | 70,00                     | 72,00                            | 365,00                         | 1.839.600,00   | 59,20%  |

Fonte: Próprio autor (2012)

A tabela de cálculo para identificar a quantidade de esgoto gerada por cada cenário está demonstrada no Anexo 2 – Geração de Esgoto. O cálculo da geração de esgoto por ano foi obtido a partir da quantidade em litros de esgoto por dia gerado por tripulante, multiplicado pela quantidade de tripulação do cenário, conforme Anexo 3 – Total de Tripulantes por Cenário. Ao resultado dessa operação se multiplicam os dias que os navios ficaram em utilização no ano, o que resulta na quantidade de litros gerados pelos navios em cada cenário no período de um ano.

Verificou-se que a opção pela escolha da frota adequada poderá ter uma geração de resíduos a bordo maior que 59%. O cenário que apresentou o segundo melhor resultado teve uma produção 28,24% maior que o cenário de menor impacto.

### **4.8.3 Consumo de *bunker***

Todos os cálculos sobre o consumo de *bunker* foram baseados nas premissas adotadas na Tabela 19 desse capítulo, confrontados com os resultados de tempo dos navios obtidos na simulação dinâmica nesse capítulo. O cenário que apresentou melhor desempenho quanto ao consumo de *bunker* por ano, ou seja, o menor índice, foi o Cenário 5 Extra, com 10.467,98 toneladas por ano. Este cenário foi seguido pelo Cenário 2, Cenário 4, Cenário 1, Cenário 6 Extra e, por último, o Cenário 3, conforme a Tabela 29, por ordem de grandeza.

**Tabela 29:** Consumo Total de bunker

| <b>Cenários</b>        | <b>Consumo Total IFO<br/>(t/ano)</b> | <b>Consumo Total MDO<br/>(t/ano)</b> | <b>Soma do Consumo<br/>Total de Bunker<br/>(t/ano)</b> | <b>Varição % /<br/>Melhor Cenário</b> |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| <b>Cenário 5 Extra</b> | 10.055,34                            | 412,64                               | <b>10.467,98</b>                                       | 0%                                    |
| <b>Cenário 2</b>       | 10.568,08                            | 460,66                               | <b>11.028,74</b>                                       | 5,36%                                 |
| <b>Cenário 4</b>       | 10.503,77                            | 759,60                               | <b>11.263,37</b>                                       | 7,60%                                 |
| <b>Cenário 1</b>       | 10.850,84                            | 1.033,51                             | <b>11.884,36</b>                                       | 13,53%                                |
| <b>Cenário 6 Extra</b> | 10.798,30                            | 1.332,37                             | <b>12.130,66</b>                                       | 15,88%                                |
| <b>Cenário 3</b>       | 11.760,23                            | 1.785,33                             | <b>13.545,56</b>                                       | 29,40%                                |

Fonte: Próprio autor (2012)

A tabela de cálculo para determinar o consumo de *bunker* por ano está demonstrada nos Anexos 4, 5, 6, 7, 8 e 9, respectivamente referentes aos cenários, 1, 2, 3, 4, 5 Extra e 6 Extra. Os cálculos do consumo de *bunker* por ano, para os Cenários 1, 2, 3 e 4, são baseados nos resultados da simulação dinâmica, apresentados na Tabela 22 desse capítulo, multiplicados pelo consumo dos navios, conforme a Tabela 19, também desse capítulo. Para os Cenários 5 Extra e 6 Extra os tempos resultantes da simulação dinâmica foram demonstrados respectivamente na Tabela 25 e Tabela 26, multiplicando-se pelos dados informados na Tabela 19, referente ao consumo dos navios.

Nos referidos anexos foram demonstrados os resultados de consumo de dois tipos de combustíveis, *IFO* e *MDO*, sendo ambos os consumos com o navio navegando e parado. Para ambos os cenários o resultado do consumo de combustível foi calculado baseado no resultado do tempo da simulação dinâmica, quando o navio fica navegando ou parado, multiplicado pelo consumo que cada tipo de navio tem navegando ou parado.

O resultado do consumo total de *bunker* foi demonstrado apenas para classificação do cenário que teve o menor consumo. Para o cálculo de emissão de GEE é necessário apurar o consumo total, separado em *IFO* e *MDO*, pois em alguns dos indicadores de emissão de gases esse fator é diferenciado para ambos os tipos de combustíveis.

O Cenário 5 Extra teve o menor índice de consumo de combustível. O segundo melhor desempenho, com uma diferença de 5,36%, foi apresentado pelo Cenário 2. O pior cenário foi o apresentado pelo Cenário 3, com uma variação de 29,40% para o Cenário 5 Extra.

Verificou-se que a escolha pela frota adequada influencia o consumo em no mínimo 5%, com ganho na redução do consumo de combustível. Isso sucessivamente irá reduzindo todo o consumo de energia para gerar e produzir esse combustível. Além disso, foi possível notar que a classificação dos 3 primeiros cenários de menor índice de consumo de combustível ocorreram

onde se tinha, percentualmente, mais navios de maior porte da classe *Smallcape*.

#### **4.8.4 Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e Outros Gases de Escape (Poluentes Locais)**

Todos os cálculos sobre a emissão de gases de escape e GEE foram baseados nas premissas adotadas no Capítulo 3, confrontados com os resultados de tempo dos navios obtidos na simulação dinâmica nesse capítulo. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 30.

**Tabela 30: Emissão de Gases - Detalhamento dos Cenários.**

| <b>Emissão</b>  | <b>Total Cenário 1<br/>(t emissão/ano)</b> | <b>Total Cenário 2<br/>(t emissão/ano)</b> | <b>Total Cenário 3<br/>(t emissão/ano)</b> | <b>Total Cenário 4<br/>(t emissão/ano)</b> | <b>Total Cenário 5 Extra<br/>(t emissão/ano)</b> | <b>Total Cenário 6 Extra<br/>(t emissão/ano)</b> |
|---|--|--|--|--|--|--|
| <b>Emissões de GEE</b>                                |  |  |  |  |  |  |
| CO <sub>2</sub>                                       | 44.644,22                                  | 35.466,78                                  | 61.201,32                                  | 39.593,31                                  | 34.485,39  | 48.545,84  |
| CH <sub>4</sub>                                       | 5,13                                       | 3,34                                       | 7,88                                       | 4,21                                       | 3,37   | 5,94   |
| N <sub>2</sub> O                                      | 1,37                                       | 0,89                                       | 2,10                                       | 1,12                                       | 0,90   | 1,59   |
| <b>Emissões de Gases de Escape (Poluentes Locais)</b> |  |  |  |  |  |  |
| CO  | 126,51                                     | 82,34                                      | 194,35                                     | 103,89                                     | 83,23  | 146,63   |
| NM VOC  | 41,03                                      | 26,70                                      | 63,03                                      | 33,70                                      | 26,99  | 47,56  |
| SO <sub>2</sub>                                       | 167,39                                     | 131,54                                     | 237,42                                     | 148,13                                     | 123,80   | 184,01   |
| NO <sub>x</sub>                                       | 33,53                                      | 24,88                                      | 87,38                                      | 384,71                                     | 224,29   | 664,48   |
| PM <sub>10</sub>                                      | 18,88                                      | 14,82                                      | 26,91                                      | 16,71                                      | 13,89  | 20,79  |

Fonte: Próprio autor (2012)

A Tabela 31 apresenta hierarquia dos cenários de menor impacto ambiental por Potencial de Aquecimento Global GWP – Equivalentes de CO<sub>2</sub>. A classificação por ordem de grandeza ficou semelhante da Tabela 29, referente ao consumo de *bunker*. Apesar de a classificação ser a mesma, o percentual variou, conforme os dados da Tabela 31. O Cenário 5 Extra apresentou o melhor desempenho de todos os cenários. O Cenário 2 ficou 2,81% maior que o Cenário 5 Extra e o pior cenário foi o Cenário 3, com uma emissão superior a do Cenário 5 Extra em 78%. Isso está demonstrado na Tabela 31, por ordem de grandeza.

Considerando que o estudo de caso esta transportando 5,06 Mtpa de minério de ferro, sendo assim para cada tonelada transportada pelo dimensionamento de menor impacto ambiental o Cenário 5 Extra ter-se-ia, uma contribuição de aquecimento global de 0,00688 GtCO<sub>2</sub> por tonelada transportada.

**Tabela 31:** Emissão de Gases por Cenário e Variação Percentual

| <b>Emissão GEE</b> | <b>GtCO<sub>2</sub>-eq/ano</b> | <b>Variação em % do menor cenário</b> |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Cenário 5 Extra    | 34.835                         | 0%                                    |
| Cenário 2          | 35.813                         | 2,81%                                 |
| Cenário 4          | 40.030                         | 14,91%                                |
| Cenário 1          | 45.176                         | 29,68%                                |
| Cenário 6 Extra    | 49.162                         | 41,13%                                |
| Cenário 3          | 62.018                         | 78,03%                                |

Fonte: Próprio autor (2012)

A Tabela 32 apresenta hierarquia dos cenários de menor impacto ambiental pelo somatório dos poluentes locais. A classificação por ordem de grandeza ficou diferente da Tabela 31. Sendo assim pode-se ter cenários com classificação diferenciadas entre GtCO<sub>2</sub> e somatório de poluentes locais. O Cenário 2 apresentou o melhor desempenho de todos os cenários. O Cenário 1 ficou 38,20% maior que o Cenário 2 e o pior cenário foi o Cenário 6 Extra, com uma emissão superior a do Cenário 2 em 279,44%. Isso está demonstrado na Tabela 32, por ordem de grandeza.

Considerando que o estudo de caso esta transportando 5,06 Mtpa de minério de ferro, sendo assim para cada tonelada transportada pelo dimensionamento de menor impacto ambiental o Cenário 2 ter-se-ia, uma contribuição de emissão de Poluentes Locais de 0,00006t por tonelada transportada.

**Tabela 32: Emissão de Gases por Cenário e Variação Percentual**

| <b>Emissão Poluentes</b> | <b>Poluentes Locais (<math>\Sigma</math> t/nao)</b> | <b>Variação em % do menor cenário</b> |
|--------------------------|---|---------------------------------------|
| Cenário 2                | 280   | 0%                                    |
| Cenário 1                | 387   | 38,20%                                |
| Cenário 5 Extra          | 472   | 68,48%                                |
| Cenário 3                | 609   | 117,32%                               |
| Cenário 4                | 687   | 145,17%                               |
| Cenário 6 Extra          | 1.063   | 279,44%                               |

Fonte: Próprio autor (2012)

As tabelas de cálculo para resultar nas Tabela 31 e Tabela 32 estão demonstradas nos Anexos 10, 11, 12, 13, 14, 15, e 16. O Anexo 10 - Fator de Emissão em kg Emitido por Dia por Tonelada de Combustível Queimado por Tipo de Navio (kg/dia) e o GWP, apresenta o resultado das emissões de gases por tipo de navio, tendo essas emissões sido aferidas com o navio navegando e parado. O Anexo 10 será o indicador de emissão para cada tipo de navio para o cálculo da emissão de gases por tipo de cenário.

Para se chegar ao resultado do Anexo 10 multiplicou-se os dados encontrados na Tabela 19, referente ao consumo dos navios do estudo de caso, pelos dados apresentados no Capítulo 3. Esses dados estão repetidos no Anexo 10 na coluna Fator de Emissão, que se refere aos índices de emissão de gases. O anexo resultou em um fator de emissão por tipo de gases e por tipo de navio. A emissão está representada por quilo emitido por dia, estando o navio navegando ou parado.

Os Anexos 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam, respectivamente, os resultados das emissões de gases dos cenários, 1, 2, 3, 4, 5 extra e 6 extra. Os resultados das emissões de gases por cenário foi discriminado por tipo de navio, sendo feita uma convergência dos resultados apresentados no Anexo

10, com os resultados da simulação dinâmica, abordada nesse capítulo. Nessa tarefa foram considerados o tempo que um navio fica navegando e o tempo sem navegação.

O Cenário 5 Extra, que tem uma distribuição de frota dois navios *Smallcape* dedicados e um navio *Panamax Spot*, apresentou o menor índice de impacto ambiental em quase todos os requisitos, tais como emissão de gases, geração de esgoto e lixo e consumo de combustível.

Essa conclusão reafirma que o Cenário 5 Extra é um cenário que pode atender toda a demanda anual de minério de ferro para a Siderúrgica do Pecém por ano e é a frota que produz menor impacto ambiental, principalmente com o viés de Aquecimento Global. Além disso, foi possível notar que a opção de frota influencia na variação das emissões de GEE e os gases de escape, poluentes atmosféricos locais. Com a escolha da frota “errada” poder-se-ia ter um acréscimo de 78% das emissões de GEE, o que contribui com o aumento das emissões mundiais de GEE e outros gases de escape.

#### **4.9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo foi verificado que, para o atendimento anual da demanda de insumos de minério de ferro para o abastecimento da Siderúrgica do Pecém pode haver diferentes combinações de classe e quantidades de navios. Para tal foram apresentados seis cenários, sendo que quatro destes possuem frota dedicada e outros dois possuem frota dedicada e frota *spot*. Os seis cenários analisados atenderam em 100% a demanda de minério de ferro através da navegação de cabotagem.

O estudo de caso possibilitou conhecer as características produtivas da Siderúrgica do Pecém, possibilitou também o conhecimento das características técnicas dos portos de Ponta de Madeira, Tubarão e do Pecém e conhecer sobre as taxa de consumo de combustível dos navios utilizados no estudo de caso.

Neste capítulo também foram identificados os principais tempos da navegação, que resultam da simulação dinâmica. São eles o tempo de navegação, o tempo sem navegação, o tempo *offhire* e o tempo de docagem, todos representados por dia no período de 1 ano. O resultado da simulação dinâmica proporcionou uma base para cálculos mais próximos da realidade quanto os tempos de navegação e não navegação.

Dos oito cenários pré-selecionados no início do capítulo, apenas quatro foram aprovados pela simulação dinâmica. Outros dois cenários foram aprovados após serem modificados, tendo sido inseridos navios *spot* para ajudar no atendimento da demanda. Sendo assim, seis cenários estavam aptos para a fase em que foram inseridos os indicadores ambientais.

Então, nesses seis cenários aprovados foram inseridos os indicadores ambientais apresentados no Capítulo 3. São eles a geração de esgoto, a geração de lixo, o consumo de combustível e as emissões de gases, os GEE e os Poluentes Locais. Esses impactos ambientais foram identificados por tipo de navio, sendo possível assim identificar a frota que atenda à demanda de minério de ferro em 100% e que tenha o menor impacto ambiental.

Os resultados obtidos em cada cenário estão apresentados na

Tabela **33**, que representa uma tabela matricial referente aos resultados por ordem de grandeza. Portanto, o 1º lugar obteve o menor impacto ambiental e assim por diante até o 6º lugar, que obteve o pior resultado quanto ao impacto ambiental.

**Tabela 33:** Classificação Geral dos Cenários

| Cenários        | Lixo | Esgoto | Combustível | GEE | Poluentes Locais |
|-----------------|------|--------|-------------|-----|------------------|
| Cenário 1       | 2°   | 2°     | 4°          | 4°  | 2°               |
| Cenário 2       | 5°   | 5°     | 2°          | 2°  | 1°               |
| Cenário 3       | 6°   | 6°     | 6°          | 6°  | 4°               |
| Cenário 4       | 4°   | 4°     | 3°          | 3°  | 5°               |
| Cenário 5 Extra | 1°   | 1°     | 1°          | 1°  | 3°               |
| Cenário 6 Extra | 3°   | 3°     | 5°          | 5°  | 6°               |

Fonte: Próprio autor (2012)

O Cenário 5 Extra é composto por dois navios *Smallcape* e um navio *Panamax Spot*. Esse cenário obteve o resultado de menor impacto em quase todos os indicadores ambientais, sendo a frota mais indicada, do ponto de vista ambiental, para o atendimento de minério de ferro para a Siderúrgica do Pecém. A frota que obteve o pior resultado foi o Cenário 3, ficando em última posição na maioria dos requisitos.

Nenhum dos cenários obteve a mesma classificação no ranking para os cinco indicadores ambientais, sendo assim, para classificar todos os cenários em um ranking final para os cenários será feito um procedimento de agregação de valores dos indicadores.

Na Tabela 34, são demonstrados os resultados dos cenários referentes aos cinco indicadores ambientais por cenário, resultados consolidados, já obtidos e demonstrados nesse capítulo.

**Tabela 34:** Tabela Inicial – Resultados Obtidos

| Cenários        | Lixo<br>(Kg/ano) | Esgoto<br>(l/ano) | Combustível<br>(t/ano) | GtCO2-eq<br>(ano) | Poluentes Locais<br>(t/ano) |
|-----------------|------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Cenário 1       | 31.755,00        | 1.481.900,00      | 11.884,36              | 45.175,90         | 387,34                      |
| Cenário 2       | 32.850,00        | 1.533.000,00      | 11.028,74              | 35.812,83         | 280,27                      |
| Cenário 3       | 39.420,00        | 1.839.600,00      | 13.545,56              | 62.018,12         | 609,09                      |
| Cenário 4       | 32.302,50        | 1.507.450,00      | 11.263,37              | 40.029,95         | 687,14                      |
| Cenário 5 Extra | 24.761,99        | 1.155.559,67      | 10.467,98              | 34.835,16         | 472,20                      |
| Cenário 6 Extra | 31.927,95        | 1.489.971,21      | 12.130,66              | 49.162,07         | 1.063,46                    |
| Pesos           | 20%              | 20%               | 20%                    | 20%               | 20%                         |

Fonte: Próprio autor (2013)

Os resultados grifados de amarelo, são os melhores, o Cenário 5 Extra atingindo melhor resultado em quatro dos cinco indicadores, sendo assim os resultados grifados em amarelo serão os resultados parametrizadores para gerar a Tabela 35. O peso foi distribuído de forma linear pelos 5 indicadores ambientais, 20% de peso para cada indicador ambiental, que será utilizado para ponderar os resultados na Tabela 36.

Os resultados parametrizados da Tabela 35 são indicadores provenientes da divisão do melhor resultado pelo resultado do cenário “X” e sucessivamente para todos os outros cenários.

**Tabela 35: Tabela Parametrizada**

| Cenários        | Lixo | Esgoto | Combustível | GtCO2-eq | Poluentes Locais |
|-----------------|------|--------|-------------|----------|------------------|
| Cenário 1       | 0,78 | 0,78   | 0,88        | 0,77     | 0,72             |
| Cenário 2       | 0,75 | 0,75   | 0,95        | 0,97     | 1,00             |
| Cenário 3       | 0,63 | 0,63   | 0,77        | 0,56     | 0,46             |
| Cenário 4       | 0,77 | 0,77   | 0,93        | 0,87     | 0,41             |
| Cenário 5 Extra | 1,00 | 1,00   | 1,00        | 1,00     | 0,59             |
| Cenário 6 Extra | 0,78 | 0,78   | 0,86        | 0,71     | 0,26             |

Fonte: Próprio autor (2013)

O melhor resultado da Tabela 35, já era esperado que fosse a maior parte para o Cenário 5 Extra. O Cenário 2 sobressaiu no melhor desempenho quanto a emissão dos Poluentes Locais. Após obtenção dos resultados parametrizados, a Tabela 36 demonstra os resultados ponderados e a classificação dos cenários.

**Tabela 36: Tabela Ponderada e Ranking dos Resultados**

| Cenários        | Lixo | Esgoto | Combustível | GtCO2-eq | Poluentes Locais | Totais | Classificação |
|-----------------|------|--------|-------------|----------|------------------|--------|---------------|
| Cenário 1       | 0,16 | 0,16   | 0,18        | 0,15     | 0,14             | 0,79   | 3°            |
| Cenário 2       | 0,15 | 0,15   | 0,19        | 0,19     | 0,20             | 0,89   | 2°            |
| Cenário 3       | 0,13 | 0,13   | 0,15        | 0,11     | 0,09             | 0,61   | 6°            |
| Cenário 4       | 0,15 | 0,15   | 0,19        | 0,17     | 0,08             | 0,75   | 4°            |
| Cenário 5 Extra | 0,20 | 0,20   | 0,20        | 0,20     | 0,12             | 0,92   | 1°            |
| Cenário 6 Extra | 0,16 | 0,16   | 0,17        | 0,14     | 0,05             | 0,68   | 5°            |

Fonte: Próprio autor (2013)

Na Tabela 36, foi possível demonstrar e ranquear os seis cenários demonstrados no estudo de caso, utilizando um procedimento de agregação de valores de indicadores.

Ranqueando os cenários, do que produz menor impacto ambiental para o que produz maior impacto ambiental, o resultado, conforme Tabela 36, seria, Cenário 5 Extra, Cenário 2, Cenário 1, Cenário 4, Cenário 6 Extra e, por último, Cenário 3.

Nesse capítulo foi possível verificar que a escolha da frota é de extrema importância para a redução dos impactos ambientais regionais e globais. Isso ocorre porque, com a escolha errada de uma frota, poderia ter havido um aumento de até 77% nas emissões de GEE no sistema proposto, o que também representaria um aumento nos gastos com a compra de combustível.

Na legislação marítima, nos dias de hoje, não existe nenhum impeditivo quanto à emissão de GEE dos navios, porém como o assunto está cada vez mais em discussão pelos órgãos competentes internacionais, poderá haver, em um futuro próximo, alguma restrição de navegação por tipos de embarcações que contribuem com maiores índices de GEE. Um meio para impedir esse tipo de navegação é a criação de regras de atracação portuárias no mundo, as quais impediriam a atracação de embarcações com ineficiência no índice de emissão de GEE.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A partir da revisão bibliográfica nacional e internacional apresentada no Capítulo 2 foi possível compreender melhor o modo aquaviário e suas diferentes denominações e tipos de navegação, identificando suas principais vantagens e desvantagens. Foi possível também ter uma visão geral dos principais portos exportadores de minério de ferro do Brasil.

Após a identificação do modo aquaviário, o conceito da navegação de cabotagem foi estudado, sendo apresentadas suas principais características, seus entraves, suas vantagens e a movimentação de carga através desse modo no Brasil.

Ainda no Capítulo 2, após o detalhamento da movimentação de cargas na navegação de cabotagem, foi possível verificar que o volume de carga transportado na navegação de cabotagem é bem discreto. Apesar de seu crescimento expressivo nos últimos anos, ele ainda continua pequeno. Com isso demonstrou-se que a navegação de cabotagem no Brasil tem uma baixa representatividade pelo seu volume transportado. Entretanto, com novos incentivos a navegação de cabotagem poderá apresentar um crescimento expressivo em um futuro próximo.

No Capítulo 2 foram identificados os tipos de navios, suas classes, famílias e tamanhos. Com relação à família dos navios graneleiros ou *bulk carrier*, foi apresentado o desempenho de consumo de combustível que serviu de base para os cálculos de consumo de combustível e emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos para o Capítulo 4, referente ao Estudo de Caso.

Portanto, o Capítulo 2 foi de extrema importância para o embasamento das características técnicas dos navios e da navegação de cabotagem e para dar suporte ao estudo de caso.

No Capítulo 3 foram analisados os conceitos ambientais voltados para a navegação com base nos indicadores ambientais marítimos. Esse capítulo proporcionou um embasamento teórico bem específico referente aos principais impactos ambientais causados pelo transporte marítimo.

No Capítulo 3 os indicadores de impactos ambientais foram definidos e mensurados. São eles a água de lastro, os hidrocarbonetos e as águas oleosas, o esgoto, as águas residuais, as águas pluviais fossas, as tintas anti-incrustantes, os resíduos sólidos, as emissões de gases de efeito estufa e outros gases de escape.

O levantamento de maior relevância no Capítulo 3 foi quanto aos fatores de emissão dos gases de efeito estufa e os poluentes atmosféricos locais. Esse fator serviu de base para calcular as emissões de gases de efeito estufa dos navios selecionados para o transporte de minério de ferro no estudo de caso do Capítulo 4.

Com base no conhecimento adquirido nesta pesquisa elaborou-se um estudo de caso real demonstrado no Capítulo 4. Com esse estudo foi possível identificar e conhecer as principais características dos portos de Ponta da Madeira, de Tubarão e do Pecém e da Siderúrgica do Pecém, empreendimento em fase de implantação no nordeste do País.

A solução logística desenvolvida para transportar o volume de minério de ferro, de 5,06 milhões de toneladas ao ano, foi através da navegação de cabotagem, saindo dos portos de origem, Ponta da Madeira e Tubarão, com destino ao Porto do Pecém. Com a implantação desse modelo, estima-se que no ano de 2015 o volume de minério de ferro transportado para a siderúrgica venha a ter uma contribuição no acréscimo da matriz de carga da navegação de cabotagem.

Para o dimensionamento da frota foi utilizado o *software* de simulação dinâmica *Arena*, no qual foram gerados 8 tipos de cenário, sendo 6 verificados, com diferentes tipos de navios. Aos resultados da simulação dinâmica foram inseridos os dados ambientais e, assim, identificada a frota que obteve menor impacto ambiental para esse sistema.

O cenário com dois navios *Smallcape* dedicados e um navio *Panamax Spot* foi o cenário de menor impacto ambiental. Pode ser notado também que a não escolha da frota correta poderia acarretar um acréscimo de até 31% no valor agregado dos índices ambientais calculados para o estudo de caso.

Esta dissertação alcançou o seu objetivo principal ao desenvolver um procedimento capaz de avaliar o desempenho ambiental do transporte marítimo de cabotagem e determinar qual a melhor alternativa, de menor impacto ambiental, que pode ser recomendada para um segmento de operação de navegação de cabotagem. Os objetivos secundários foram alcançados ao identificar e analisar os indicadores ambientais gerados pelo transporte marítimo de cabotagem no Brasil, com aplicação para o transporte de minério de ferro.

Sendo assim, o trabalho contribuiu para identificar frotas com menor índice de impactos ambientais. Foram encontradas frotas que atendiam ao volume de minério de ferro, porém umas possuíam um índice de impacto ambiental maior que outras (cenários). No meio empresarial esse assunto surge para reflexão, porém, muitas vezes por causa da viabilidade do projeto, apenas é fruto de análises econômica/financeiras e de capacidade. Por esse motivo a questão ambiental não é considerada nos estudos de viabilidade, pois esses tipos de análises ambientais não são avaliadas e nem fiscalizadas pelos órgãos ambientais competentes. Esse estudo também contribuiu para qualquer outro estudo de caso, pois os Capítulos 2 e 3 são levantamentos teóricos consistentes e servem como fonte para futuros estudos de impacto ambiental marítimo.

Quanto à realização da pesquisa, a maior dificuldade encontrada foi o fato de a dissertação ter como tema uma área pouco difundida dentro da academia. Impactos ambientais marítimos aparecem como tema na maioria das publicações feitas por organizações americanas e europeias, onde a preocupação com essa questão é bem maior. Outro elemento limitador é o fato dos resultados apresentados nos Capítulos 2 e 3 refletirem apenas a realidade dos navios graneleiros, podendo não servir como fonte para outros estudos que não utilizem essa classe de navios em sua pesquisa.

Como proposição para trabalhos futuros, sugere-se que seja realizada uma análise do triângulo sustentável para o estudo de caso. Ou seja, que considere não apenas uma análise ambiental, mas também uma análise econômica e social.

Como um trabalho complementar a este, pode ser sugerida a realização de um estudo identificando, entre os seis cenários propostos no Capítulo 4, o cenário que tenha o menor índice de preço do transporte marítimo. Com isso seria possível determinar os principais custos de investimento, custos fixos e variáveis, e chegar a um menor valor de frete. Também poderia ser contemplado nesse estudo complementar uma reflexão sobre os impactos, positivos ou negativos, com a aquisição de navio em estaleiros nacionais, através do Financiamento do Fundo da Marinha Mercante, na visão do armador e na visão de frota própria “particular – própria empresa”.

Portanto, para o encerramento desse trabalho, o autor considera ter sido uma grande satisfação estudar sobre essa temática, tão em voga no mundo marítimo internacional. Além disso, o assunto impacto ambiental marítimo vem sendo tema dos principais fóruns internacionais, o que o transforma em uma forte preocupação das entidades governamentais. Enfim, o estudo contribuiu também para o autor na sua vida acadêmica e profissional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTAQ (2012) Agência Nacional de Transportes Aquaviário - Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>> – Acesso em: 02 de Junho de 2012.
- ANTAQ (2011) Estatísticas; Anuários; Anuário Estatístico da Cabotagem - 2011; Raio-x da Frota Brasileira na Navegação de Cabotagem. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em: 04 de Junho de 2012.
- ABRELPE (2012) – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública - Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br>> – Acesso em: 20 de Agosto de 2012.
- BALTIC (2012) – The Baltic Exchange – Freight Derivatives Market - Disponível em: <<http://www.balticexchange.com/>> – Acesso em: 11 de Julho de 2012.
- Baroncini, A. Vantagens da cabotagem – Norsul - Siderurgia Brasil — Edição 50 - Disponível em: <<http://www.siderurgiabrasil.com.br/novosb/component/content/article/60-materias50/1002-vantagens-da-cabotagem-norsul/>> - acesso em 15 de Junho de 2012.
- BNDES (2012) – Banco Nacional do Desenvolvimento - Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Areas\\_de\\_At\\_uacao/Infraestrutura/Logistica/FMM/index.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_At_uacao/Infraestrutura/Logistica/FMM/index.html)> - acesso em 28 de Junho de 2012.
- Bunkerworld - Bunker Price, Global Indices, Marine Fuel Quality and more. Disponível em: <<http://www.bunkerworld.com/>> - acesso em 20 de Junho de 2012.
- CSP (2012) – Companhia Siderúrgica do Pecém - Disponível em: <<http://www.cspecem.com/>> – Acesso em: 25 de Agosto de 2012.
- Cordeiro (2012) - Cleber Cordeiro - 7º ENCONTRO DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES FIESP Cabotagem no Brasil: Quando? - ABAC – Associação Brasileira de Armadores de Cabotagem Syndarma – Sindicato Nacional das Empresas de Navegação Marítima São Paulo, 22 de maio de 2012.
- DREWRY - Drewry Shipping Consultants Ltd ~ The Independent Maritime Adviser - Disponível em: <<http://www.drewry.co.uk/>> - acesso em 20 de Junho de 2012.
- DHN (2012) – Diretoria de Hidrografia e Navegação - Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html/>> – Acesso em: 23 de Agosto de 2012.
- Embarqbrasil (2012) – Transporte Sustentável: Embarque nessa ideia! - Disponível em: <<http://embarqbrasil.org/>> – Acesso em: 25 de Agosto de 2012.

- FLEURY, P.F., WANKE, P., FIGUEIREDO, K.F. (2003). Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos. Coleção COPPEAD de Administração. Editora Atlas, São Paulo.
- Globallast. IMO (2012) – GloBallst Partnerships - Disponível em: <<http://globallast.imo.org>> – Acesso em: 12 de Agosto de 2012.
- Governo do Ceará (2012) – Governo do Estado do - Disponível em: <<http://www.ceara.gov.br/>> – Acesso em: 20 de Outubro de 2012.
- G-PORTS - Global Ports in association with SSY - Disponível em: <<http://www.g-ports.com/>> - acesso em 20 de Junho de 2012.
- GOEBEL, Dieter. *Logística – Otimização do Transporte e Estoques na Empresa*. Rio de Janeiro: 1996.
- ICS (2012) – International Chamber of Shipping - Disponível em: <<http://www.shippingandco2.org/reducingco2.htm>> – Acesso em: 13 de Agosto de Junho de 2012.
- ICS (2011) – International Chamber of Shipping – Relatório Shipping, World Trade and the reduction of CO2 Emissions - Disponível em: <<http://www.shippingandco2.org/reducingco2.htm>> – Acesso em: 14 de Agosto de 2012.
- ICS (2011) Shipping, World Trade and the Reduction of CO2 emissions - United Nations Framework Convention on Climate Change - International Maritime Organization - Marine Environment Protection Committee.
- IMO (2012) – International Maritime Organization - Disponível em: <<http://www.imo.org/>> – Acesso em: 11 de Julho de 2012.
- IMO (2009) - International Maritime Organization - Second IMO GHG, Study 2009, Published in 2009, by the International Maritime Organization, 4 Albert Embankment, London.
- IMO (2008) - International Maritime Organization - Greenhouse gas reduction strategies in the transport sector – Preliminary report – International transport fórum – OECD (2008) Preliminary report from the OECD and international transport forum working group on “Greenhouse gas reduction strategies in the transport sector”. Emissions from ships. MEPC 45/8.
- IMO (2008) - International Maritime Organization - Ship Efficiency Management Plan. MEPC 58/INF.7.
- IMO (2000) - International Maritime Organization - Study of Greenhouse Gas.
- IMO (2008) - International Maritime Organization - “Guidelines for exhaust gas cleaning systems” MEPC.170(57). Disponível em: <[http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data\\_id%3D22480/170%2857%29.pdf](http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D22480/170%2857%29.pdf)> – Acesso em: 22 de Agosto de 2012.
- IPCC (1995) - IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change – Second Assessment Climate Change 1995. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>> – Acesso em: 19 de Agosto de 2012.
- IPCC (2006) - IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>> – Acesso em: 18 de Agosto de 2012.
- IPCC (2012) – IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* - Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>> – Acesso em: 07 de Julho de 2012.

- IST (2012) – Instituto Superior Técnico - Disponível em: < <http://www.ist.utl.pt/>> – Acesso em: 15 de Agosto de 2012.
- ISO 14001 (2004) - ABNT NBR ISO 14001:2004 – Meio Ambiente - Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>> – Acesso em: 03 de Setembro de 2012.
- ISSB - International Steel Statistics Bureau - Disponível em: <<http://www.issb.co.uk/> - acesso em 20 de Junho de 2012.
- JRC (2010), Joint Research Centre, The European Commission's in-house Science Service - Regulating air emissions from ships: the state of the art on methodologies, technologies and policy options, disponível em: <<http://www.jrc.ec.europa.eu/>>, acesso em: 10 de Novembro de 2012.
- Lloyd's Register (1990) - Marine Exhaust Emissions research Programme, Steady State Operation, Lloyd's Register, London 1990.
- Lloyd's Register (1991) - Marine Exhaust Emissions research Programme, Slow Speed Addendum, Lloyd's Register, London 1991.
- Lloydslist (2012) Lloydslist Intelligence Shipping Just Got Smarter - Disponível em: <<http://www.lloydslistintelligence.com/>> – Acesso em: 11 de Agosto de 2012.
- Lloyd's Register – Fairplay (2007) - World Fleet Statistics, Disponível em: <<http://www.ihs.com/products/maritime-information/index.aspx.>> – Acesso em: 01 de Agosto de 2012.
- MMA (2012) - Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>> – Acesso em: 02 de Agosto de 2012.
- MME (2012) - Ministério de Minas e Energia - Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>> – Acesso em: 21 de Julho de 2012.
- MARPOL 73/78 - International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL 73/78).
- MARINTEK (1990) - Environmental friendly diesel engines for ships (in Norwegian only), MARINTEK, Trondheim 1990.
- MARINTEK (1999) - ESMA – Emission reduction Technology and Application Possibilities, MARINTEK, Trondheim 1999.
- Moreira, Wagner de Sousa. O Desenvolvimento da Navegação de Cabotagem no Brasil - 6º Encontro de Logística e Transportes – FIESP - 14 de JUNHO de 2011
- MT (2012) – Ministério dos Transportes – Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br>> – Acesso em 15 de Junho de 2012.
- NTUA (2008) - National Technical University of Athens – Laboratory for Maritime transport – Ship emissions study - Prepared by: National Technical University of Athens Laboratory for Maritime Transport - Prepared for: Hellenic Chamber of Shipping - May 2008.
- NTUA (2012) - *National Technical University of Athens – Laboratory for Maritime Transport – Ship Emissions Calculator* - Disponível em: <<http://www.martrans.org/emis/>> - acesso em 22 de Junho de 2012.
- NSBW (2012) – North Sea Ballast Water - Disponível em: <<http://www.northseaballast.eu/>> – Acesso em: 11 de Julho de 2012.
- ONO, R. T. (2001) Estudo de Viabilidade do Transporte Marítimo de Contêineres por Cabotagem na Costa Brasileira. 2001. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica). Escola Politécnica – USP, São Paulo.

- PACPOL (2002) – Pacific Ocean Pollution Prevention Programme - Improving Ships' Waste Management in Pacific Islands Ports - For Cleaner Seas in the Pacific Islands Region – Disponível em: <[http://www.sprep.org/att/IRC/eCOPIES/pacific\\_region/87.pdf](http://www.sprep.org/att/IRC/eCOPIES/pacific_region/87.pdf)> – Acesso em: 02 de Agosto de 2012.
- PLANATO (2012) - Presidência da República - Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos - Disponível em: <[http://http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.893.htm](http://http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.893.htm)> - acesso em 30 de Junho de 2012.
- PNLT (2009) Plano Nacional de Logística e Transporte. MT – Ministério dos Transportes e MD – Ministério da Defesa. 2009. Ministério dos Transportes. Brasil.
- Portalnaval (2012) Portal Naval - Revista on line - Disponível em: <<http://http://www.portalnaval.com.br/>> - acesso em 20 de Junho de 2012.
- Port to Port (2012) - Software Port to Port Distances.
- Portalnaval (2012) Portal Naval - Revista on line - Disponível em: <<http://http://www.portalnaval.com.br/>> - acesso em 20 de Junho de 2012.
- Rightship (2012) – Raising Global Marine Standards - Disponível em: <<http://site.rightship.com/>> – Acesso em: 04 de Setembro de 2012.
- RODRIGUES, P. R. (2005) Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e a logística internacional. 3ª ed. São Paulo: Aduaneiras.
- Shippingefficiency (2012) – Shipping Efficiency – Information for a More eficiente Market - Disponível em: <<http://shippingefficiency.org/>> – Acesso em: 30 de Julho de 2012.
- VALE (2012) – Vale S.A. - Disponível em: <<http://www.vale.com.br/>> – Acesso em: 10 de Agosto de 2012.
- WANKE, Peter; FLEURY, Paulo Fernando (2006), Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos.
- World Port Source (2012) – Companhia Siderúrgica do Pecém - Disponível em: <<http://http://www.worldportsource.com/ports/region.php/>> – Acesso em: 27 de Agosto de 2012.
- WWF (2012) – WWF Brasil - Disponível em: <<http://www.wwf.org.br/>> – Acesso em: 05 de Setembro de 2012.

## ANEXO 1 – GERAÇÃO DE LIXO

| Cenários                     | Lixo<br>(kg/dia/tripulante) | Tripulantes<br>por Cenário<br>(quant.) | Tempo de utilização<br>(dias/ano) | Lixo<br>(kg/ano/cenário) |
|------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------------|--------------------------|
| Cenário 5 - Navios Dedicados | 1,50                        | 40,00                                  | 365,00                            | 24.761,99                |
| Cenário 5 - Navio Spot       | 1,50                        | 19,00                                  | 100,42                            |                          |
| Cenário 1                    | 1,50                        | 58,00                                  | 365,00                            | 31.755,00                |
| Cenário 6 - Navios Dedicados | 1,50                        | 57,00                                  | 365,00                            | 31.927,95                |
| Cenário 6 - Navio Spot       | 1,50                        | 19,00                                  | 25,28                             |                          |
| Cenário 4                    | 1,50                        | 59,00                                  | 365,00                            | 32.302,50                |
| Cenário 2                    | 1,50                        | 60,00                                  | 365,00                            | 32.850,00                |
| Cenário 3                    | 1,50                        | 72,00                                  | 365,00                            | 39.420,00                |

Fonte: Próprio autor (2012)

## ANEXO 2 – GERAÇÃO DE ESGOTO

| Cenários                     | Esgoto (l/dia/tripulante) | Tripulantes por Cenário (quant.) | Tempo de utilização (dias/ano) | Esgoto (l/ano/cenário) |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Cenário 5 - Navios Dedicados | 70,00                     | 40,00                            | 365,00                         | 1.155.559,67           |
| Cenário 5 - Navio Spot       | 70,00                     | 19,00                            | 100,42                         |                        |
| Cenário 1                    | 70,00                     | 58,00                            | 365,00                         | 1.481.900,00           |
| Cenário 6 - Navios Dedicados | 70,00                     | 57,00                            | 365,00                         | 1.489.971,21           |
| Cenário 6 - Navio Spot       | 70,00                     | 19,00                            | 25,28                          |                        |
| Cenário 4                    | 70,00                     | 59,00                            | 365,00                         | 1.507.450,00           |
| Cenário 2                    | 70,00                     | 60,00                            | 365,00                         | 1.533.000,00           |
| Cenário 3                    | 70,00                     | 72,00                            | 365,00                         | 1.839.600,00           |

Fonte: Próprio autor (2012)

### ANEXO 3 – TOTAL DE TRIPULANTES POR CENÁRIO

---

| Cenários                     | Tripulantes por Cenário<br>(quant.) | Tempo de Utilização<br>(dias/ano) |
|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Cenário 1                    | 58,00                               | 365,00                            |
| Cenário 2                    | 60,00                               | 365,00                            |
| Cenário 3                    | 72,00                               | 365,00                            |
| Cenário 4                    | 59,00                               | 365,00                            |
| Cenário 5 - Navios Dedicados | 40,00                               | 365,00                            |
| Cenário 5 - Navio Spot       | 19,00                               | 100,42                            |
| Cenário 6 - Navios Dedicados | 57,00                               | 365,00                            |
| Cenário 6 - Navio Spot       | 19,00                               | 25,28                             |

---

Fonte: Próprio autor (2012)

#### ANEXO 4 – CONSUMO DE BUNKER DO CENÁRIO 1

| Cenário   | Navios    | IFO - Consumo Navegando (t/ano) | MDO - Consumo Navegando (t/ano) | IFO - Consumo no Porto (t/ano) | MDO - Consumo no Porto (t/ano) | Total Cenário 1 (t/ano) |
|-----------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Cenário 1 | SmallCape | 3.614,86                        | 7,86                            | 792,57                         | 137,54                         | 4.552,83                |
|           | Panamax   | 2.632,56                        | 31,43                           | 589,14                         | 412,62                         | 3.665,76                |
|           | Panamax   | 2.632,56                        | 31,43                           | 589,14                         | 412,62                         | 3.665,76                |
|           |           | <b>8.879,99</b>                 | <b>70,73</b>                    | <b>1.970,85</b>                | <b>962,79</b>                  | <b>11.884,36</b>        |

Fonte: Próprio autor (2012)

#### ANEXO 5 – CONSUMO DE BUNKER DO CENÁRIO 2

| Cenário   | Navios    | IFO - Consumo Navegando (t/ano) | MDO - Consumo Navegando (t/ano) | IFO - Consumo no Porto (t/ano) | MDO - Consumo no Porto (t/ano) | Total Cenário 2 (t/ano) |
|-----------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Cenário 2 | SmallCape | 2.668,87                        | 5,80                            | 853,83                         | 147,75                         | 3676,25                 |
|           | SmallCape | 2.668,87                        | 5,80                            | 853,83                         | 147,75                         | 3676,25                 |
|           | SmallCape | 2.668,87                        | 5,80                            | 853,83                         | 147,75                         | 3676,25                 |
|           |           | <b>8.006,60</b>                 | <b>17,41</b>                    | <b>2.561,49</b>                | <b>443,25</b>                  | <b>11.028,74</b>        |

Fonte: Próprio autor (2012)

### ANEXO 6 – CONSUMO DE BUNKER DO CENÁRIO 3

| Cenário   | Navios  | IFO - Consumo Navegando (t/ano) | MDO - Consumo Navegando (t/ano) | IFO - Consumo no Porto (t/ano) | MDO - Consumo no Porto (t/ano) | Total Cenário 3 (t/ano) |
|-----------|---------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Cenário 3 | Panamax | 2452,13                         | 29,28                           | 601,17                         | 420,71                         | 3503,30                 |
|           | Panamax | 2452,13                         | 29,28                           | 601,17                         | 420,71                         | 3503,30                 |
|           | Panamax | 2452,13                         | 29,28                           | 601,17                         | 420,71                         | 3503,30                 |
|           | Hadymax | 2195,94                         | 14,64                           | 404,37                         | 420,71                         | 3035,67                 |
|           |         | <b>9.552,34</b>                 | <b>102,48</b>                   | <b>2.207,88</b>                | <b>1.682,85</b>                | <b>13.545,56</b>        |

Fonte: Próprio autor (2012)

### ANEXO 7 – CONSUMO DE BUNKER DO CENÁRIO 4

| Cenário   | Navios    | IFO - Consumo Navegando (t/ano) | MDO - Consumo Navegando (t/ano) | IFO - Consumo no Porto (t/ano) | MDO - Consumo no Porto (t/ano) | Total Cenário 4 (t/ano) |
|-----------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Cenário 4 | SmallCape | 3.013,73                        | 6,55                            | 831,66                         | 144,06                         | 3.996,00                |
|           | SmallCape | 3.013,73                        | 6,55                            | 831,66                         | 144,06                         | 3.996,00                |
|           | Panamax   | 2.194,78                        | 26,21                           | 618,20                         | 432,17                         | 3.271,36                |
|           |           | <b>8.222,24</b>                 | <b>39,31</b>                    | <b>2.281,53</b>                | <b>720,29</b>                  | <b>11.263,37</b>        |

Fonte: Próprio autor (2012)

## ANEXO 8 – CONSUMO DE BUNKER DO CENÁRIO 5 EXTRA

| Cenário                       | Navios    | IFO - Consumo Navegando (t/ano) | MDO - Consumo Navegando (t/ano) | IFO - Consumo no Porto (t/ano) | MDO - Consumo no Porto (t/ano) | Total Cenário 5 Extra (t/ano) |
|-------------------------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Cenário 5 - Navios Dedicados  | SmallCape | 3.758,20                        | 8,17                            | 783,30                         | 136,00                         | 4.685,67                      |
|                               | SmallCape | 3.758,20                        | 8,17                            | 783,30                         | 136,00                         | 4.685,67                      |
| Cenário 5 - Navio <i>Spot</i> | Panamax   | 801,77                          | 9,57                            | 170,57                         | 114,73                         | 1.096,64                      |
|                               |           | <b>8.318,17</b>                 | <b>25,91</b>                    | <b>1.737,17</b>                | <b>386,73</b>                  | <b>10.467,98</b>              |

Fonte: Próprio autor (2012)

## ANEXO 9 – CONSUMO DE BUNKER DO CENÁRIO 6 EXTRA

| Cenário                       | Navios  | IFO - Consumo Navegando (t/ano) | MDO - Consumo Navegando (t/ano) | IFO - Consumo no Porto (t/ano) | MDO - Consumo no Porto (t/ano) | Total Cenário 6 Extra (t/ano) |
|-------------------------------|---------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Cenário 6 - Navios Dedicados  | Panamax | 2944,65                         | 35,16                           | 568,43                         | 398,70                         | 3946,94                       |
|                               | Panamax | 2944,65                         | 35,16                           | 568,43                         | 398,70                         | 3946,94                       |
|                               | Panamax | 2944,65                         | 35,16                           | 568,43                         | 398,70                         | 3946,94                       |
| Cenário 6 - Navio <i>Spot</i> | Panamax | 217,15                          | 2,59                            | 41,92                          | 28,20                          | 289,85                        |
|                               |         | <b>9.051,10</b>                 | <b>108,07</b>                   | <b>1.747,20</b>                | <b>1.224,30</b>                | <b>12.130,66</b>              |

Fonte: Próprio autor (2012)

**ANEXO 10 – FATOR DE EMISSÃO EM KG EMITIDO POR DIA POR TONELADA DE COMBUSTÍVEL QUEIMADO POR TIPO DE NAVIO (Kg/DIA).**

| Emissão                            | Fator de Emissão<br>(kg emitido/tonelada<br>de combustível) | SmallCape<br>Navegando<br>(Kg emitido/dia) | SmallCape<br>Sem<br>Navegação<br>(Kg emitido/dia) | Panamax<br>Navegando<br>(Kg emitido/dia) | Panmax<br>Sem<br>Navegação<br>(Kg emitido/dia) | HandyMax<br>Navegando<br>(Kg emitido/dia) | HandyMax<br>Sem<br>Navegação<br>(Kg emitido/dia) |           |
|------------------------------------|---|--|---|--|--|---|--|-----------|
| <b>Emissões de GEE</b>             |   |  |   |  |  |   |  |           |
| CO2                                | <i>MDO Bunker</i>   | 3.130,00                                   | 313,00  | 1.565,00                                 | 1.252,00                                       | 2.347,50                                  | 626,00   | 3.521,25  |
|                                    | <i>IFO Bunker</i>   | 3.190,00                                   | 146.740,00  | 9.570,00                                 | 106.865,00                                     | 21.341,10                                 | 95.700,00  | 32.011,65 |
| CH4                                |   | 0,30                                       | 13,83   | 1,05                                     | 10,17  | 3,92                                      | 9,06   | 11,75     |
| N2O                                |   | 0,08                                       | 3,69  | 0,28                                     | 2,71   | 1,04                                      | 2,42   | 3,13      |
| <b>Emissões de Gases de Escape</b> |   |  |   |  |  |   |  |           |
| CO                                 |   | 7,40                                       | 341,14  | 25,90                                    | 250,86   | 96,61                                     | 223,48   | 289,82    |
| NM VOC                             |   | 2,40                                       | 110,64  | 8,40                                     | 81,36  | 31,33                                     | 72,48  | 94,00     |
| SO2                                | <i>MDO Bunker</i>   | 54,00                                      | 5,40  | 27,00                                    | 21,60  | 40,50                                     | 10,80  | 60,75     |
|                                    | <i>IFO Bunker</i>   | 10,00                                      | 460,00  | 30,00                                    | 335,00   | 66,90                                     | 300,00   | 100,35    |
| NOx*                               | <i>velocidade média dos motores diesel</i>                  | 56,00                                      | 341,14  | 196,00                                   | 250,86   | 731,08                                    | 223,48   | 168,00    |
| PM10                               | <i>MDO Bunker</i>   | 6,70                                       | 0,67  | 3,35                                     | 2,68   | 5,03                                      | 1,34   | 7,54      |
|                                    | <i>IFO Bunker</i>   | 1,10                                       | 50,60   | 3,30                                     | 36,85  | 7,36                                      | 33,00  | 11,04     |

Fonte: Próprio autor (2012)

## ANEXO 11 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 1 (t/ANO)

| Cenário 1   | SmallCape     | Panamax       | Panamax       | Total Kg<br>emissão | Total Cenário 1<br>(t emissão/ano) |                  |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------------|------------------------------------|------------------|
| <b>Emissões de GEE</b>                                |               |               |               |                     |                                    | <b>GtCO2-eq</b>  |
| CO2   | 14.619.053,27 | 15.012.583,59 | 15.012.583,59 | 44.644.220,44       | 44.644,22                          | <b>45.175,90</b> |
| CH4   | 1.375,65      | 1.876,56      | 1.876,56      | 5.128,77            | 5,13                               |                  |
| N2O   | 366,84        | 500,42        | 500,42        | 1.367,67            | 1,37                               |                  |
| <b>Emissões de Gases de Escape (Poluentes Locais)</b> |               |               |               |                     |                                    | <b>Σ</b>         |
| CO  | 33.932,77     | 46.288,47     | 46.288,47     | 126.509,72          | 126,51                             | <b>387,34</b>    |
| NMVOG   | 11.005,22     | 15.012,48     | 15.012,48     | 41.030,18           | 41,03                              |                  |
| SO2   | 52.252,69     | 57.566,91     | 57.566,91     | 167.386,50          | 167,39                             |                  |
| NOx   | 7.851,58      | 12.838,26     | 12.838,26     | 33.528,09           | 33,53                              |                  |
| PM10  | 5.858,30      | 6.513,05      | 6.513,05      | 18.884,39           | 18,88                              |                  |

Fonte: Próprio autor (2012)

## ANEXO 12 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 2 (t/ANO)

| Cenário 2   | SmallCape     | SmallCape     | SmallCape     | Total         | Total Cenário 2<br>(t emissão/ano) |                  |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|------------------|
| <b>Emissões de GEE</b>                                |               |               |               |               |                                    | <b>GtCO2-eq</b>  |
| CO2   | 11.822.261,48 | 11.822.261,48 | 11.822.261,48 | 35.466.784,44 | 35.466,78                          | <b>35.812,83</b> |
| CH4   | 1.112,68      | 1.112,68      | 1.112,68      | 3.338,03      | 3,34                               |                  |
| N2O   | 296,71        | 296,71        | 296,71        | 890,14        | 0,89                               |                  |
| <b>Emissões de Gases de Escape (Poluentes Locais)</b> |               |               |               |               |                                    | <b>Σ</b>         |
| CO  | 27.446,05     | 27.446,05     | 27.446,05     | 82.338,16     | 82,34                              | <b>280,27</b>    |
| NMVOC   | 8.901,42      | 8.901,42      | 8.901,42      | 26.704,27     | 26,70                              |                  |
| SO2   | 43.845,60     | 43.845,60     | 43.845,60     | 131.536,79    | 131,54                             |                  |
| NOx   | 8.291,87      | 8.291,87      | 8.291,87      | 24.875,60     | 24,88                              |                  |
| PM10  | 4.939,72      | 4.939,72      | 4.939,72      | 14.819,15     | 14,82                              |                  |

Fonte: Próprio autor (2012)

**ANEXO 13 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 3 (t/ANO)**

| Cenário 3   | Panamax       | Panamax       | Panamax       | Handymax      | Total kg      | Total Cenário 3<br>(t emissão/ano) | GtCO2-eq         |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|------------------|
| <b>Emissões de GEE</b>                                |               |               |               |               |               |                                    |                  |
| CO2   | 14.619.053,27 | 14.619.053,27 | 14.619.053,27 | 17.344.159,88 | 61.201.319,69 | 61.201,32                          | <b>62.018,12</b> |
| CH4   | 1.306,83      | 1.306,83      | 1.306,83      | 3.958,62      | 7.879,11      | 7,88                               |                  |
| N2O   | 348,49        | 348,49        | 348,49        | 1.055,63      | 2.101,10      | 2,10                               |                  |
| <b>Emissões de Gases de Escape (Poluentes Locais)</b> |               |               |               |               |               |                                    |                  |
|   |               |               |               |               |               |                                    | $\Sigma$         |
| CO  | 32.235,10     | 32.235,10     | 32.235,10     | 97.646,04     | 194.351,33    | 194,35                             | <b>609,09</b>    |
| NMVOC   | 10.454,63     | 10.454,63     | 10.454,63     | 31.668,98     | 63.032,86     | 63,03                              |                  |
| SO2   | 56.225,51     | 56.225,51     | 56.225,51     | 68.739,69     | 237.416,22    | 237,42                             |                  |
| NOx   | 7.968,11      | 7.968,11      | 7.968,11      | 63.478,21     | 87.382,55     | 87,38                              |                  |
| PM10  | 6.366,93      | 6.366,93      | 6.366,93      | 7.808,51      | 26.909,29     | 26,91                              |                  |

Fonte: Próprio autor (2012)

**ANEXO 14 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 4 (t/ANO)**

| Cenário 4   | SmalCape      | SmalCape      | Panamax       | Total kg      | Total Cenário 4<br>(t emissão/ano) | GtCO2-eq         |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|------------------|
| <b>Emissões de GEE</b>                                |               |               |               |               |                                    |                  |
| CO2   | 12.842.455,40 | 12.842.455,40 | 13.908.400,73 | 39.593.311,52 | 39.593,31                          | <b>40.029,95</b> |
| CH4   | 1.208,60      | 1.208,60      | 1.794,70      | 4.211,90      | 4,21                               |                  |
| N2O   | 322,29        | 322,29        | 478,59        | 1.123,17      | 1,12                               |                  |
| <b>Emissões de Gases de Escape (Poluentes Locais)</b> |               |               |               |               |                                    | $\Sigma$         |
| CO  | 29.812,24     | 29.812,24     | 44.269,16     | 103.893,64    | 103,89                             | <b>687,14</b>    |
| NMVOC   | 9.668,83      | 9.668,83      | 14.357,57     | 33.695,23     | 33,70                              |                  |
| SO2   | 46.913,59     | 46.913,59     | 54.306,42     | 148.133,61    | 148,13                             |                  |
| NOx*  | 78.820,47     | 78.820,47     | 227.069,86    | 384.710,80    | 384,71                             |                  |
| PM10  | 5.274,96      | 5.274,96      | 6.157,85      | 16.707,76     | 16,71                              |                  |

Fonte: Próprio autor (2012)

**ANEXO 15 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 5 EXTRA(t/ANO)**

| Cenário 5 Extra                                       | SmallCape     | SmallCape     | Panamax Spot | Total kg      | Total Cenário 5 Extra (t emissão/ano) | GtCO2-eq         |
|---|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------------------------------|------------------|
| <b>Emissões de GEE</b>                                |               |               |              |               |                                       |                  |
| CO2   | 15.042.950,10 | 15.042.950,10 | 4.399.489,48 | 34.485.389,68 | 34.485,39                             | <b>34.835,16</b> |
| CH4   | 1.415,51      | 1.415,51      | 542,97       | 3.373,99      | 3,37                                  |                  |
| N2O   | 377,47        | 377,47        | 144,79       | 899,73        | 0,90                                  |                  |
| <b>Emissões de Gases de Escape (Poluentes Locais)</b> |               |               |              |               |                                       | $\Sigma$         |
| CO  | 34.915,94     | 34.915,94     | 13.393,16    | 83.225,03     | 83,23                                 | <b>472,20</b>    |
| NM VOC  | 11.324,09     | 11.324,09     | 4.343,73     | 26.991,90     | 26,99                                 |                  |
| SO2   | 53.527,18     | 53.527,18     | 16.749,41    | 123.803,77    | 123,80                                |                  |
| NOx*  | 81.183,14     | 81.183,14     | 61.922,33    | 224.288,61    | 224,29                                |                  |
| PM10  | 5.997,56      | 5.997,56      | 1.893,31     | 13.888,43     | 13,89                                 |                  |

Fonte: Próprio autor (2012)

**ANEXO 16 – TOTAL DE EMISSÕES PARA O CENÁRIO 6 EXTRA (t/ANO)**

| Cenário 6 Extra                                       | Panamax       | Panamax       | Panamax       | Panamax Spot | Total kg      | Total Cenário 6 Extra (t emissão/ano) | GtCO2-eq                        |
|---|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Emissões de GEE</b>                                |               |               |               |              |               |                                       |                                 |
| CO2   | 15.799.914,18 | 15.799.914,18 | 15.799.914,18 | 1.146.092,47 | 48.545.835,01 | 48.545,84                             | <b>49.162,07</b>                |
| CH4   | 1.934,95      | 1.934,95      | 1.934,95      | 139,54       | 5.944,39      | 5,94                                  |                                 |
| N2O   | 515,99        | 515,99        | 515,99        | 37,21        | 1.585,17      | 1,59                                  |                                 |
| <b>Emissões de Gases de Escape (Poluentes Locais)</b> |               |               |               |              |               |                                       |                                 |
| CO  | 47.728,73     | 47.728,73     | 47.728,73     | 3.442,01     | 146.628,21    | 146,63                                | <b>Σ</b><br><br><b>1.063,46</b> |
| NM VOC  | 15.479,59     | 15.479,59     | 15.479,59     | 1.116,33     | 47.555,10     | 47,56                                 |                                 |
| SO2   | 59.892,06     | 59.892,06     | 59.892,06     | 4.330,29     | 184.006,47    | 184,01                                |                                 |
| NOx*  | 216.371,66    | 216.371,66    | 216.371,66    | 15.368,26    | 664.483,23    | 664,48                                |                                 |
| PM10  | 6.766,35      | 6.766,35      | 6.766,35      | 489,02       | 20.788,08     | 20,79                                 |                                 |

Fonte: Próprio autor (2012)