

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

VÍTOR DE OLIVEIRA MATEUS

**PANORAMA DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE NAVIOS EM COMPLEXO
PORTUÁRIO PRÓXIMO À REGIÃO URBANA**

Vitória
2020

VÍTOR DE OLIVEIRA MATEUS

**PANORAMA DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE NAVIOS EM COMPLEXO
PORTUÁRIO PRÓXIMO À REGIÃO URBANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia Ambiental na área de concentração Poluição do Ar.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a Taciana Toledo de Almeida Albuquerque

Vitória
2020

DEDICATÓRIA

À minha avó Enilda, ao meu pai Carlos Alberto.

A toda a minha família

A todos os meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a mim mesmo, não por um ato de narcisismo, mas porque só eu sei das dificuldades que passei, da resistência que tive que ter, da perseverança que me foi necessária e da força que precisei para concluir este trabalho.

Agradecimento especial para meus avós, Enilda e Nédio, e meu pai Carlos Alberto e madrasta Tina que tanto por mim fizeram para que eu chegasse aqui. Do amor que me deram a todo apoio ao qual pude contar, pelo suporte e incentivo aos estudos que me deram base para o meu desenvolvimento. Agradeço à minha tia Adriane Almeida por sempre acreditar em mim e estar ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço imensamente à minha orientadora Taciana Toledo de Almeida Albuquerque pela paciência, confiança, por todo apoio, orientação e motivação. Obrigado pelos conhecimentos e experiências e pelas correções que me fizeram aperfeiçoar. Muito obrigado por ter me aceitado como seu aluno de mestrado.

Agradeço à Prof.^a Elisa Valentim Goulart e à Prof.^a Janaina Antonino Pinto por terem aceitado compor a banca avaliadora, pela paciência e pela disposição em avaliar meu trabalho, na certeza de que todos os apontamentos, correções e sugestões enriquecerão o que foi feito.

Aos professores Jane Meri Santos, Neyval Costa Reis Junior, Elisa Valentim Goulart e Valdério Anselmo Reisen pelos ensinamentos, aulas e experiências transmitidas durante todo o período em que estive no mestrado. Especialmente, obrigado, Elisa pelas grandes ajudas no Aermod. Muito Obrigado.

Aos colegas do NQualiAr Adrielle de Melo, Alexandre Santiago, Ana Teresa, Elson Silva, Felipe Maciel, Igor Richa Jamily Faé, Karine Klippel, Luiza Peláez, Mayana Rigo, Victória Venturini, Yasmin Kaore, Vitor Lavor, pela parceria, apoio e pelos períodos de convivência que tivemos que foram muito importantes, pelas ajudas nos problemas encontrados ao longo dos trabalhos desenvolvidos.

À Rose Leão e à Shanna Pavan pela ajuda com todos os trâmites do programa e suporte em todos os momentos requisitados.

Obrigado aos meus amigos por me dar todo o suporte, mesmo que à distância, e compreenderem a minha ausência e meu afastamento em muitos momentos. Ao meu namorado Roger pelo carinho, apoio, pela força e por me fazer companhia em muitos momentos.

À Clarissa Abreu e à ANTAQ pelos dados portuários, base dos estudos aqui desenvolvidos. Ao IEMA pela disponibilidade de dados para essa pesquisa, à UFES (PPGEA) e ao NQUALIAR pelo apoio e estrutura disponibilizada. Ao apoio financeiro da CAPES.

RESUMO

Este trabalho buscou avaliar a participação das emissões de navios na região portuária que envolve a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), onde muitos trabalhos trazem como foco as emissões de importantes fontes presentes devido à proximidade de grandes indústrias e ao tráfego urbano. A aplicação de metodologias simplificadas, de dados médios e de pouca precisão podem subestimar a participação dessas fontes em regiões com grande proximidade dos portos. Além disso, a falta de legislação brasileira que exija equipamentos de controle de emissões de navios faz com que tal contribuição possa ainda ser maior, por se tratar de numerosas movimentações de navios de grande porte internacionais, sendo que muitos utilizam combustíveis com altos fatores de emissão atmosférica. Cada registro de navio, contendo tonelagem bruta, tipo de navio, hora de chegada, de atracação e berço onde o navio atracou foi utilizado para caracterizar cada navio como uma fonte pontual temporária na zona de atracação e berço correspondentes, e como fonte linha durante o período de manobra (quando o navio se desloca da zona de espera para a zona de atracação). Para cálculo das emissões, utilizou-se as metodologias de cálculo da EEA, bem como os fatores de emissão caracterizados por tipo de navio, tipo de motor-combustível, fase da navegação. Foram calculadas as concentrações de NO_x, SO_x e Ni geradas pelas emissões de navios por meio do modelo gaussiano AERMOD, utilizando dados meteorológicos, de relevo e as taxas de emissões calculadas com base nos dados de 2015. O domínio utilizado foi de 30 x 30 km, centrado na coordenada 368028 m S, 7753624 mW. A etapa de espera dos navios é onde foram registrados os maiores tempos (tempo médio de 41,68 h), sendo os navios do tipo Granéis Sólidos o que registram maior tempo médio de espera (160,48 h). As emissões totais calculadas foram de: NO_x (100.607,88 ton./ano), SO_x (483,99 ton/ano) e Ni (22,15 ton./ano). Em todas as fases os navios do tipo granéis sólidos têm maior participação nas emissões. Quanto às concentrações simuladas, NO_x demonstrou nas simulações ultrapassar padrões de qualidade do ar locais e nacionais de máxima concentração média horária. Embora a estação não tenha registrado valor maiores do que os padrões, os valores ultrapassar podem nas simulações podem indicar forte influência dos navios nas concentrações de NO_x na região.

Palavras chaves: Poluição do Ar, Navios, Qualidade do Ar, AERMOD,

ABSTRACT

This work aims to evaluate the participation of ships in the port region of Metropolitan Region of Greater Vitória (RMGV), where many works focus on the permissions of important sources present due to the proximity of large companies and the urban sector. The application of simplified methodologies, medium data and poor precision may underestimate the participation of these sources in regions with close proximity to ports. In addition, the lack of Brazilian legislation that requires ship control equipment that makes contributions even greater, as it involves numerous movements of large international ships, many of which are used with high risk factors. atmospheric emission. Each ship record, containing gross tonnage, type of ship, time of arrival, berthing and berth, where the ship berth was used to characterize each ship as a temporary point source in the corresponding berthing and berthing zone, and as a line line during the maneuver period (when the ship moves from the waiting area to an attraction area). To calculate the variations, use EEA calculation methods as well as the emission factors characterized by type of ship, type of fuel engine, navigation phase. They were calculated as NO_x, SO_x and Ni tests generated by transport ships using the Gaussian model AERMOD, using meteorological, relief data and as calculation rates calculated based on the 2015 data. The domain used was 30 x 30 km , centered at 368028 m S, 7753624 mW. The waiting stage of the ships is where the longest times have been recorded (average time of 41.68 h), being the ships of the Bulk Solid type or which have the longest waiting time (160.48 h). As the calculated totals were: NO_x (100,607.88 ton./year), SO_x (483.99 ton. / year) and Ni (22.15 ton./year). In all phases, bulk vessels suffer greater participation in them. As for simulations, NO_x demonstrates simulations that exceed the quality standards of local and national average hourly average concentrations. Although a station has not registered a higher value than the standards, the exceeded values can be simulated and can indicate a strong influence of the ships in the NO_x regions in the region.

Keywords: Air Pollution, Shipping, Air Quality, AERMOD

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de decisão para escolha do método de quantificação das emissões. ...	27
Figura 2: Localização dos portos e terminais portuários do Espírito Santo.	34
Figura 3: Estações da RAMQAR na RMGV (ES).	36
Figura 4: Rosas anuais dos ventos da RMGV.	37
Figura 5: Áreas de fundeio (ou fundeadouros) da região de estudo onde os navios aguardam para atracarem.	46
Figura 6: Exemplo de rota real feito por um navio do fundeadouro ao berço de atracação. ...	47
Figura 7: Alocação espacial das rotas de emissão no período de manobra.	48
Figura 8: Regiões de atracação dos navios configuradas como fontes pontuais.	48
Figura 9: Identificação dos berços de atracação da Região 1.	49
Figura 10: Identificação dos berços de atracação da Região 2.	50
Figura 11: Modelo de input do HOURMIS para alocação temporal das fontes pontuais.	51
Figura 12: Modelo utilizado do relevo da região de estudo.	53
Figura 13: Gráficos tipo Boxplot dos registros de tempo de espera (a), atracação (b) e manobra (c) por tipo de navio.	55
Figura 14: Tempo médio de atracação e emissões de NO _x por terminal portuário.	57
Figura 15: Tempo médio de atracação e emissões de SO _x por terminal portuário.	57
Figura 16: Tempo médio de atracação e emissões de Ni por terminal portuário.	58
Figura 17: Emissões de NO _x por fase da navegação e tipo de navio.	59
Figura 18: Emissões de SO _x por fase da navegação e tipo de navio.	60
Figura 19: Emissões de Ni por fase da navegação e tipo de navio.	61
Figura 20: Comparação entre as emissões totais de NO _x na região de estudo e em outras regiões portuárias.	63
Figura 21: Comparação entre as emissões totais de SO ₂ na região de estudo e em outras regiões portuárias.	63
Figura 22: Maiores concentrações médias anuais de NO _x (a), SO _x (b) e Ni (c) geradas pelas emissões de navios em 2015.	64
Figura 23: Mapa das concentrações médias anuais de NO _x geradas pelas emissões de navios.	66
Figura 24: Mapa das concentrações médias anuais de SO _x geradas pelas emissões de navios.	67
Figura 25: Mapa das concentrações médias anuais de Ni geradas pelas emissões de navios.	68

Figura 26: Perfil médio horário das concentrações medidas na estação e as simuladas pelo AERMOD em 2015..... 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites de concentração dos padrões de qualidade do ar propostos em 2018 pelo CONAMA.	37
Tabela 2: Limites de concentração dos padrões de qualidade do ar propostos em 2013 pelo Decreto Estadual nº. 3463-R	38
Tabela 3: Distribuição percentual relacionando tipologia de navio e motor/combustível usado, para a frota mundial de 2010.	40
Tabela 4: Fatores de consumo de combustível a potência máxima.	42
Tabela 5: Fatores de emissão dos navios para os poluentes NO _x e Ni.	44
Tabela 6: Características adotadas na caracterização da superfície por meio da análise do círculo.	52
Tabela 7: Médias dos tempos de espera, manobra e atracação por tipologia de navios (em horas).	54
Tabela 8: Emissões totais estimadas por etapa e poluente, em toneladas, no ano de 2015. ...	56
Tabela 9: Total estimado emitido dos rebocadores durante a manobra dos navios em toneladas.	62
Tabela 10: Concentrações simuladas de NO _x nas estações RAMQAr (pontos discretos do modelo).	69
Tabela 11: Concentrações simuladas de SO _x nas estações RAMQAr (pontos discretos do modelo).	71
Tabela 12: Concentrações simuladas de Ni nas estações RAMQAr (pontos discretos do modelo).	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estudos sobre emissões de navios em portos e regiões portuárias e os métodos utilizados para a quantificação das emissões.	29
Quadro 2: Principais portos e terminais portuários do complexo portuário espírito-santense.	35
Quadro 3: Informações utilizadas para análise comparativa das emissões em diferentes portos.	45
Quadro 4: Parâmetros utilizados no processamento do modelo AERMOD.	51

LISTA DE SIGLAS

AERMOD: *American Meteorological Society Environmental Protection Agency Regulatory Model*

AIS: *Automatic Identification System*

AMS: *American Meteorological Society*

ANP: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANTAQ: Agência Nacional de Transportes Aquaviários

AVC: Acidente Vascular Cerebral

BFO: *Bunker Fuel Oil*

CD144: Card Deck 144 format

CFC: *Clorofluorcarboneto*

CH₄: Metano

CMAQ: *Community Multi-scale Air Quality*

CO: Monóxido de Carbono

CO₂: Dióxido de Carbono

CODESA: Companhia Docas do Espírito Santo

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

COV: Compostos Orgânicos Voláteis

COVNM: Compostos Orgânicos Voláteis Não-Metânicos

CPTEC: Centro de Previsão de Tempos e Estudos Climáticos

CPVV: Companhia Portuária de Vila Velha

CTM: *Chemistry Transport Model*

ECA: *Emission Control Areas*

EEA: *Environment European Agency*

FMI: *Finnish Meteorological Institute*

HCNM: Hidrocarbonetos Não Metano

HTC: Hidrocarbonetos Totais

IEMA: Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IMO: *International Maritime Organization*

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISO: *International Organization for Standardization*

MARPOL: *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*

MDO: *Marine Diesel Oil*

MEPC: *Marine Environment Protection Committee*
MGO: *Marine Gas Oil*
MP: Material Particulado
MP₁₀: Material Particulado com diâmetro de até 10 µm
MP_{2,5}: Material Particulado com diâmetro até 2,5 µm
N₂O: Óxido Nitroso
Ni: Níquel
NO_x: Óxidos de Nitrogênio
PB: Chumbo
PNLT: Plano Nacional de Logística e Transportes
PS: Poeira Sedimentável
PTS: Particulado Total em Suspensão
RAMQAr: Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar
RMGV: Região Metropolitana da Grande Vitória
rpm: rotações por minuto
SAMSON: *Solar and Meteorological Surface Observation Network*
SCRAM: *Support Center for Regulatory Models*
SO₂: Dióxido de Enxofre
SO_x: Óxidos de Enxofre
STEAM: *Ship Traffic Emission Assessment Model*
STEEM: *Ship Traffic, Energy and Environment Model*
USEPA: *United States Environment Protection Agency*
USGS: *United States Geological Survey*
WHO: *World Health Organization* (Organização Mundial de Saúde)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	20
2.1. OBJETIVO GERAL.....	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE NAVIOS 21	
3.1.1. Tipos de embarcação	23
3.1.2. Tipos de motores de embarcações.....	23
3.1.3. Tipos de combustíveis marítimos.....	24
3.1.4. Fase da movimentação de embarcações	25
3.1.5. Estimativa proposta pela USEPA.....	25
3.1.6. Estimativa proposta pelo IPCC	26
3.1.7. Estimativa proposta pela EEA.....	27
3.1.8. Sistema Automático de Identificação.....	28
3.1.9. Trabalhos correlatos sobre estimativa de emissão de poluentes por navios	28
3.2. TRABALHOS CORRELATOS SOBRE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DAS EMISSÕES DE NAVIOS UTILIZANDO MODELOS DE QUALIDADE DO AR	30
3.3. MODELO AERMOD.....	31
4. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	33
5. METODOLOGIA	39
5.1. COLETA DE INFORMAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DA FROTA.....	39
5.2. CÁLCULO DAS EMISSÕES	41
5.2.1. Cálculo do consumo de combustível.....	41
5.2.2. Estimativa das emissões	42
5.2.3. Fatores de emissão	43
5.2.4. Análise comparativa das emissões	45
5.3. ALOCAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL.....	46
5.4. APLICAÇÃO DO MODELO AERMOD	51
5.4.1. Aermet.....	52
5.4.2. Aermap.....	52
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
6.1. EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	54
6.1.1. Identificação e caracterização dos navios e embarcações	54

6.1.2.	Emissões atmosféricas por etapa e comparação com outras regiões	56
6.2.	ANÁLISE DOS IMPACTOS GERADOS PELA EMISSÃO DOS NAVIOS	63
6.2.1.	Comparação com os padrões de qualidade do ar vigentes	69
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
8.	REFERÊNCIAS.....	75
ANEXO I – CÓDIGO DE CÁLCULO DAS EMISSÕES (MATLAB).....		84
ANEXO II – CÓDIGO PARA PREPARAÇÃO DO HOURMIS (MATLAB).....		114
ANEXO III – FONTES DE EMISSÃO UTILIZADAS NO INPUT DO MODELO AERMOD.....		116

1. INTRODUÇÃO

O transporte marítimo é o principal suporte para o comércio global, devido à possibilidade de mover grande quantidade de carga em grandes distâncias. Tal modalidade é fundamentada em dois principais elementos: os portos e as redes de navegação. Mais de 80% do volume comercializado e mais de 70% do valor movimentado no comércio global são dados por navios e administrados por portos marítimos em todo o mundo. Em 2016, o volume de comércio marítimo mundial cresceu em 2,6% (UNCTAD, 2017). Apesar de grande importância na logística mundial, os navios são também fontes de poluição do meio ambiente, sendo, portanto, contribuidores da deterioração dos recursos naturais. As primeiras ações foram voltadas para a poluição marinha por derramamentos de óleos, cargas líquidas, substâncias químicas, efluentes líquidos e resíduos sólidos. Posteriormente, observou-se que as embarcações exerciam papel fundamental na poluição atmosférica, como emissores de poluentes na atmosfera, contribuindo para a degradação da qualidade do ar, principalmente em regiões portuárias, bem como para a emissão de gases de efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global (IJSLTRA, 1990; MERK, 2014).

A poluição do ar afeta todas as regiões do mundo. Entretanto, as populações de áreas mais pobres são as mais impactadas. Trata-se de uma das maiores ameaças, relativas ao meio ambiente, à saúde de crianças, por apresentarem órgãos do sistema respiratório mais vulneráveis. É também um fator de risco para doenças respiratórias agudas e crônicas, consequência de processos de combustão ineficientes aplicados ao transporte, à geração de energia e a outras atividades humanas. Estas fontes de emissão produzem uma mistura complexa de poluentes (poluentes primários), tais como partículas de fuligem de diesel e chumbo, e produtos de reações químicas na atmosfera (poluentes secundários), por exemplo o ozônio e partículas de sulfato. Quanto menor a qualidade do ar, maior o risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC), doenças cardíacas, câncer de pulmão e doenças respiratórias crônicas e agudas como a asma. Estima-se que 9 de cada 10 pessoas respiram ar contaminado com altas concentrações de poluentes e 7 milhões de pessoas morrem a cada ano por poluição do ar atmosférico e de ambientes interiores (WHO, 2017; WHO, 2018). No Brasil, apontaram forte correlação entre material particulado fino ($\leq 2,5 \mu\text{m}$) e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias em cidades do sudeste, ressaltando a importância de medidas

de controle de poluição atmosférica como medida direta para a redução da mortalidade (NASCIMENTO et al., 2017; ANDREAO et al., 2018).

Muitas pesquisas vêm mostrando que o tráfego de navios e embarcações contribui para a concentração de poluentes na costa e nas áreas próximas e aumento da exposição da população residente e visitante, resultado de atividades nas etapas de atracação, manobra e *cruise* (chegada e partida dos navios) das embarcações próximas aos portos. Os navios constituem uma importante fonte de poluentes atmosféricos e seus precursores, tais como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), entre outros. (CORBETT & FISCHBECK, 1997; CORBETT & KÖHLER, 2003). MERK (2014) aponta que as emissões de navios em portos estimadas em 2011 no mundo foram de 18 milhões de toneladas de monóxido de carbono (CO₂), 0,4 milhão de toneladas de NO_x, 0,2 milhão de toneladas óxidos de enxofre (SO_x) e 0,03 milhão de toneladas de material particulado de diâmetro menor ou igual a 10 µm (MP₁₀), sendo cerca de 85% dessas emissões provenientes de navios tanques e contêineres. Além disso, segundo o autor, aproximadamente, 230 milhões de pessoas são diretamente expostas às emissões de navios nos 100 maiores portos do mundo.

Estudos mais detalhados em portos e regiões portuárias específicas também vem confirmando os impactos das emissões na qualidade do ar e saúde das populações próximas. TCHAVSKA e TOVAR (2015) apresentaram estudo sobre a região do porto de Las Palmas (Espanha), totalizando mais de 200 mil toneladas de poluentes emitidos oriundos do tráfego de navios, englobando NO_x, SO_x, COV, entre outros. CHEN *et al.* (2016) estimaram as emissões no Porto Tianjin, na China, um dos 10 maiores portos de contêineres do mundo, para os poluentes SO₂, NO_x, MP₁₀, material particulado de diâmetro menor ou igual a 2,5 µm (MP_{2,5}), Compostos Orgânicos Voláteis Não Metano (COVNM) e CO, na ordem de 10³ toneladas, chegando à ordem de grandeza de 10⁴ toneladas para o SO₂, ocorridas no ano de 2011. LIN *et al.* (2018) evidenciaram importante correlação entre emissões de navios e mortalidade cardiovascular in Guangzhou, uma importante cidade portuária na China.

Em 1990, na 29ª sessão do Comitê de Proteção Ambiental Marinha (MEPC – *Marine Environment Protection Committee*) da Organização Marítima Internacional (IMO – *International Maritime Organization*) foram categorizados os problemas relacionados à

poluição atmosférica abordando a depleção da camada de ozônio causada pelos clorofluorcarbonetos (CFCs) e halons, os impactos das emissões de SO_x e NO_x e a poluição gerada pelos combustíveis de baixa qualidade de navios (IJSLTRA, 1990). A Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição de Navios (MARPOL - *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*) é a principal convenção internacional para prevenção da poluição em ambientes marinhos causada na operação ou em acidentes de navios, adotada em 1973 pela IMO. Atualmente inclui 6 anexos, dentro os quais o Anexo VI intitulado Prevenção de Poluição do Ar por Navios, que entrou em vigor em 2005 (IMO, 2018).

No Brasil, quanto à região do completo portuário do Espírito Santo, foco desta dissertação, há poucos estudos quantificando as emissões portuárias, sobretudo as causadas pelos navios, sendo os poucos estudos com baixa precisão na estimativa, por utilizarem médias dos registros e metodologias que não levam em conta o detalhamento do tipo de fonte. Também não há estudos suficientes relacionando as emissões de navios com qualidade do ar da região, embora apontem que as fontes de emissão portuárias, dentre elas as emissões de navios, contribuem para a degradação da qualidade do ar na região. O relatório técnico do inventário de emissões atmosféricas da região da Grande Vitória, referente ao ano de 2015, aponta que as fontes de logística (que englobam os aeroportos e portos) estão entre as quatro maiores fontes industriais de emissão de material particulado total na região (IEMA, 2019). Entretanto a quantificação das emissões não leva em conta o tipo de navio, os tipos de combustíveis e os tempos de espera, atracação e manobra por navio. Tais deficiências de informação podem trazer resultados pouco precisos, uma vez que as taxas de emissão de certo poluente podem mudar consideravelmente por tipo de navio ou por combustível utilizado.

Paralelo a isso, a Região da Grande Vitória além de apresentar um complexo portuário importante, também é o local de instalação de muitas indústrias e outras fontes importantes, destacando-se indústrias minero-siderúrgicas, da atividade do aeroporto e do tráfego urbano, principalmente. Pela diversidade de fontes, torna-se mais difícil identificar a real contribuição de cada fonte na concentração atmosférica do poluente (GALVÃO *et al.*, 2019).

Diante dessas informações, o presente estudo tem como principal objetivo analisar os impactos das movimentações de navios numa região metropolitana de médio porte, industrializada e com tráfego de navios internacional que compõe a logística de transporte adotada pelas indústrias

presentes na região. Para isso, foi concebido um inventário para o ano base de 2015 incluindo de forma inédita para a região dados mais precisos das emissões provenientes da movimentação de navios na baía de Vitória, centro do tráfego de navios do complexo portuário do Espírito Santo, utilizando o histórico de dados no ano de 2015 fornecido pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), órgão nacional que, dentre outras atividades, registra o histórico de movimentações portuárias nos terminais e portos brasileiros. O ano de 2015 foi selecionado para convergir com o ano base do mais recente inventário de emissões atmosféricas da região, desta forma este estudo servirá de suporte aos órgãos responsáveis para a gestão da qualidade do ar da região. Utilizando as metodologias acessíveis de referências internacionais, como a Agência Ambiental Europeia (EEA – *European Environment Agency*) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*), com estimativa de emissões levando em conta tipologia da embarcação, uso do motor principal ou auxiliar, tonelagem bruta, tipo de combustível utilizado, trajetos médios dos navios na região e tempos de espera, atracação e manobra.

Na sequência, o modelo gaussiano AERMOD (*American Meteorological Society Environmental Protection Agency Regulatory Model*) foi utilizado para simular os cenários de concentrações na região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) dos poluentes NO_x, SO_x e Ni, oriundos das emissões dadas pela movimentação dos navios. Os óxidos de nitrogênio (NO_x) são basicamente a mistura dos compostos NO (monóxido de nitrogênio) e NO₂ (dióxido de nitrogênio), formados pelos gases N₂ (gás nitrogênio) e O₂ (gás oxigênio) em combustão a alta temperatura, podendo contribuir para formação de chuvas ácidas (por meio da reação com a água, produzindo ácidos), para formação de O₃ (ozônio) troposférico (um dos gases de efeito estufa) e podendo afetar a saúde da população (NO contribui com problemas cardiorrespiratórios). NO_x podem ser emitidos de automóveis, caminhões e vários veículos que realizam queima de combustível, como os navios e embarcações. Os óxidos de enxofre são os compostos de enxofre e oxigênio, sendo o SO₂ (dióxido de enxofre) o mais predominante nas baixas altitudes, tendo sido associados a redução na função pulmonar, aumento na incidência de problemas respiratórios e mortalidade infantil (BRUSSEAU et. al, 2019). Os combustíveis marítimos tipo bunker contém alto teor de enxofre que na combustão resultam em emissões de SO_x nas operações de navios. O níquel é um dos metais utilizados como indicadores de emissão de material particulado fino de navios (AGRAWAL et. al, 2009; LIN et al., 2018) Na RMGV, por haver um complexo portuário que se organiza próxima a região onde a população habita, é

importante saber mais precisamente o impacto dessas fontes. A utilização do Aermód visou avaliar as emissões de navios, por meio de uma ferramenta acessível, quanto ao impacto na qualidade do ar da região bem como uma estimativa da contribuição das emissões de navios nas concentrações dos poluentes em questão na região, analisando as concentrações médias e comparando aos padrões de qualidade estabelecidos. Há poucos estudos combinando metodologias mais detalhadas de emissões de navios, utilizando informações disponíveis dos navios, com o modelo AERMOD, não havendo nenhum publicado referente a alguma região portuária do Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto das emissões de NO_x, SO_x e Ni originadas pela movimentação de embarcações na qualidade do ar em uma região metropolitana portuária.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e caracterizar as embarcações que circularam na região de estudo;
- Calcular as taxas de emissões por movimentação de navios, adotando metodologia de estimativa *bottom-up* de consumo de combustível individual de navio;
- Comparar as emissões atmosféricas dos navios estimadas com outras regiões portuárias do Brasil e do mundo;
- Alocar as emissões atmosféricas no espaço e no tempo, utilizando informações sobre o tráfego de navios e as localizações geográficas;
- Avaliar os impactos na qualidade do ar da RMGV relativos às emissões dos navios utilizando o modelo gaussiano AERMOD.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Esse capítulo está dividido em duas seções das quais a primeira (Seção 3.1) tem o objetivo de apresentar os fatores que influenciam nas emissões de navios e as metodologias que são internacionalmente utilizadas para estimar as mesmas. A segunda seção (Seção 3.2) mostra estudos correlatos em regiões costeiras portuária no Brasil e no mundo. A terceira seção (seção 3.3) traz um levantamento dos modelos utilizados para avaliar impactos os impactos das emissões de navio na qualidade do ar de regiões costeiras e portuárias.

3.1. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE NAVIOS

MIOLA & CIUFFO (2011) resumiram as metodologias que vêm sendo usadas para estimar as emissões atmosféricas de navios em quatro modelos, dependendo se a avaliação das emissões é *top-down* ou *bottom-up*, e se a caracterização geográfica das emissões é *top-down* ou *bottom-up*:

- Primeiramente, em uma abordagem *top-down*, as emissões totais são calculadas sem considerar as características de cada embarcação e são, após o cálculo, geograficamente localizadas e atribuídas aos diferentes tipos de navios. Os primeiros estudos sobre emissões de navios adotaram essa abordagem e usaram estatísticas internacionais de uso de combustível marítimo para estimar as emissões dos navios, mas os resultados dessa abordagem foram posteriormente considerados não confiáveis;
- Na segunda abordagem, *bottom-up*, os poluentes atmosféricos emitidos por um navio em uma posição específica são calculados. Agregando essas estimativas ao longo do tempo e sobre a frota fornece uma estimativa do total de emissões;
- Na terceira abordagem, utiliza-se um modelo que é *bottom-up* nas avaliações das emissões totais e *top-down* na sua caracterização geográfica. Nesta abordagem, a agregação das emissões produzidas por todos os navios fornece uma estimativa do total de emissões que são então caracterizadas geograficamente com base em suposições, atividades de navios ou células geográficas únicas. Uma abordagem relativamente recente é usar os dados do sistema de identificação automática (*Automatic Identification System - AIS*) para refinar os dados marítimos;
- A quarta abordagem é *top-down* na avaliação do total de emissões mais *bottom-up* na caracterização geográfica. Nesta abordagem, a atividade global realizada dentro de uma

única rota marítima ou de uma única célula geográfica é avaliada. As emissões de células individuais são agregadas para calcular as emissões totais e as premissas são feitas para atribuir as emissões totais aos diferentes navios.

GUTIÉRREZ et al. (2015) avaliaram as estimativas de emissões de navios utilizando fatores de emissão provenientes de nove diferentes inventários de emissões de navios por consumo de combustível. Segundo os autores muitos inventários publicados nos últimos anos ainda apresentam controvérsias e não são universalmente aceitos. As estimativas de emissões por navios podem ser mais apuradas quanto maior detalhamento de informações da frota circulante na região e período de estudo houver. Essas informações devem levar à quantidade de combustível consumido na região. Portanto, as emissões podem ser estimadas utilizando (EEA, 2016):

- Quantidade de combustíveis vendidos para navegação na região;
- Ou por meio de registros dos navios e dos tempos gastos nas etapas de atracação, manobra, espera e *cruise*.

Para o caso da estimativa por combustíveis vendidos, regiões com tráfego internacional de navios apresentariam estimativa subquantificada, pois a estimativa só quantificaria emissões oriundas dos combustíveis vendidos na região e não as de parte da frota circulante que abasteceram em outras regiões. São utilizados fatores de emissão para cada poluente, que podem ser estabelecidos por tipo de embarcação, tipo de motor, tipo de combustível utilizado, etapa em que o navio se encontra, idade da embarcação entre outras informações. As etapas dos navios, quando se aproximam dos portos, se dividem, em geral, em: aproximação dos navios até a atracação; atracação (enquanto realiza suas atividades no porto); partida do porto; e *cruise*. Nessa ordem, o navio começa a desacelerar e termina no momento da atracação. Após realizar as atividades atracado, parte do porto até atingir a velocidade de propulsão na etapa *cruise* (TROZZI, 2006). Os navios podem permanecer nas áreas de fundeio aguardando (tempo de espera) o momento de atracarem nos berços.

Os métodos de estimativa das emissões de navios podem envolver caracterizações importantes na precisão da estimativa, sendo as principais o tipo de embarcação (Subseção 3.1.1), o tipo de motor da embarcação (Subseção 3.1.2) e o tipo de combustível utilizado pela embarcação (Subseção 3.1.3).

3.1.1. Tipos de embarcação

As embarcações podem ser divididas em (EEA, 2016; USEPA, 2009):

- Embarcações oceânicas que compreendem os navios contêineres, tanques, de carga sólida e líquida, cruzeiros, ro-ro, de transporte de veículos, entre outros;
- Embarcações portuárias, podendo citar os rebocadores, barcas, navios de excursão, navios pesqueiros e de dragagem;
- Embarcações recreacionais que englobam barcos, iates, barcos à vela, entre outros.

3.1.2. Tipos de motores de embarcações

Os motores marítimos a diesel são os principais meios de geração de energia para propulsão ou auxiliar das embarcações, conforme a análise da frota mundial por TROZZI (2010). Pequena porcentagem apenas é composta por turbinas a vapor e turbinas a gás. De acordo com a EEA (2016), os motores a diesel são categorizados em motores de:

- **Baixa rotação:** atingem até 300 rpm de rotação, embora a maioria opere entre 80 e 140 rpm. Geralmente operam em ciclo de dois tempos com 4 a 12 cilindros, sendo os modelos atuais capazes de desenvolver até 4000 kW/cilindrada. Esses motores são adotados exclusivamente como motores principais (para propulsão);
- **Média rotação:** a máxima rotação que atingem é entre 300 a 900 rpm, geralmente operando em ciclo de quatro tempos com até 12 cilindros em linha ou 20 cilindros em “V”, sendo os modelos atuais capazes de desenvolver entre 100 e 2000 kW/cilindrada. Tais motores podem ser usados tanto como motores principais quanto como motores auxiliares;
- **Alta rotação:** atingem máximas rotações maiores que 900 rpm, sendo usados em embarcações menores como motores auxiliares.

As turbinas a vapor são máquinas térmicas nas quais a energia termodinâmica contida no vapor é convertida em trabalho (energia mecânica). Essas turbinas têm sido substituídas pelos motores a diesel que são mais eficientes e mais baratos de se operar. As turbinas a gás são tradicionalmente mais encontradas em navios de guerra, estando em uma pequena parcela da frota, geralmente instaladas juntamente com motores a diesel. Além disso, os poluentes atmosféricos emitidos por navios são provenientes das combustões nos motores principais, utilizados na propulsão, e nos motores auxiliares que fornecem energia para os serviços necessários na embarcação (EEA, 2016).

3.1.3. Tipos de combustíveis marítimos

Os combustíveis marítimos são aqueles destinados ao uso em motores de embarcações tanto na propulsão, como em motores auxiliares. Podem ser classificados em destilados intermediários (óleos diesel marítimos) e residuais (óleos combustíveis marítimos). Quando a produção, ocorre a partir de frações pesadas da destilação do petróleo e de outros óleos diluentes forma-se o óleo residual bunker (MF ou, do termo em inglês, *bunker fuel oil*, BFO). Porém, quando o óleo é produzido de frações mais leves do processo de refino, tem-se o Diesel Marítimo (DMA ou do termo inglês *marine gasoil*, MGO) (PETROBRAS, 2014).

Ambos óleos combustíveis marítimos (BFO e MGO) são utilizados em motores principais nos sistemas de propulsão de navios de grande porte. Nessas embarcações, o Diesel Marítimo é utilizado prioritariamente, nos sistemas auxiliares de geração de energia ou de emergência. Entretanto, em embarcações de médio e pequeno porte, o MGO pode ser utilizado em motores principais de propulsão (PETROBRAS, 2014).

Com relação ao teor de enxofre, para óleos residuais, a Resolução nº 52 de 2010 da ANP indica um valor de 3,5%, enquanto que para destilados esse limite é de 0,5%. A ISO 8217:2012, que traz especificações sobre combustíveis marítimos, recomenda a adoção de valores indicados pela IMO, que variam de acordo com a área de circulação da embarcação. Para óleos residuais, em áreas internacionais o teor pode variar de 3,5% a 1 e em áreas de controle de emissão deve ser de 0,1%. No caso dos destilados, a norma ISO indica um limite máximo de 1,5% (PETROBRAS, 2014; IMO, 2018).

3.1.4. Fase da movimentação de embarcações

Os tipos de operação e o tempo gasto nos portos variam para cada porto ou terminal portuário, resultando em diferentes emissões. O tempo gasto atracado é geralmente maior quando comparado ao tempo em *cruise*, resultando em maior contribuição para a poluição do ar. A manobra para atracação ou desatracação é considerada a etapa que menos contribui para poluição do ar, por ser comumente um tempo menor demandado (TICHAVSKA et. al, 2017).

3.1.5. Estimativa proposta pela USEPA

A USEPA propõe estimar as emissões por navios da frota dos Estados Unidos, dividindo as metodologias para duas categorias:

- Embarcações com motores a diesel marítimo e deslocamento por cilindro de no mínimo 30 litros (Categoria 3);
- Embarcações com motores a diesel marítimo e deslocamento por cilindro de menos de 30 litros (Categorias 1 e 2).

Para quantificar as emissões próximas aos portos, foram divididos em quatro modos: atracação (incluindo a espera), manobra, zona de velocidade reduzida e *cruise*, sendo a equação básica utilizada:

$$Emissões_{modo [motor]} = chamadas \times (P_{motor}) \times (horas/chamada_{modo}) \times (FC_{modo [motor]}) \times (FE_{motor}) \times Ajuste \times (10^{-6} ton/g) \text{ (Equação 1)}$$

na qual:

Emissões_{modo [motor]}: emissão por modo e tipo de motor, em toneladas;

chamadas: número de navios que chegaram na região;

P_{motor}: potência total do motor por tipo de motor, em quilowatts;

horas/chamada_{modo}: horas por chamada por modo;

FC_{modo [motor]}: fator de carga por modo e tipo de motor (adimensional);

FE_{motor} : fator de emissão por tipo de motor para cada poluente, em g/kwh (varia com o tipo de motor e combustível usado);

Ajuste: fator de ajuste para carga baixa, adimensional (usado quando o fator de carga está abaixo de 0,20);

10^{-6} ton/g : fator de conversão de gramas para toneladas.

O Fator de Carga é dado por:

$$FC_{modo} = \left(\frac{Velocidade_{modo}}{Velocidade\ Máxima} \right)^3 \text{ (Equação 2)}$$

3.1.6. Estimativa proposta pelo IPCC

IPCC propõe duas metodologias para estimar as emissões dos gases de efeito estufa CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano) e N₂O (óxido nitroso), por meio da aplicação de fatores de emissão nas atividades de consumo de combustível:

- Método 1: utiliza informações sobre a quantidade dos combustíveis usados para navegação na região;
- Método 2: utiliza informações sobre tipo de embarcações, tipo de combustível e tipo de motor.

O Guia do IPCC apresenta duas abordagens (Níveis 1 e 2) que utilizam dados de consumo de combustível. O Nível 1, porém, não utiliza tipo de combustível ou tipo específico de motor para gases que não o CO₂ (CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVNM_s e SO₂). O Nível 2 exige que cálculos sejam realizados com alguma especificidade, seja do combustível ou do veículo, e em alguns casos, do tipo de motor. A equação base é dada que:

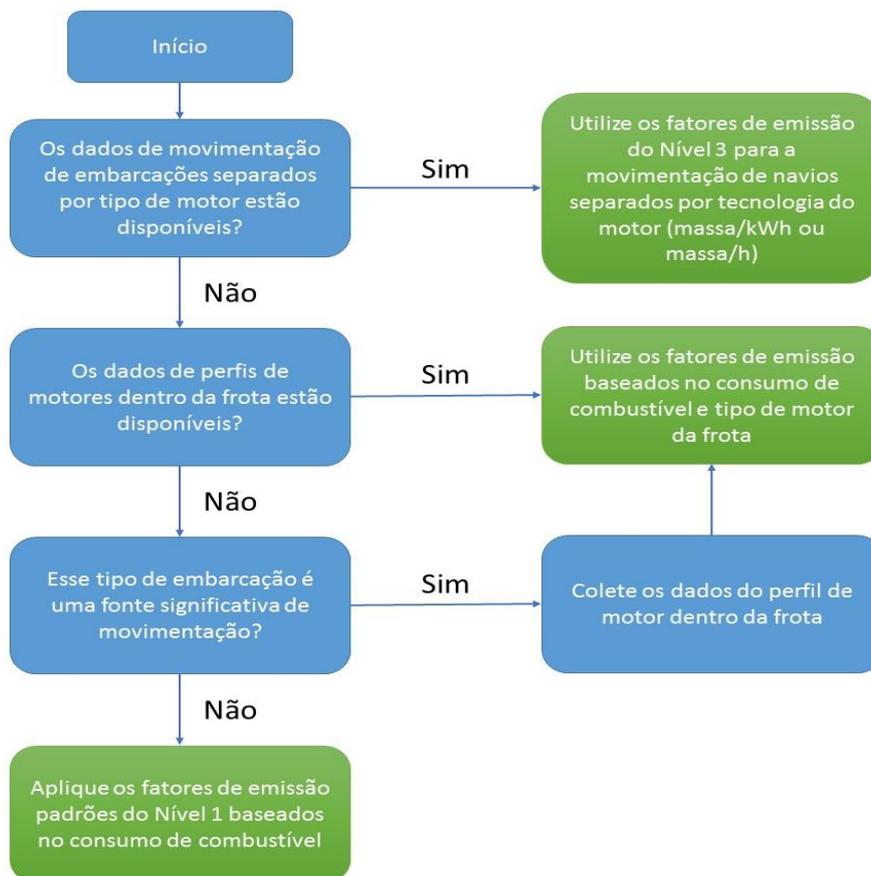
$$\text{Emissão} = \text{Consumo de combustível} \times \text{Fator de emissão} \text{ (Equação 3)}$$

Os métodos propostos são aplicados separadamente para navegações domésticas (aquelas realizadas de um porto a outro do mesmo país) e internacionais (as realizadas entre portos de países diferentes).

3.1.7. Estimativa proposta pela EEA

A EEA propõe três categorias de métodos de estimativa baseados no fluxograma na Figura 1 a seguir:

Figura 1: Fluxograma de decisão para escolha do método de quantificação das emissões.



Fonte: EEA (2016) adaptado.

O objetivo desse fluxograma é direcionar o uso de informações detalhadas ao máximo possível e, quando a categoria de embarcação for uma das principais fontes, então as abordagens do Nível 2 ou Nível 3 devem ser utilizadas para estimar as emissões. Observa-se ainda que, para todas fontes, a divisão entre navegação nacional (doméstica), navegação internacional, de pesca

e militar deve ser realizada. Essa distinção é geralmente determinada pelas estatísticas nacionais.

3.1.8. Sistema Automático de Identificação

Automatic Identification System (AIS), Sistema Automático de Identificação, é um sistema designado para providenciar automaticamente informações sobre embarcações a outras embarcações e autoridades das zonas costeiras. O IMO estabelece que tal sistema deve constar em todas as embarcações de pelo menos 300 de tonalagem bruta (variável adimensional relacionado às dimensões físicas de uma embarcação) que realizam viagens internacionais, em navios de carga de pelo menos 500 de tonalagem de bruta que não realizam viagens internacionais e todos os navios de passageiros. O AIS providencia informações como identidade da embarcação, tipo, posição, direção, velocidade (IMO, 2018).

Há modelos de emissão que utilizam as informações do sistema AIS, como:

- **O modelo STEAM:** *Ship Traffic Emission Assessment Model* ou Modelo de Avaliação de Emissão de Tráfego de Navios foi desenvolvido pelo *Finnish Meteorological Institute* (FMI) – em português, Instituto Meteorológico Finlandês – e utiliza dados de monitoramento do tráfego de navios em tempo real, por meio das informações do AIS, para trazer um inventário de emissões dinâmico que reproduz as mudanças de rota e operação das embarcações (FMI, 2018);
- **O modelo STEEM:** *Ship Traffic, Energy and Environment Model* ou Modelo Ambiental e Energético de Tráfego de Navios foi desenvolvido para prever as rotas de movimentação das embarcações entre portos, utilizando séries históricas das posições das embarcações. Baseado nos comprimentos dos segmentos, características das embarcações, algoritmo de estimativa das emissões, calcula-se o número de viagens, quantitativo de emissão por segmento, produzindo-se um inventário de emissões (WANG et al., 2007).

3.1.9. Trabalhos correlatos sobre estimativa de emissão de poluentes por navios

De acordo com o levantamento realizado por MERK (2014), havia até o momento da publicação estudos limitados sobre emissões atmosféricas globais de navios que abrangiam emissões nos portos, não somente emissões no tráfego. O autor cita como exemplos os estudos feitos por ENTEC (2002) e DALSOREN et al. (2008), que tiveram importância, mas apresentavam relativa limitação ou inexatidão das informações, como a falta de precisão nos tempos de permanência nos portos. Em contrapartida, havia uma quantidade considerável de estudos de caso em portos e cidades portuárias, mas aplicando uma variedade de diferentes metodologias e definições que dificultavam a comparação entre si, uns com cálculo baseado na quantidade de combustível consumida e outros na atividade do navio (englobando as horas gastas nas etapas de atracação, manobra, etc.). Em resumo os trabalhos estão organizados no Quadro 1.

Quadro 1: Estudos sobre emissões de navios em portos e regiões portuárias e os métodos utilizados para a quantificação das emissões.

PORTO	MÉTODO	FONTES DE EMISSÃO	REFERÊNCIA
Hong Kong (China)	Atividade (AIS)	Navios em águas territoriais	YAU et al. (2012)
Hong Kong (China)	Atividade (AIS)	Navios em águas territoriais	NG et al. (2013)
Shangai (China)	Atividade	Navios e barcas de navegação	YANG et al. (2007)
Yangshan (China)	Atividade (AIS)	Embarcações em região portuária	SONG (2014)
Busan (Coreia)	Atividade	Embarcações em região portuária	SONG & SHON (2014)
Busan (Coreia)	Atividade	Embarcações, equipamentos, caminhões e trens	SHIN & CHEONG (2011)
Incheon (Coreia)	Atividade	Embarcações, equipamentos, caminhões e trens	HAN et al. (2011)
Kaohsiung (Tapei)	Atividade	Embarcações e caminhões na região portuária	BERECHMAN & TSENG (2012)
Kaohsiung (Tapei)	Capacidade de carga e tempo de atividade	Embarcações comerciais	LIU et al. (2014)
Klaipeda (Lituânia)	Atividade	Navios	ABRUTYTE et al. (2014)
Taranto (Itália)	Monitoramento da qualidade do ar	Atividade marítima, industrial e tráfego urbano	GARIAZZO et al. (2007)
Ravenna (Itália)	Consumo de combustível	Embarcações na região portuária	LUCIALLI et al. (2007)
Veneza (Itália)	Consumo de combustível	Navios na região portuária	TROZZI et al. (1996)
Veneza (Itália)	Monitoramento da qualidade do ar	Embarcações na região portuária	CONTINI et al. (2011)
Ambarli (Turquia)	Atividade	Embarcações na região portuária	DENIZ & KILIC (2009)
Izmir (Turquia)	Atividade	Embarcações na região portuária	SARAÇOGLU et al. (2013)
Barcelona (Espanha)	Atividade	Embarcações e outras fontes	VILLALBA & GEMECHU (2011)
Piraeus (Grécia)	Consumo de combustível e atividade	Embarcações na região portuária	TZANATTOS (2010)

Fonte: MERK (2014) adaptado.

Atualmente tem sido usado informações registradas pela tecnologia AIS para se obter resultados mais precisos de emissões de navios. COELLO et al. (2015) estimaram as emissões

da frota de navios pesqueiros por metodologia baseada em atividade, utilizando informações obtidas via AIS. MARELLE et al. (2016) realizaram estudo sobre emissões de navios no Ártico e os impactos na qualidade do ar no norte da Noruega. Os autores utilizaram a segunda versão do modelo STEAM, avaliado com medições em campanhas de monitoramento por via aérea. TCHAVSKA & TOVAR (2015) também modelaram pelo STEAM, aplicando seus resultados em avaliação de parâmetros de eco-eficiência e custos do porto em estudo. AULINGER et al. (2016) combinou metodologia *bottom-up*, adaptando os fatores de carregamento dos navios aos fatores de emissão através de funções e não de valores médios e utilizando tais funções às atividades dos navios, derivadas dos registros horários das informações AIS.

3.2. TRABALHOS CORRELATOS SOBRE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DAS EMISSÕES DE NAVIOS UTILIZANDO MODELOS DE QUALIDADE DO AR

Há vários trabalhos sobre a poluição atmosférica causada por navios, muitos sobre a quantificação das emissões e, mais recentemente, outros que englobam também o uso de modelos de qualidade do ar e monitoramento, proporcionando mais formas de analisar os impactos dessas emissões na qualidade do ar de região costeiras, portos e cidades portuárias. Por meio do monitoramento de concentrações de poluentes é possível estimar o impacto dessas emissões, tal como no trabalho feito por CONTINI et al. (2015) que avaliaram o impacto do tráfego de navios turísticos nas concentrações de $MP_{2,5}$ na região urbana de Veneza (Itália), constatando picos das concentrações nas medições realizadas, ao se observar navios em operação próximos ao monitoramento. Já ABRUTYTE et al. (2014) simularam a dispersão de NO_x utilizando o modelo AERMOD emitido do tráfego de navios no porto de Klaipeda (Lituânia). O total emitido de 945,6 toneladas de NO_x contribui para as concentrações urbanas do poluente, variando de acordo com as estações do ano e condições meteorológicas. AULINGER et al. (2016) determinou a contribuição do tráfego de navios na qualidade do ar da região do Mar Norte combinando inventários de emissões precisos (por meio de informações via AIS) com modelos avançados de transporte químico tridimensional (*Chemistry Transport Model – CTM*), nesse caso o modelo utilizado foi o desenvolvido pela USEPA, chamado de CMAQ (*Community Multi-scale Air Quality*). Tal modelo importa as emissões e utiliza dados meteorológicos (velocidade e direção dos ventos, radiação, temperatura, entre outros) para simular o transporte e as transformações químicas de poluentes na atmosfera.

PEREZ et al. (2016) estimaram os impactos das emissões de MP_{10} e $MP_{2,5}$ por meio da técnica da determinação quantidade de fontes (*source apportionment*). Os autores utilizaram informações de um ano de campanha de monitoramento no modelo receptor que utiliza o Método de Fatoração Positiva (*Positive Matrix Factorization*), observando que o tráfego marítimo contribui para o aumento da concentração de SO_2 , compostos orgânicos e elementos traços como vanádio e níquel.

3.3. MODELO AERMOD

Segundo HANNA *et al.* (2001), o modelo AERMOD é um modelo estacionário de pluma gaussiana desenvolvido de um projeto científico cooperativo entre a Sociedade de Meteorologia dos Estados Unidos (*American Meteorological Society, AMS*) e a USEPA. A formulação matemática e as características técnicas do AERMOD são descritas por CIMORELLI *et al.* (2004). PAINE *et al.* (1998) apresentam algumas avaliações do modelo, utilizando dados observados em campo.

O sistema computacional usado para a simulação da dispersão dos poluentes consiste em um programa principal, o AERMOD, e dois pré-processadores AERMET e AERMAP (EPA, 2004a; 2004b; 2004c). O AERMET, segundo EPA (2004b), consiste em um pré-processador de dados meteorológicos. O processamento dos dados meteorológicos ocorre em três estágios distintos: o primeiro deles consiste na extração dos dados do arquivo de dados meteorológicos e em seu processamento. Em seguida, o AERMET agrupa os dados disponíveis em períodos de 24 horas e grava em um único arquivo. Finalmente, o terceiro estágio consiste na leitura dos dados agrupados e na estimativa dos parâmetros da camada limite necessários para o AERMOD. A principal função do AERMET é a determinação dos parâmetros da camada limite para posterior uso pelo AERMOD, que utiliza estes parâmetros para gerar o perfil de variáveis meteorológicas necessário à simulação da dispersão dos poluentes. São fornecidas ao AERMET características de superfície como reflexibilidade (albedo), rugosidade da superfície e informações de observações meteorológicas, tais como: velocidade e direção do vento, temperatura e cobertura de nuvens. O AERMET calcula os parâmetros da camada limite: velocidade de fricção, comprimento de Monin-Obukhov, escalas de velocidade convectiva e de temperatura, altura de mistura e fluxo de calor. Estes valores são passados à interface meteorológica do AERMOD através de dois arquivos: *aermet.pfl* e *aermet.sfc*, utilizados na

determinação do perfil vertical de velocidades do vento, do coeficiente de turbulência vertical e lateral e do gradiente de temperaturas, utilizados pelo AERMOD no processo de cálculo da dispersão atmosférica de poluentes (EPA, 2004a). O AERMET pode processar vários formatos diferentes de dados, como, por exemplo, os formatos CD144 (Card Deck 144 format), SCRAM (*Support Center for Regulatory Models*) e SAMSON (*Solar and Meteorological Surface Observation Network*). Informações sobre os referidos formatos podem ser obtidas em EPA (2004a). Já o pré-processador AERMAP faz o pré-processamento dos dados de terreno e de localização das fontes e receptores para posterior uso pelo AERMOD. As principais funções do AERMAP são a determinação da elevação da base das fontes e dos receptores, fornecendo estas informações ao AERMOD para posterior determinação da concentração de poluentes (EPA, 2004c). O AERMAP requer dois tipos de dados de entrada: a localização das fontes e dos receptores e um arquivo com os dados de terreno. É programado, ainda, para ler apenas o formato DEM, que é disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey, USGS*) (EPA, 2004c).

4. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está centralizada na baía de Vitória, foco das movimentações dos navios e embarcações, localizada na parte litorânea da RMGV, no estado do Espírito Santo (ES), no litoral sudeste do Brasil. O ES abrange uma área de 46.086,91 km² e é composto por uma população estimada em mais de 4 milhões de habitantes. A RMGV concentra quase a metade (48,8%) da população estadual, ocupando apenas 4,8% da área total (IBGE, 2017). Banhado ao leste pelo oceano Atlântico, apresenta uma costa propícia à atividade portuária, com muitas instalações portuárias, administradas pela Companhia Docas do Espírito Santo (CODESA) ou por empresas particulares. No Espírito Santo, mais de 135 milhões de toneladas de cargas foram movidas em 2017 no complexo portuário que se encontra na costa do Estado, sobretudo na baía de Vitória, o que significa mais de 13% das movimentações de todo o país (ANTAQ, 2018).

De acordo como Relatório Anual de Qualidade do Ar do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) de 2017, a RMGV é uma região urbana altamente industrializada em processo de expansão, sendo a qualidade do ar afetada pela emissão de poluentes provenientes de fontes tais como veículos automotores, grandes empreendimentos industriais, do setor de logística (complexo portuário e aeroporto), entre outras. IEMA (2017) informa que por meio da RAMQAr e pela rede manual de monitoramento de poeira sedimentável, é feito o monitoramento da qualidade do ar e das condições meteorológicas na região. As estações da rede estão localizadas em quatro dentre os sete municípios da RMGV, sendo composta por 9 estações de monitoramento da qualidade do ar localizadas nos bairros Jardim Camburi, Enseada do Suá e Centro (Vitória), Vila Capixaba (Cariacica), Ibes e Centro (Vila Velha), Laranjeiras, Carapina e Cidade Continental (Serra). São monitorados os poluentes regulamentados no Decreto Estadual nº 3.463-R¹, sendo eles: PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}, SO₂, NO_x, CO e O₃ (Ozônio), além de poluentes não regulamentados pelo Decreto, sendo Hidrocarbonetos Totais (HCT) e não metano (HCNM). Além dos dados de qualidade do ar são monitorados parâmetros meteorológicos, como direção e velocidade do vento, temperatura, umidade relativa, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação.

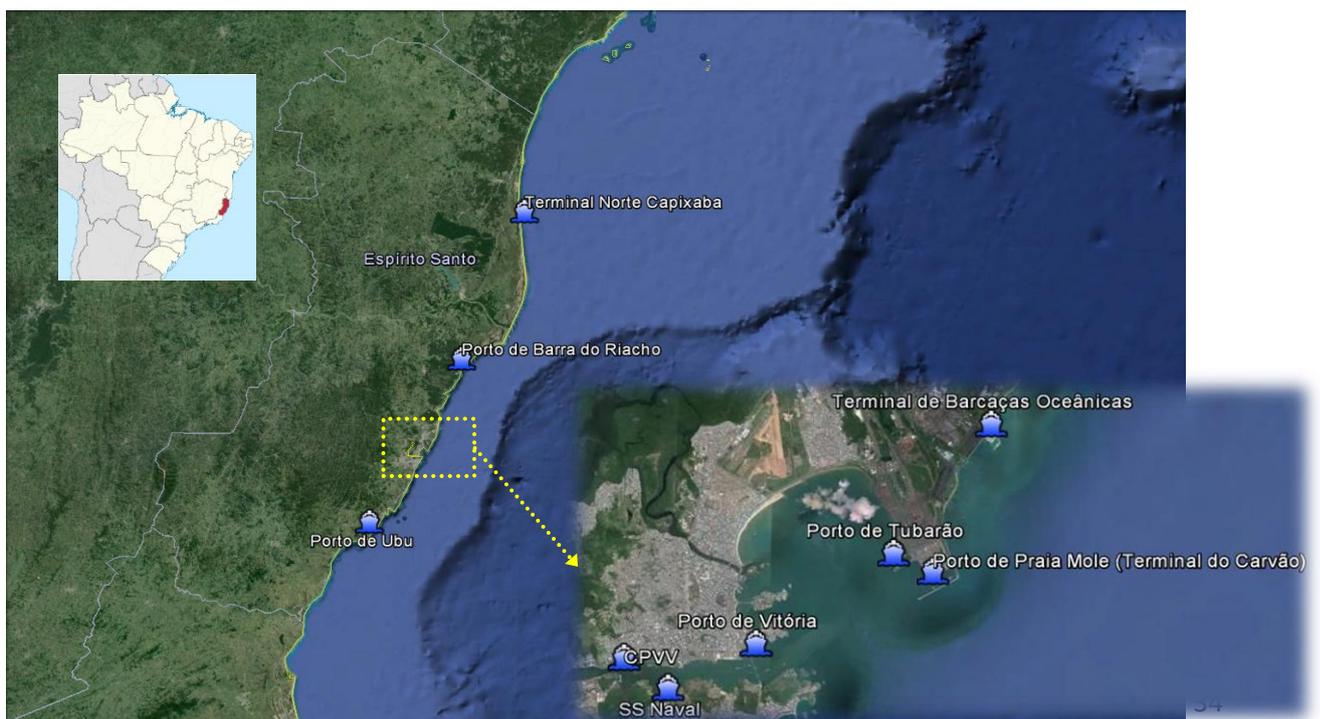
Quanto às características climatológicas, IEMA (2017) relata que a RMGV apresenta clima tropical quente, com inverno ameno e seco, e verão chuvoso e quente. O período quente se

¹Fonte: https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/Documentos/DECRETO_N%C2%BA_3463_2013.pdf

estende aproximadamente de outubro a abril, com maior intensidade em dezembro e janeiro. No inverno, a temperatura média mensal mais baixa ocorre em julho, sendo a sensação de frio verificada esporadicamente quando há ocorrência de frentes frias.

No último inventário de emissões atmosféricas publicado pelo IEMA (2019), as emissões dos poluentes MP, MP₁₀, MP_{2,5}, NO_x, SO₂, CO e COV pelas atividades de logística (que abrangeram os portos e o aeroporto na região) em 2009 representaram percentual inferior a 10% das emissões totais de todas as principais atividades na RMGV, neste caso, englobando os municípios de Cariacica, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória. No entanto, o memorial de cálculo do inventário da RGMV apresentou a quantificação de emissões dos navios somente nas etapas de atracação e manobra, desconsiderando a etapa de cruzeiro e tráfego dos navios na costa, desconsiderando o tipo de navio. Além disso, foram adotados tempos constantes (tempos médios) de atracação e manobra, resultando em consumo de combustível constante por categoria de navio inventariada. A Figura 2 traz a localização da região de estudo e dos portos e terminais portuários do ES. A região de estudo se concentra nos portos e terminais portuários que se encontram na região em destaque. O Quadro 2 apresenta algumas informações sobre os que se concentram na região de estudo. As informações da Figura 2 e do Quadro 2 foram utilizadas para alocar as fontes consideradas pontuais do estudo. As estações da RAMQAr estão representadas na Figura 3.

Figura 2: Localização dos portos e terminais portuários do Espírito Santo.



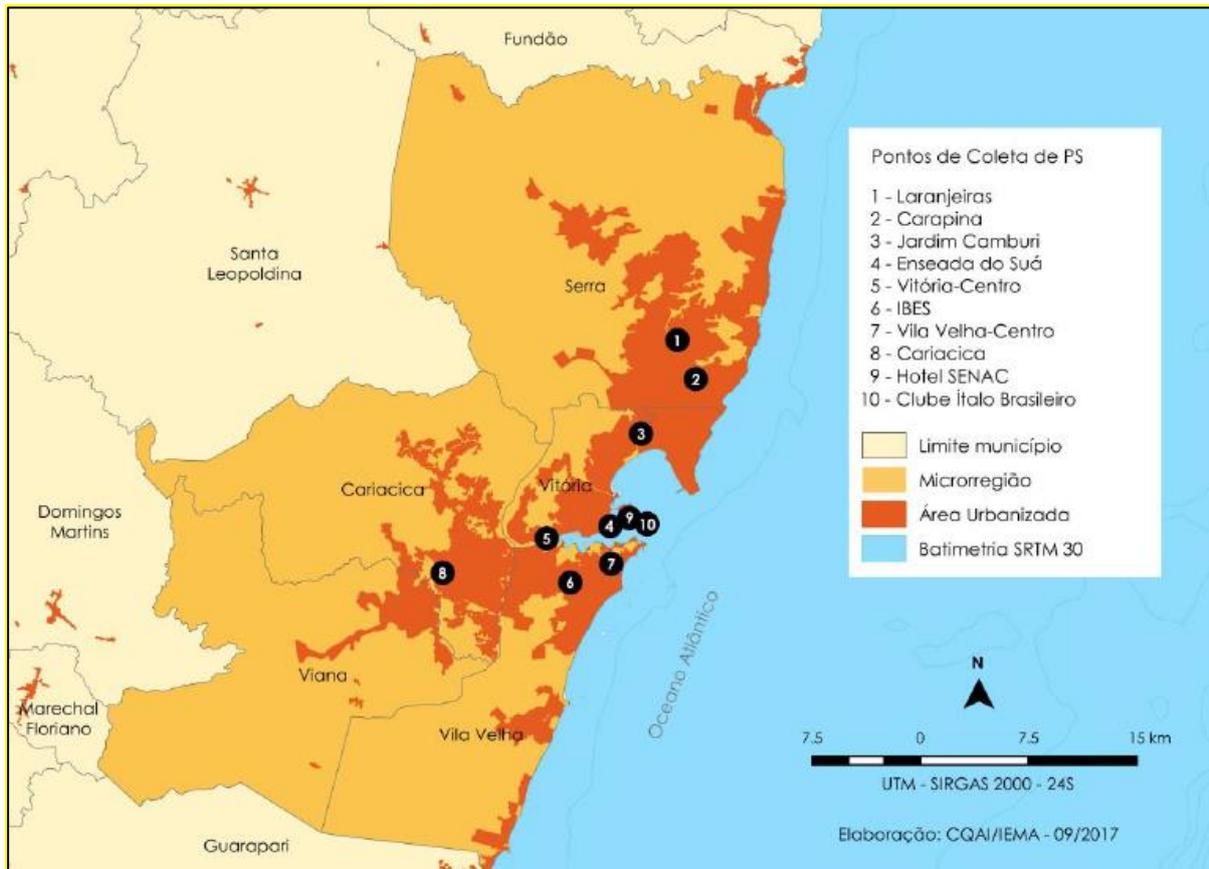
Fonte: elaborada pelo próprio autor utilizando Google Earth (2018).

Quadro 2: Principais portos e terminais portuários do complexo portuário espírito-santense.

Porto	Cais / Berços / Terminais		Localidades
Porto de Vitória (CODESA, 2017)	Cais de Vitória com 04 berços (101, 102, 103 e 104)		Vitória / Vila Velha
	Cais de Capuaba com 04 berços (201, 202, 203 e 204), sendo que os berços 203 e 204 compõem o Terminal de Vila Velha		
	Cais de Paul com 02 berços (206 e 905), sendo o 206 pertencente à empresa Peiú		
	Terminal de Aribiri (berço 903)		
	Dolphins de Paul (berço 207)		
	Terminal de São Torquato (berço 902)		
	Terminal da Ilha do Príncipe (berço 906)		
Terminal de Bento Ferreira (berço 909)			
Porto de Tubarão (VALE, 2017)	Terminal de Minério de Ferro e Carga Geral de Tubarão	Terminal de Tubarão (TU) -03 píeres (1 - Norte, 1 - Sul e 2) e 01 cais de rebocadores (próximo ao píer 2)	Vitória, lado norte da baía do ES, ponta de Tubarão
		Terminal de Produtos Diversos (TPD) - Terminal de Granéis Líquidos (TGL) - 01 píer (5)	
		TPD -02 píeres (3 e 4)	
	Terminal Portuário de Praia Mole (TPM)	01 píer -02 berços (1 e 2)	
Companhia Portuária de Vila Velha (CPVV, 2017)	04 Berços		Vila Velha
Terminal de Barcaças Oceânicas (ARCELORMITTAL, 2017)	--		Serra
Terminal Portuário da Glória (ANTAQ, 2013)	--		Vila Velha

Fonte: elaborada pelo próprio autor (2017).

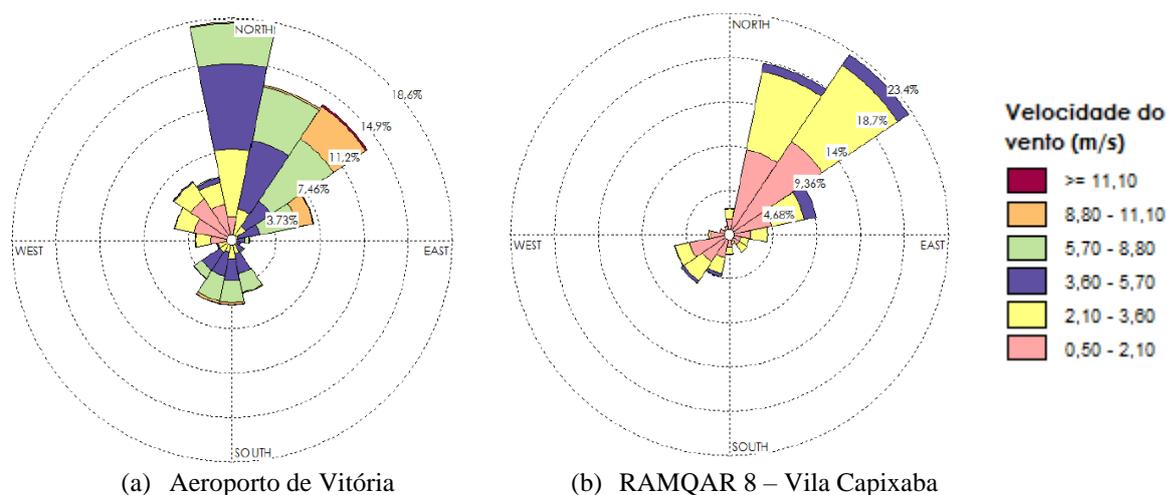
Figura 3: Estações da RAMQAR na RMGV (ES).



Fonte: Relatório da Qualidade do Ar da RMGV (2015)

O Relatório de Qualidade do Ar da RMGV de 2015 traz informações sobre os parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar na região. A Figura 4 são apresentados gráficos de rosa dos ventos em dois pontos onde houveram dados válidos no ano: a estação do Aeroporto e a estação da Vila Capixaba. A primeira indica predominância de ventos oriundos da direção Norte. Já a segunda estação indica predominância de ventos da direção Nordeste.

Figura 4: Rosas anuais dos ventos da RMGV.



Fonte: Relatório da Qualidade do Ar da RMGV (2015).

Quanto às regulamentações qualidade do ar na região de estudo, há em vigor a Resolução nº. 491, publicada em 2018 pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), onde estão estabelecidos os padrões de qualidade do ar em 04 etapas a serem atingidas (Prazos Intermediários e Final – PI-1, 2 e 3 e PF), cujos limites estão esquematizados na Tabela 1.

Tabela 1: Limites de concentração dos padrões de qualidade do ar propostos em 2018 pelo CONAMA.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

¹ - média aritmética anual; ² - média horária; ³ - máxima média móvel obtida no dia; ⁴ - média geométrica anual; ⁵ - medido nas partículas totais em suspensão.

Fonte: CONAMA (2018).

Na região de estudo, há o Decreto Estadual nº. 3463-R de 2013 que estabelece padrões mais restritivos que a legislação nacional, incluindo também outros poluentes. Na Tabela 2, constam os padrões de qualidade do ar estipulados também por etapas (Metas Intermediárias e Padrões Finais – M1, 2 e 3 e PF).

Tabela 2: Limites de concentração dos padrões de qualidade do ar propostos em 2013 pelo Decreto Estadual nº. 3463-R .

Poluente Atmosférico	Período de Referência	MI-1	MI-2	MI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	80 ¹	60 ¹	50 ¹	-
	Anual	45	33	25	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	- ³	50	37	25	-
	Anual	- ³	20 ¹	15 ¹	10 ¹	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	60	40	30	20	-
	Anual	40 ¹	30 ¹	20 ¹	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora	240	220	210	200	-
	Anual	50 ¹	45 ¹	42 ¹	40 ¹	-
Ozônio - O ₃	8 horas	140	120	110	100	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas	-	-	-	-	10000
	1 hora	-	-	-	-	30000
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	180	170	160	150	-
	Anual	65 ²	63 ²	62 ²	60 ²	-
Poeira Sedimentável - PS	30 dias	14	-	-	-	-

¹ - média aritmética anual; ² - média geométrica anual; ³ - para concentrações médias aritméticas anuais após 04 anos de medição.

Fonte: IEMA (2013).

Os padrões de qualidade do ar nas Tabelas 1 e 2 foram utilizados para analisar as concentrações obtidas nos cenários de concentrações simulados no modelo AERMOD.

5. METODOLOGIA

Neste capítulo estão descritas as metodologias utilizadas no estudo, dividido em 5 seções principais. A Seção 5.1 descreve os meios utilizados para se obter as informações sobre as embarcações que circularam a região de estudo e os procedimentos para caracterizá-los. A Seção 5.2 discorre sobre a metodologia adotada para elaborar o inventário de emissões atmosféricas das embarcações que trafegaram em 2015 na região de estudo, abrangendo a aquisição e estimativa dos dados e o cálculo das emissões. A Seção 5.3 descreve como foram comparados os resultados obtidos do inventário de emissões com de outras regiões onde foram feitos estudos semelhantes. A Seção 5.4 descreve os procedimentos adotados para alocar as emissões obtidas no espaço e tempo. E finalmente a Seção 5.5 descreve as configurações e detalhamentos do modelo AERMOD, utilizado para simular a dispersão atmosférica dos poluentes emitidos pelas embarcações em 2015 na região de estudo, e a análise dos resultados com base nos dados medidos pelas estações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAr) presente na região, bem como nos valores de padrões de qualidade do ar citados nas Tabelas 1 e 2.

5.1. COLETA DE INFORMAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DA FROTA

Os navios e embarcações que trafegaram com destino aos portos e terminais portuários na região de estudo são registrados pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e foram disponibilizados por meio da Lei nº 12.527/2011 de Acesso à Informação do Brasil, além do Anuário Estatístico disponível no sítio eletrônico da instituição. Os registros continham, para cada navio ou embarcação registrada, o número de registro da IMO, as datas de chegada, de atracação e de desatracação dos navios nos portos e terminais portuários, o nome e código do berço/cais para o qual o navio ou embarcação se destinou, bem como a identificação do porto ou terminal portuário do berço/cais de destino.

A caracterização da tipologia dos navios e embarcações atracados nos terminais na região de estudo foi feita por meio do número de registro do IMO que é único para cada embarcação e permite obter informações específicas, utilizando-o como recurso de identificação em plataformas online de monitoramento da frota marítima, tais como: Marine Traffic (marinetraffic.com), Vessel Finder (vesselfinder.com) e FleetMon (fleetmon.com). Essas

ferramentas online permitem, para cada navio, obter dados como nome da embarcação, bandeira, tipo de embarcação, tonelagem bruta (*gross tonnage*), porte bruto, comprimento de fora a fora, velocidades máxima e média registradas e ano de construção.

Os tipos de combustível e motor utilizados nas embarcações não são informados nos registros obtidos junto à ANTAQ. Logo, tal caracterização foi incluída utilizando dados da Tabela 3 que mostra uma distribuição percentual para cada tipo de motor/combustível em nove categorias de embarcações, baseada na frota mundial de 2010, conforme sugere metodologia da EEA (2016).

Tabela 3: Distribuição percentual relacionando tipologia de navio e motor/combustível usado, para a frota mundial de 2010.

CATEGORIA	DBR MDO/ MGO	DBR BFO	DMR MDO/ MGO	DMR BFO	DAR MDO/ MGO	DAR BFO	TG MDO/ MGO	TG BFO	TV MDO/ MGO	TV BFO
Granéis Líquidos	0,87	74,08	3,17	20,47	0,52	0,75	0	0,14	0	0
Granéis Sólidos	0,37	91,63	0,63	7,29	0,06	0,02	0	0	0	0
Porta-Contêineres	1,23	92,98	0,11	5,56	0,03	0,09	0	0	0	0
Carga Geral	0,36	44,59	8,48	41,71	4,30	0,45	0	0,10	0	0
Ro-Ro	0,17	20,09	9,86	59,82	5,57	2,23	2,27	0	0	0
Passageiros	0	3,81	5,68	76,98	3,68	1,76	4,79	3,29	0	0,02
Pesqueiro	0	0	84,42	3,82	11,76	0	0	0	0	0
Outros	0,48	30,14	29,54	19,63	16,67	2,96	0,38	0,20	0	0
Rebocadores	0	0	39,99	6,14	52,80	0,78	0,28	0	0	0

DBV: Diesel de Baixa Rotação; DMV: Diesel de Média Rotação; DAV: Diesel de Alta Rotação; TG: Turbina a Gás; TV: Turbina a Vapor; MDO/MGO: *Marine Diesel Oil/Marine Gas Oil*; BFO: *Bunker Fuel Oil*.

Fonte: EEA (2016), apud TROZZI (2010).

Assim, para aplicar esses percentuais, foi necessária a categorização dos navios. Esse enquadramento foi feito por análise do tipo AIS e do tipo de embarcação, obtidos nos registros das plataformas online. Ao final do processo de identificação, os percentuais da Tabela 3 foram aplicados aos somatórios dos consumos referentes a cada categoria, obtendo-se, portando, o consumo referente a MGO/MDO e BFO para os variados tipos de motores.

O histórico detalhado das embarcações que atracaram na costa do Espírito Santo, fornecido pela ANTAQ, conta com as datas e os horários de chegada no fundeadouro, atracação e desatracação. A partir dessa análise temporal foram obtidos os tempos de espera e atracação para cada navio.

Os tempos de manobra, porém, não são registrados, tampouco a quantidade de rebocadores empregados quando essa etapa é necessária. No Relatório de Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos do Espírito Santo (NPCP-1/2001) foi possível obter dados médios referentes ao serviço de praticagem para cada terminal. Os terminais portuários da costa do Estado estão inseridos numa única Zona de Praticagem (ZP 14), segundo a jurisdição da Capitania dos Portos, a qual possui um tempo de manobra médio de duas horas (CPES, 2016). Portanto, os tempos de manobra foram estabelecidos em duas horas quando o horário de chegada ao fundeadouro e o horário de atracação diferiam de pelo menos duas horas, sendo o restante determinado como tempo de espera. Nos casos em que a diferença era menor que duas horas, utilizou esse próprio valor de diferença como tempo de manobra, considerando que não houve tempo de espera.

5.2. CÁLCULO DAS EMISSÕES

As emissões foram calculadas utilizando a estimativa do consumo do combustível e, posteriormente, associando-o ao fator de emissão. A Seção 5.2.1 descreve como o cálculo do consumo de combustível foi feito. A Seção 5.2.2 descreve o cálculo das emissões. A Seção 5.2.3 informa os fatores de emissão adotados no cálculo. A Seção 5.2.4 descreve a análise comparativa.

5.2.1. Cálculo do consumo de combustível

Os dados precisos de consumo de combustível, bem como os tipos de combustíveis, não são registrados pelas organizações, sendo, logo, necessário estimar. O método de inventário de emissões de gases de efeito estufa publicado pelo IPCC (2006) fornece uma alternativa a partir da tonelagem bruta da embarcação. A Tabela 4 dispõe as formulações por tipologia de navio, além de valores médios de consumo.

Tabela 4: Fatores de consumo de combustível a potência máxima.

Tipo de Navios	Consumo médio (ton./dia)	Consumo a potência máxima (ton./dia) como função da tonelada bruta (x), onde $f(x)=a+bx$	
		a	B
Granéis Sólidos	33.8	20.186	0.00049
Granéis Líquidos	41.1	14.685	0.00079
Carga Geral	21.3	9.8197	0.00143
Porta-Contêineres	65.9	8.0552	0.00235
Ro-Ro	32.3	12.834	0.00156
Passageiros	70.2	16.904	0.00198
Veleiros	3.4	0.4268	0.001
Rebocadores	14.4	5.6511	0.01048
Pesqueiros	5.5	1.9387	0.00448
Outros	26.4	9.7126	0.00091

Fonte: IPCC (2006) apud TECHNNE (1997).

Com a caracterização da frota, a tonelage bruta de cada embarcação foi obtida, sendo possível, em consequência, estimar a taxa de consumo (tonelada/dia) de combustível para cada embarcação referente às movimentações na região de estudo. Para as embarcações, cuja tonelage bruta não está disponível, adotou-se o consumo médio segundo a sua categoria de navio. Com os tempos de espera, atracação e manobra, o consumo horário (ton./h) foi quantificado. A etapa de manobra, porém, conta com uma emissão adicional advinda dos rebocadores. Através dos tempos médios e do número de rebocadores na manobra, segundo o NPCP-1/2001, estimou-se a emissão dessas embarcações.

5.2.2. Estimativa das emissões

Após obter ou estimar as informações de tipologia de embarcações, os tempos despendidos nas etapas de sua movimentação nos terminais, os tipos de combustíveis consumidos para cada tipologia de navio e motor, bem como o consumo individual dos navios, foram aplicadas as metodologias que melhor se adequavam ao refinamento dos dados. Para cada poluente inventariado, as emissões atmosféricas dos navios foram calculadas esquematizando-as por etapas, conforme a Equação 4 a seguir:

$$E_{navio} = E_{atracação} + E_{manobra} + E_{espera} \text{ (Equação 4)}$$

na qual

E_{navio} : emissão total estimada da embarcação;

$E_{atracação}$: emissão durante a atracação;

$E_{manobra}$: emissão durante a manobra;

E_{espera} : emissão durante a espera nas áreas de fundeio.

As emissões serão calculadas separadamente para operação com motor principal e com motor auxiliar. A equação básica para estimar a emissão por navio será a apresentada na Equação 5 a seguir:

$$E_{navio,i,j,m} = \sum_p [T_p \times FC \times FE_{e,i,j,m,p}] \text{ (Equação 5)}$$

onde

E_{navio} : emissão total de todas as etapas do navio;

FE : fator de emissão (em kg/ton.) por tipo de embarcação;

FC : fator de consumo;

T : tempo;

e : categoria de motor (principal ou auxiliar);

i : poluente inventariado;

j : tipo de motor (diesel de alta, média e baixa velocidade, turbina a gás, turbina a vapor);

m : tipo de combustível (BFO, MDO/MGO, gasolina);

p : a fase da rota dos navios (atracação, manobra, espera).

A utilização de histórico de dados das posições das embarcações no período e região de estudo traz uma quantificação das emissões das embarcações em trânsito mais precisa que a obtida através de rotas médias. Porém, as plataformas online que disponibilizam tais dados cobram para o fornecimento das informações. Logo, a caracterização das emissões na etapa manobra foi feita utilizando rotas médias baseadas na observação das rotas dos navios e das suas coordenadas de origem e destino.

5.2.3. Fatores de emissão

Os fatores de emissão adotados para NO_x e Ni são os da 3ª abordagem (Tier 3) proposta por EEA (2016) para diferentes tipos de motor e combustível e fase da rota dos navios (atracação e manobra), conforme a Tabela 5. Não foram encontrados fatores de emissão do Ni diferentes por fase nem por categoria e tipo de motor, somente por tipo de combustível.

Tabela 5: Fatores de emissão dos navios para os poluentes NO_x e Ni.

CATEGORIA DO MOTOR	FASE	TIPO DE MOTOR	TIPO DE COMBUSTÍVEL	NO _x (kg/ton.)			Ni (g/ton.)
				2000	2005	2010	
Principal	Atracação e Manobra	Turbina a gás	BFO	9,2	8,9	8,6	32
			MDO/MGO	9,1	8,8	8,5	1
		Diesel de alta velocidade	BFO	43,6	42,3	40,6	32
			MDO/MGO	43,0	41,7	40,1	1
		Diesel de média velocidade	BFO	47,9	46,2	44,6	32
			MDO/MGO	47,5	45,7	44,3	1
		Diesel de baixa velocidade	BFO	67,4	65,1	62,9	32
			MDO/MGO	66,7	64,2	62,1	1
Turbina a vapor	BFO	5,1	4,8	4,7	32		
	MDO/MGO	5,0	5,0	4,7	1		
Auxiliar	Atracação e Manobra	Diesel de alta velocidade	BFO	51,1	49,4	47,6	32
			MDO/MGO	50,2	48,6	46,8	1
		Diesel de média velocidade	BFO	64,8	62,5	60,4	32
			MDO/MGO	64,1	62,0	59,7	1

Fonte: EEA (2016) adaptado.

A abordagem utilizada para SO_x foi baseada na 1ª abordagem (Tier 1) proposta por EEA (2016) *apud* Lloyd's Register (1995), porém aplicado ao consumo de combustível (massa de combustível consumida), e não ao total vendido. Os fatores de emissão por tipo de combustível, em kg/ton., são obtidos multiplicando o fator 20 pelo teor de enxofre (S) presente no combustível. O Anexo VI da MARPOL estabelece um limite de até 3,5% de teor de enxofre nos combustíveis marítimos residuais a partir de 2012, nas áreas fora das chamadas Áreas de Controle de Emissão (*Emission Control Areas – ECA*). O teor de enxofre regulamentado para venda de combustíveis pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) nº 52/2010 é de 3,5% para óleos residuais e de 0,5% para destilados. Logo, será utilizada a Equação 6 a seguir, para determinar os fatores de emissão de dióxido de enxofre (kg/TJ). A emissão é, portanto, dada pela relação desse fator com a quantidade de energia do combustível consumido.

$$EF_{SO_x} \left[\frac{kg}{ton.} \right] = 20 \times S \text{ (Equação 6)}$$

na qual:

EF é o fator de emissão (kg SO_x/ton.);

S é o teor de enxofre no combustível (% por massa).

Para se calcular as emissões de cada navio registrado, foi implementado um código por meio da ferramenta Matlab®. O algoritmo segue no Anexo I.

5.2.4. Análise comparativa das emissões

A análise comparativa de inventários foi feita com base no cálculo de emissões em outras regiões portuárias no mundo. A análise levou em conta inventários feitos com metodologia semelhante (*bottom-up*). A fim de buscar uma melhor comparação, normalizou-se as emissões com base na densidade demográfica (habitantes por quilômetro quadrado) registrado na região, disponível no período ou em período próximo. No Quadro 3, estão algumas regiões cujos inventários de navios foram comparados ao inventário nesse estudo.

Quadro 3: Informações utilizadas para análise comparativa das emissões em diferentes portos.

Região portuária	Densidade Demográfica (hab./km ²)	Estimativa de emissões de NO _x (ton./ano)	Estimativa de emissões de SO _x (ton./ano)
Klaipeda (Lituânia)	61 ²	946 ³	-
Pearl River Delta (China)	1190 ⁴	103.717 ⁵	61.484 ⁵
Tianjin (China)	1048 ⁶	41.300 ⁷	29.300 ⁷
Las Palmas (Espanha)	273 ⁸	4.237 ⁹	1.420 ⁹
Kotor (Montenegro)	68 ¹⁰	280 ¹¹	22 ¹¹

² World Health Organization (2018). Acesso em:

http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/372169/rhn-klaipeda-eng.pdf?ua=1

³ ABRUTYTE et al. (2014)

⁴ Geoshen (2018). Acesso em: <https://geoshen.com/posts/the-pearl-river-delta-megalopolis>

⁵ LI et al. (2016)

⁶ World Population Review (2015). Acesso em: <https://worldpopulationreview.com/world-cities/tianjin-population/>

⁷ CHEN et al. (2016)

⁸ AdminStat Spagna (2017). Acesso em: <https://ugeo.urbistat.com/AdminStat/en/es/demografia/dati-sintesi/las-palmas/35/3>

⁹ TICHAVSKA & TOVAR (2015)

¹⁰ Knoema (2017). Acesso em: <https://pt.knoema.com/atlas/Montenegro/Kotor>

¹¹ DRACOVIC et al. (2015)

Dubrovnik (Croácia)	308 ¹²	356 ¹³	47 ¹³
Samsun (Turquia)	140 ¹⁴	728 ¹⁵	574 ¹⁵

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

5.3. ALOCAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL

Para as emissões que ocorreram no período de espera, a alocação espacial foi feita estabelecendo que as emissões se deram nas coordenadas geográficas do centro considerado de cada área de fundeio onde cada navio ficou esperando, dependendo do destino de atracação. As áreas de fundeio de cada berço são especificadas pelas normas de administração dos terminais portuários. Porém, não há precisamente o registro das coordenadas geográficas onde o navio estaria dentro da área de fundeio. Logo, estabeleceu-se que as emissões ocorreriam na coordenada central da região. A Figura 5 mostra as áreas de fundeio da região de estudo.

Figura 5: Áreas de fundeio (ou fundeadouros) da região de estudo onde os navios aguardam para atracarem.



Legenda: **A** - navios ou embarcações com prazo de espera normal; **B** - embarcações de apoio marítimo; **C** - fundeadouro do Terminal de Praia Mole; **D** - fundeadouro 1 de Tubarão; **E** - fundeadouro 2 de Tubarão.

¹² City Population (2018). Acesso em: <https://www.citypopulation.de/php/croatia-admin.php?adm2id=0981>

¹³ DRACOVIC et al. (2015)

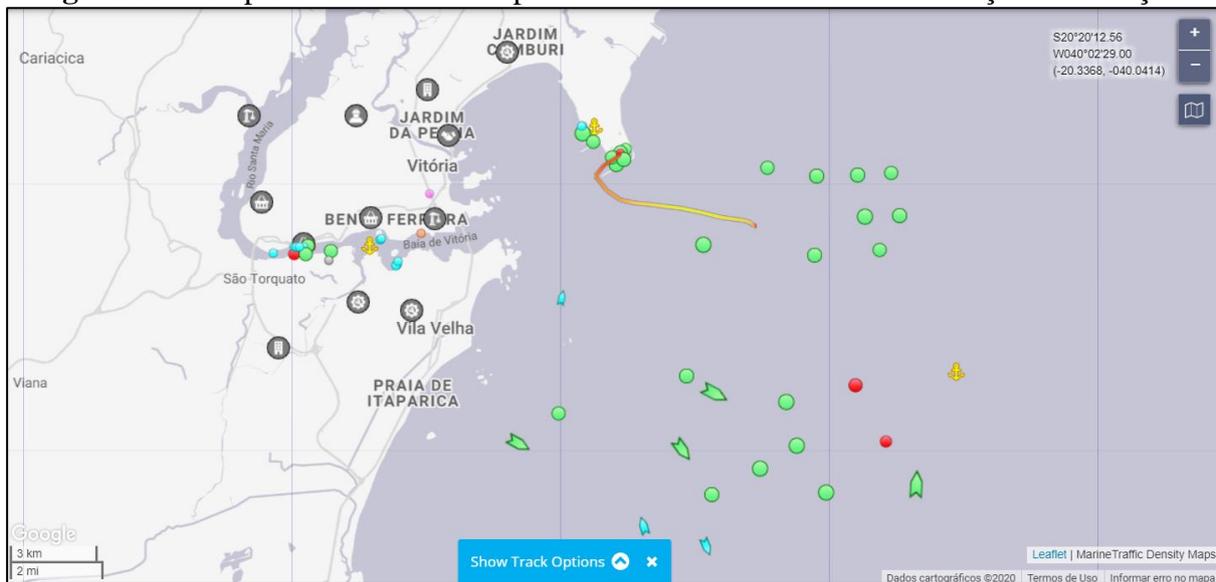
¹⁴ Knoema (2016). Acesso em: <https://knoema.com/atlas/Turkey/Samsun/Population-density>

¹⁵ ALVER et al. (2018)

Fonte: elaborado pelo próprio autor utilizando Google Earth (2018).

Para as emissões que ocorreram no período de manobra, a alocação espacial foi feita observando as informações de registro de cada navio de fundeadouro e destino de atracação. Sabendo dessas informações, foram traçadas rotas médias entre fundeadouro e destino de atracação, por meio de observação de tais rotas feitas por navios na plataforma online de monitoramento Marine Traffic. A Figura 6 ilustra exemplo de rota feita durante a manobra por determinado navio já atracado. As rotas foram traçadas utilizando o software Google Earth®, por onde foi possível extrair as coordenadas geográficas necessárias para alocação das emissões das fontes linhas. A Figura 7 mostra as rotas de manobra estabelecidas.

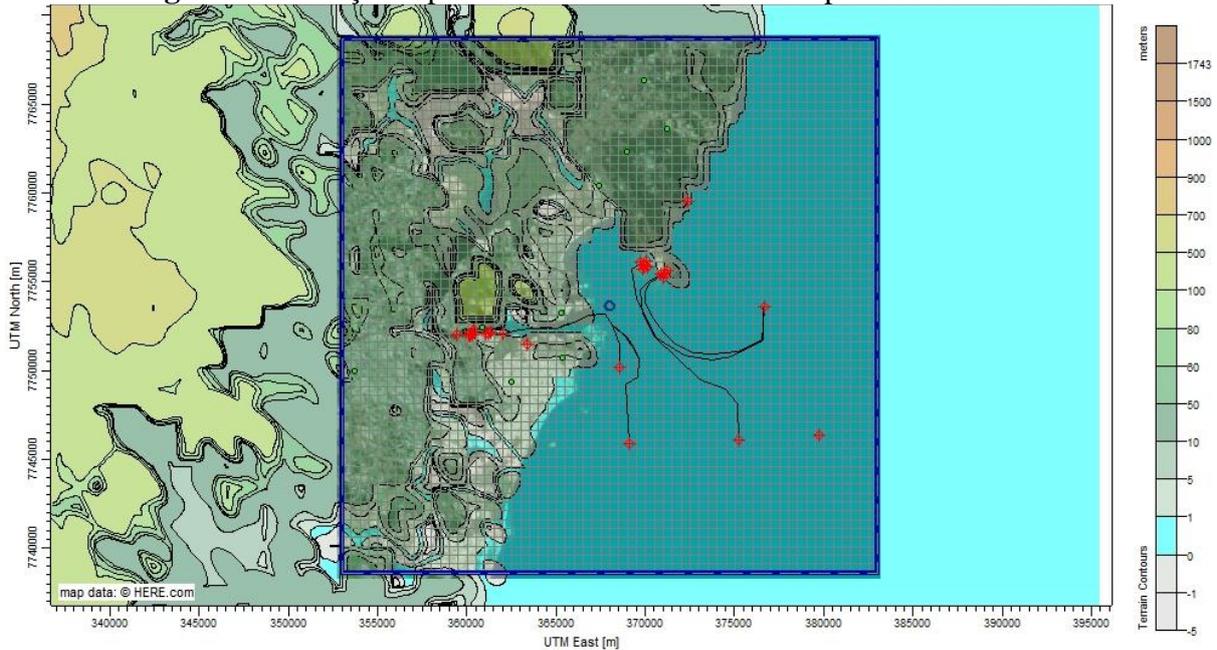
Figura 6: Exemplo de rota real feito por um navio do fundeadouro ao berço de atracação.



Legenda: navios e embarcações; regiões de ancoragem e portos.

Fonte: Marine Traffic (2020).

Figura 7: Alocação espacial das rotas de emissão no período de manobra.



Legenda: + fontes pontuais; – rotas médias de manobra; o estações de monitoramento.

Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa AERMOD (2019).

Quanto às emissões que ocorreram no período de atracação, a alocação espacial dos navios foi feita considerando-os como fontes pontuais localizadas nas coordenadas dos berços, cais ou terminais portuários em que estiveram, cujas emissões se deram no período em que tais navios encontravam-se atracados. As coordenadas geográficas dos locais de atracação foram obtidas nos regulamentos portuários e estão esquematizadas nas Figuras 8, 9 e 10 a seguir.

Figura 8: Regiões de atracação dos navios configuradas como fontes pontuais.



Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Google Earth (2020).

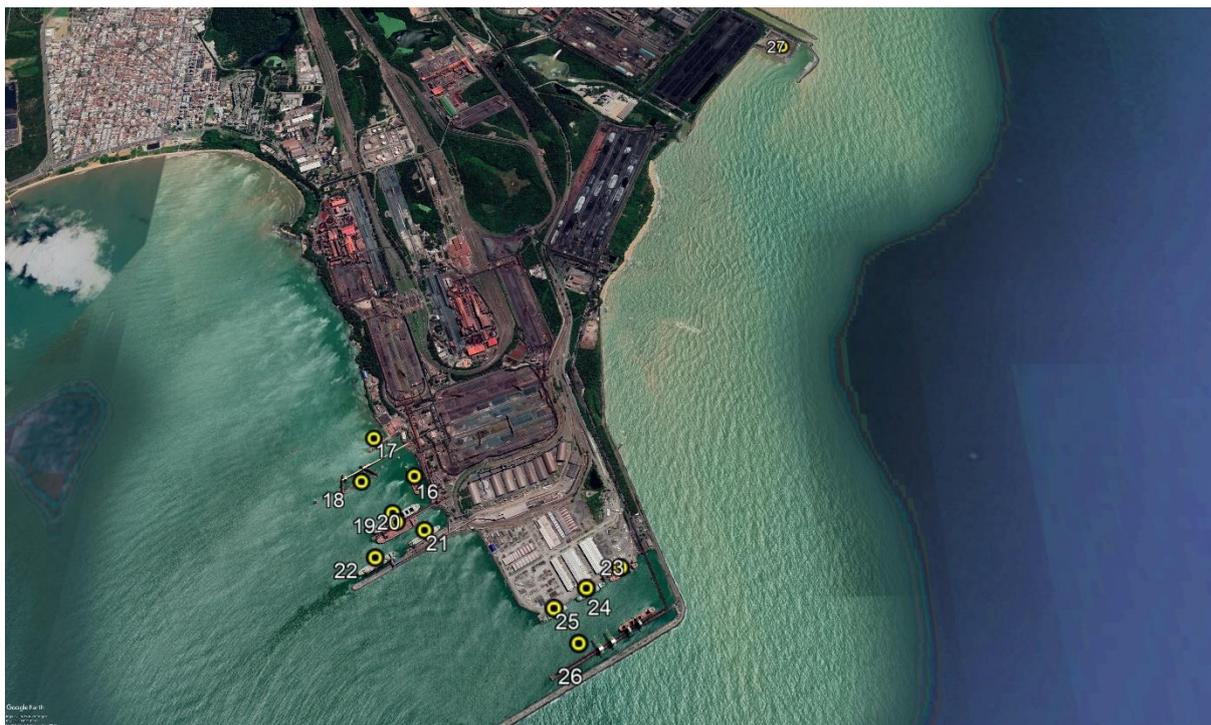
Figura 9: Identificação dos berços de atracação da Região 1.



Legenda: 1 – Berço 101 – Cais Comercial de Vitória; 2 – Berço 102 – Cais Comercial de Vitória; 3 – Berço 103 – Cais Comercial de Vitória; 4 – Berço 104 – Cais Comercial de Vitória; 5 – Berço 201 – Cais de Capuaba; 6 – Berço 202 – Cais de Capuaba; 7 – Berço 203 – Cais de Capuaba (TVV); 8 – Berço 204 – Cais de Capuaba (TVV); 9 – Berço 906 – Terminal de Ilha do Príncipe (Flexibrás); 10 – Berço 207 – Dolphins de Atalaia – Paul; 11 – Berço 206 – Cais de Paul (Peiú); 12 – Berço 905 – Cais de Paul (Codesa); 13 – Berço 902 – Terminal de Granéis Líquidos de São Torquato; 14 – Berço 909 – Terminal de Bento Ferreira (Zemax); 15 – Companhia Portuária de Vila Velha; 28 – Terminal Portuário da Glória.

Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Google Earth (2020).

Figura 10: Identificação dos berços de atracação da Região 2.



Legenda: 16 – Píer 5 – Terminal de Granéis Líquidos – Terminal de Tubarão; 17 – Cais de rebocadores – Terminal de Tubarão; 18 – Píer 2 – Terminal de Tubarão; 19 – Píer 1 – N – Terminal de Tubarão; 20 – Píer 1 – S – Terminal de Tubarão; 21 – TPD 4 – Terminal de Produtos Diversos – Terminal de Tubarão; 22 – TPD 3 – Terminal de Produtos Diversos – Terminal de Tubarão; 23 – Berço 1 – Píer do Terminal de Praia Mole; 24 – Berço 2 – Píer do Terminal de Praia Mole; 25 – Berço 3 – Píer do Terminal de Praia Mole; 26 – TPM-1 – Píer do Terminal de Praia Mole; 27 – Terminal das Barcaças Oceânicas.

Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Google Earth (2020).

A alocação temporal foi feita a partir dos registros das datas em que os navios chegam nos fundeadouros e nos locais de atracação. Tais registros foram obtidos dos dados da ANTAQ. Para fazer a alocação temporal, foram caracterizados os navios como fontes pontuais nos fundeadouros e zonas de atracação, e durante a manobra, como fontes linhas, emitindo de forma descontínua e aperiódica. Para esse tipo de fonte, utilizou-se a ferramenta o modelo AERMOD, chamada HOURMIS, que possibilita determinar em quais horas determinada fonte emite. A Figura 11 mostra um modelo, onde da terceira a sexta coluna são informadas, respectivamente, ano, mês, dia e hora em que ocorreu a emissão. Da sexta à oitava coluna estão, respectivamente, a identificação da fonte (no caso, o navio), a taxa de emissão, a temperatura (em Kelvin) e velocidade de saída dos gases (em m/s) nas chaminés.

Figura 11: Modelo de input do HOURMIS para alocação temporal das fontes pontuais.

SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	1	0.00434605	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	2	0.00785334	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	3	0.00038246	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	4	0.01368661	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	5	0.00046542	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	6	0.00011713	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	7	0.01137136	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	8	0.00032933	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	9	0.00539130	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	10	0.00234481	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	11	0.00005762	264	20
SO	HOUREMIS	2015	1	1	1	12	0.00815966	264	20

Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Matlab® (2019).

Como cada navio foi colocado como uma fonte temporária, o arquivo HOURMIS ficaria inviável de ser preenchido manualmente. Nesse caso, foi elaborado um código utilizando o programa Matlab® para preencher o arquivo. O código segue no Anexo II.

5.4. APLICAÇÃO DO MODELO AERMOD

Nessa seção estão descritas as etapas seguidas para processamento do modelo utilizando AERMOD, a fim de se obter os cenários de concentrações dos poluentes inventariados na região de estudo. Os parâmetros escolhidos de definição da área de modelagem no modelo foram definidos conforme a Quadro 4.

Quadro 4: Parâmetros utilizados no processamento do modelo AERMOD.

PARÂMETRO	VALOR ADOTADO
Coordenada Central	(368028 m S, 7753624 mW)
Raio de definição da área	15 km
Área	30 km x 30 km
Espaçamento entre os pontos do grid	500 m

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Em um primeiro momento, realizou-se uma avaliação inicial do modelo AERMOD, procurando-se comparar os valores de concentração observados aos valores de concentração simulados pelo modelo, considerando-se somente as fontes de navios existentes. Os valores simulados de média horária máxima e de média anual dos poluentes NO_x, SO_x e Ni foram comparados aos valores observados nas estações RAMQAR no período de janeiro a dezembro

de 2015. O objetivo desta comparação, embora utilizando apenas os navios como fontes, foi o de avaliar a ordem de grandeza das concentrações simuladas pelo modelo AERMOD em comparação as legislações atuais. Após esta avaliação inicial, foram comparadas as concentrações simuladas máximas das médias de 1 hora, de 24 horas e anual comparando aos padrões de qualidade do ar locais ou de referência dos poluentes NO_x, SO_x e Ni.

5.4.1. Aermet

As simulações do AERMET utilizaram informações meteorológicas de monitoramento, que englobaram os dados meteorológicos de superfície e os dados de altitude. Os dados de superfície utilizados foram os da estação do aeroporto de Vitória (Latitude: -24,25°; Longitude: -40,28°; e código ICAO: SBVT) da CPTEC (Centro de Previsão de Tempos e Estudos Climáticos), cujo número WMO é 83649. Os dados horários extraídos continham informações sobre velocidade e direção dos ventos, temperatura de bulbo seco e cobertura de nuvens. Já os dados do ar superior utilizaram dois perfis verticais diários contendo as seguintes informações: velocidade do vento, coeficiente de turbulência vertical, temperatura e desvio padrão da direção do vento. Quanto aos dados de superfície necessários para o AERMET (rugosidade da superfície, razão de Bowen e albedo), a análise foi feita com base numa coordenada central percorrendo um raio de 1 km. O círculo traçado foi dividido em quatro setores, para cada estação do ano. Foram consideradas as mesmas características em todas as estações do ano. A Tabela 6 mostra os parâmetros por setor.

Tabela 6: Características adotadas na caracterização da superfície por meio da análise do círculo.

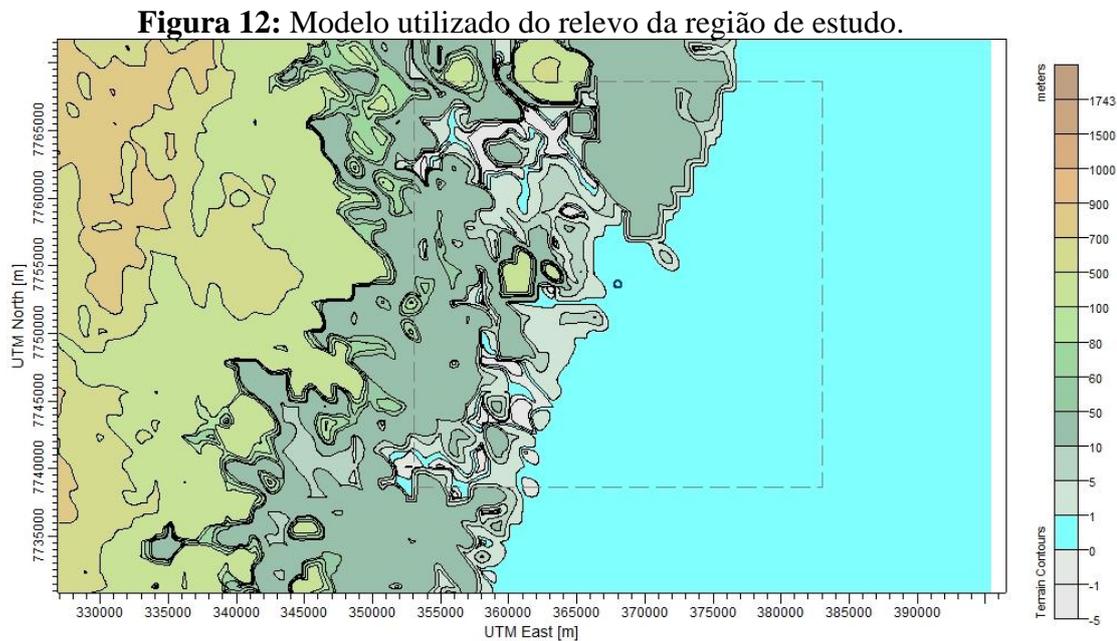
Setor	Albedo	Razão de Bowen	Rugosidade da Superfície
33° a 206°	0,10	0,10	0,0001
206° a 260°	0,16	2,00	1,00
260° a 306°	0,18	0,80	0,10
306° a 33°	0,16	2,00	1,00

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

5.4.2. Aermap

Como AERMAP pré-processa dados de terreno, bem como as localizações dos pontos receptores e das fontes de emissão, é necessário informar a localização geográfica desses pontos

e o modelo digital de terreno. A localização das fontes foi feita por meio de arquivo Excel listando as fontes pontuais e de linha contendo suas coordenadas geográficas. O modelo digital do terreno utilizado foi o SRTM1 do WebGIS, importado do Lakes Environment. Segue na Figura 12 a imagem da representação do relevo da região.



Fonte: disponível pela Lakes Environment por meio do AERMOD (2019).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão descritos os resultados obtidos: o inventário de emissões estimado (Seção 6.1) e a análise dos impactos por meio do modelo AERMOD (Seção 6.2). As discussões estão desenvolvidas ao longo da apresentação dos resultados.

6.1. EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

6.1.1. Identificação e caracterização dos navios e embarcações

A etapa inicial que se tratou da identificação e caracterização dos navios foi descrita na metodologia desse estudo, sendo seu resultado o compilado de navios e embarcações e suas características utilizadas no cálculo das emissões e posteriormente no modelo de dispersão. O Anexo III mostra todas as fontes já após identificação e caracterização.

As médias dos tempos de espera, manobra e atracação de cada embarcação para o cálculo das emissões, obtidos dos registros recebidos pela ANTAQ e informações da Capitania dos Portos, estão apresentadas na Tabela 7. A Figura 13 mostram os gráficos do tipo *Boxplot* para comparação dos registros de tempos de espera, atracação e manobra, respectivamente, por tipo de navios. As embarcações de graneis sólidos apresentaram maiores tempos de espera de todos os tipos de embarcação registrados, sendo quase quatro vezes maiores que a média dos registros de tempo de espera de todas as embarcações. Juntamente com as embarcações de carga geral, os graneis sólidos também apresentam os maiores períodos de tempo atracados, nesse caso, quase duas vezes maiores que o tempo médio de atracação de todos os registros. Já o tempo de manobra apresenta valores de até duas horas, pois foram estimados conforme norma específica da região, a hora de chegada ao fundeadouro e ao local de atracação de cada navio.

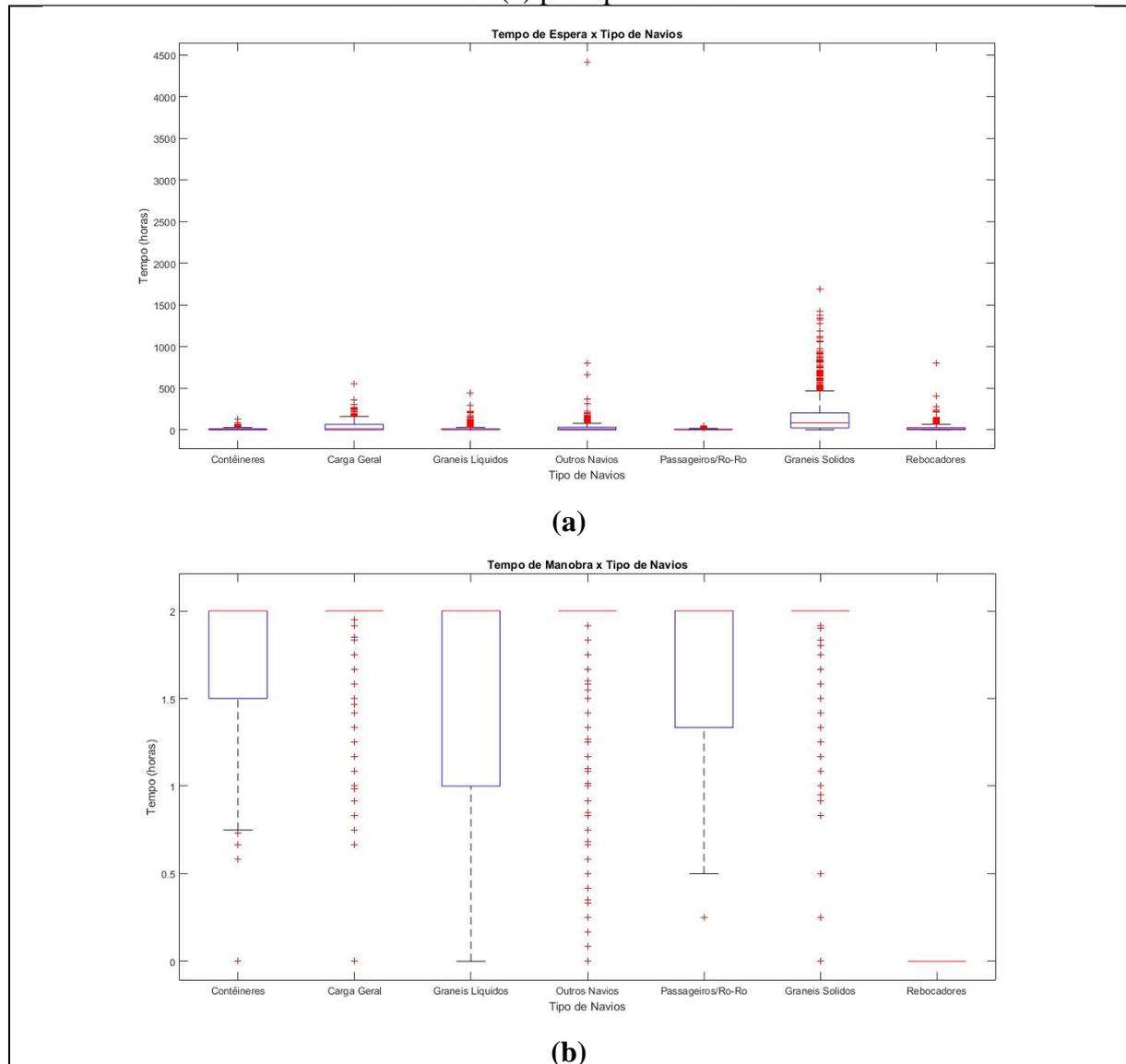
Tabela 7: Médias dos tempos de espera, manobra e atracação por tipologia de navios (em horas).

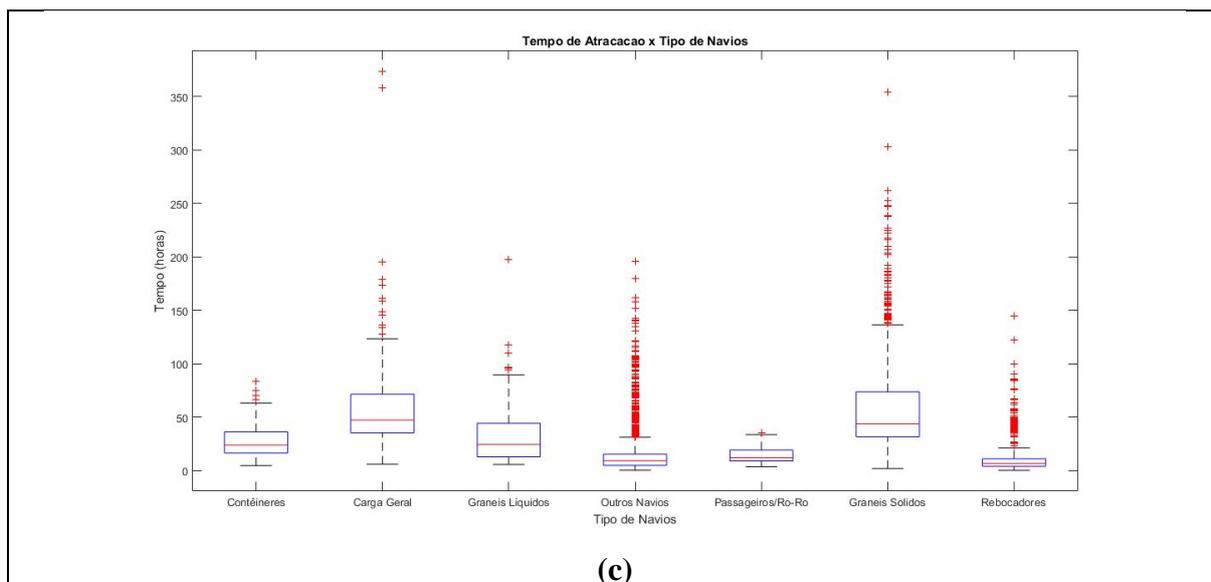
Tipo de Navio	Tempo Médio de Espera (h)	Tempo Médio de Atracação (h)	Tempo Médio de Manobra (h)
Contêineres	10,13	27,60	1,72
Carga Geral	46,01	57,83	1,84
Graneis Líquidos	20,65	31,83	1,48
Outros Navios	25,68	16,39	1,79

Passageiros / Ro-Ro	5,22	14,10	1,66
Graneis Sólidos	160,48	57,71	1,97
Rebocadores	23,59	11,81	0,00
Tempo Médio Geral	41,68	31,04	1,49

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Figura 13: Gráficos tipo Boxplot dos registros de tempo de espera (a), atracação (b) e manobra (c) por tipo de navio.





Fonte: elaborado pelo autor utilizando Matlab® (2019).

6.1.2. Emissões atmosféricas por etapa e comparação com outras regiões

As emissões totais em 2015 de NO_x, SO_x e Ni, em toneladas, estão esquematizadas na Tabela 8 a seguir, comparando-se por etapa das movimentações. É possível notar que quanto ao NO_x, destacam-se as emissões dos rebocadores em apoio nas manobras dos navios. Já para os poluentes SO_x e Ni, destacaram-se as emissões dadas no período de espera dos navios nos fundeadouros. RODRIGUEZ & MUCIA (2013) apontam que os rebocadores apresentam motores de alta propulsão e grandes tonelagens brutas, bem como realizam grandes mudanças de propulsão, o que podem representar emissões significativas de NO_x.

Tabela 8: Emissões totais estimadas por etapa e poluente, em toneladas, no ano de 2015.

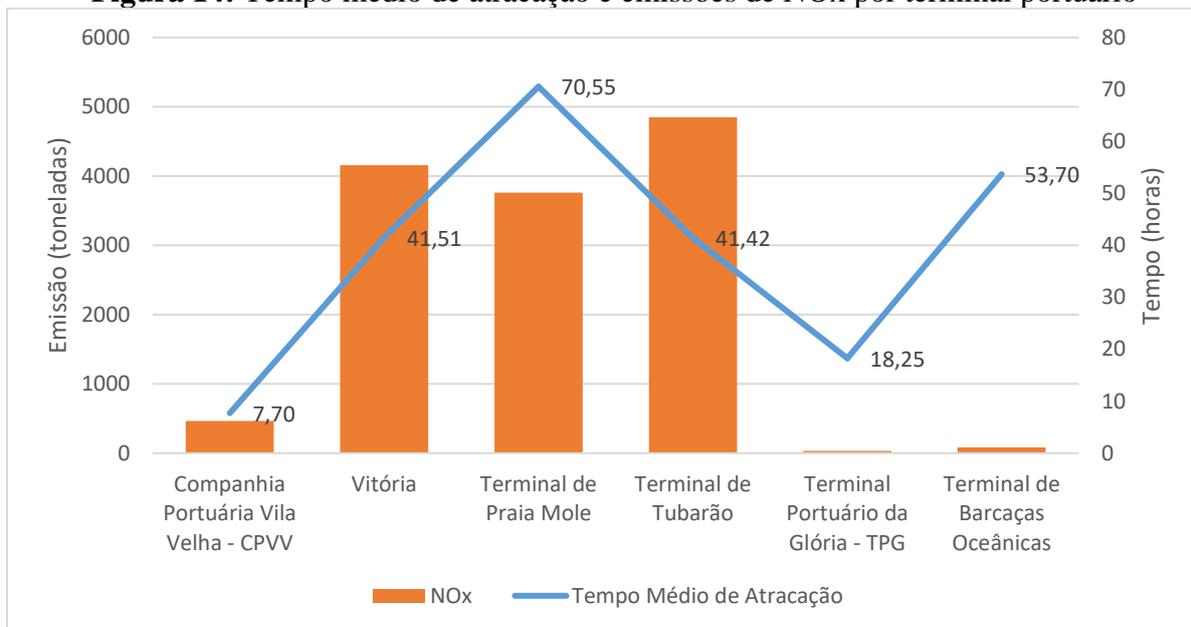
Etapa das movimentações	NO_x [ton]	SO_x [ton]	Ni [ton]
Espera	29.610,80	318,89	14,58
Manobra	2.583,13	6,35	0,29
Atracação	13.353,12	141,51	6,47
Rebocadores durante a manobra	55.060,83	17,24	0,81
TOTAL	100.607,88	483,99	22,15

Fonte: elaborado pelo autor (2019)

As Figuras 14, 15 e 16 mostram a comparação entre as emissões totais de NO_x, SO_x e Ni nos portos da região de estudo e o tempo médio de atracação registrado. Pela Equação 5 que foi utilizada para estimar as emissões, o tempo de atracação é diretamente proporcional à emissão dos navios, mas os gráficos mostram que em alguns terminais que tiveram registro elevados

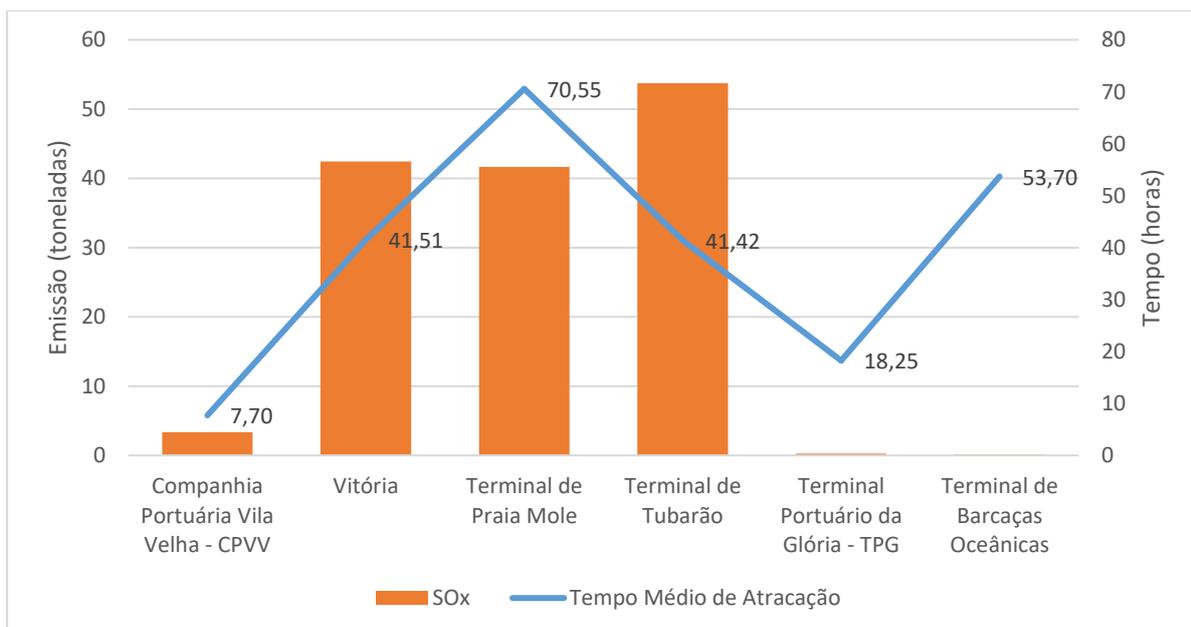
dos tempos de atracação, comparativamente aos demais, as emissões totais estimadas dos poluentes foram baixas. Isso se deve à frequência de navios e embarcações atracados no local e à tipologia de navios que não estão sendo considerados nesses gráficos. Quanto mais atracções no local, maior a emissão. E há tipologias de navios que tem maior fator de emissão que outras.

Figura 14: Tempo médio de atracação e emissões de NOx por terminal portuário



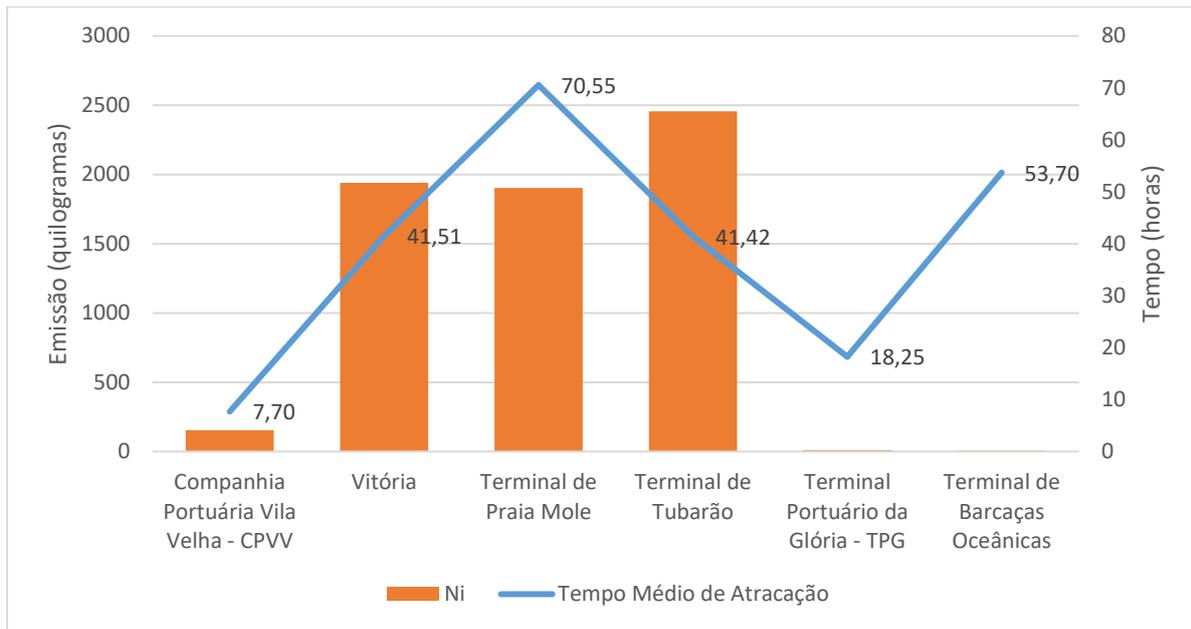
Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Excel (2019).

Figura 15: Tempo médio de atracação e emissões de SOx por terminal portuário.



Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Excel (2019).

Figura 16: Tempo médio de atracação e emissões de Ni por terminal portuário.



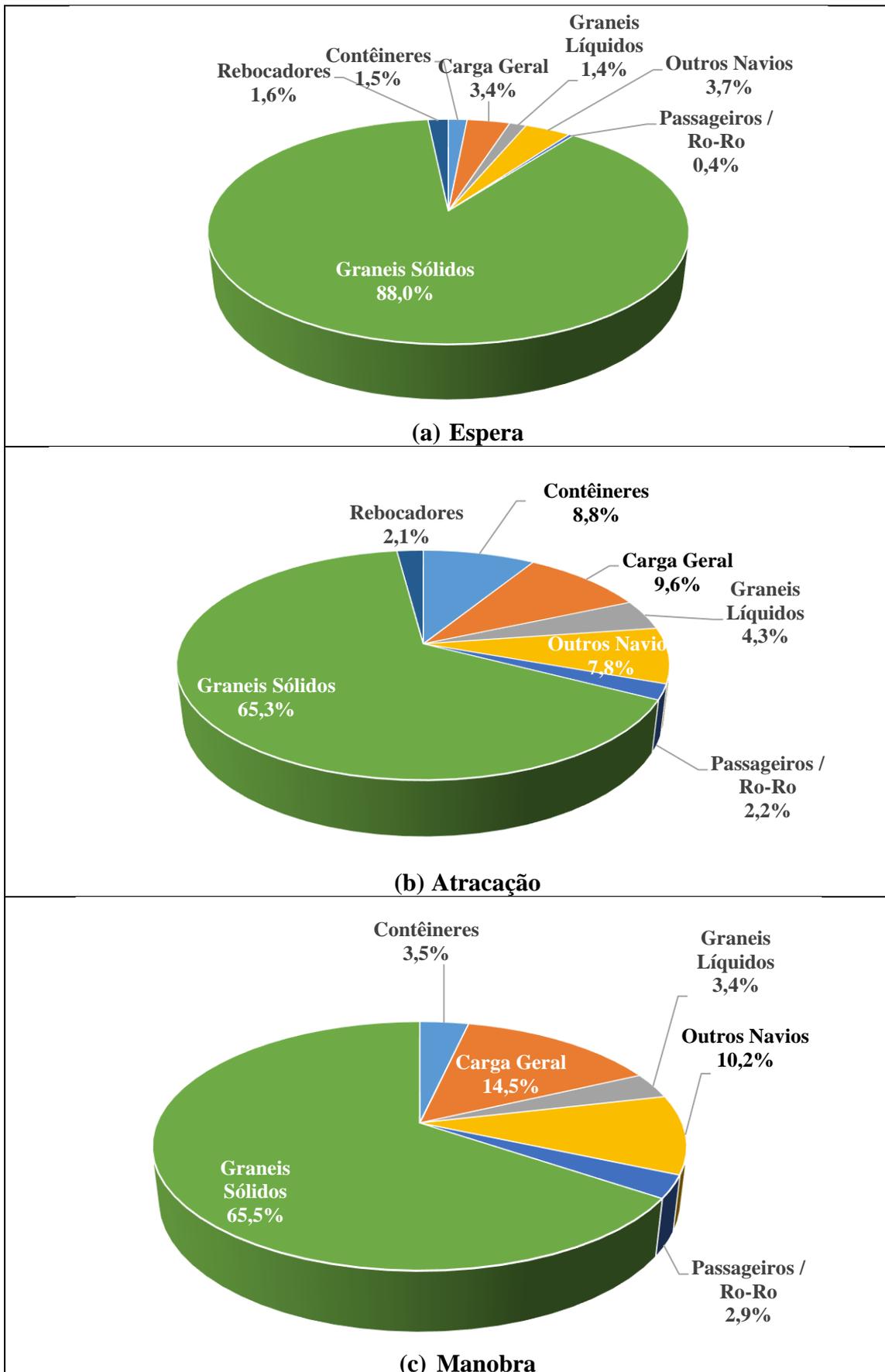
Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Excel (2019).

As Figuras 17, 18 e 19 mostram o percentual emitido por tipologia de navios, nas três fases de navegação (espera, manobra e atracação) para os poluentes NO_x, SO_x e Ni, respectivamente. Para os três poluentes em todas as fases, os navios do tipo granéis sólidos representam a maior contribuição de emissão, sendo na fase de espera a maior participação nas emissões. Já as embarcações do tipo rebocadores apresentam um dos menores percentuais de participação nas emissões totais, nas fases de atracação e espera.

Os rebocadores não realizam a operação de manobra, mas participam no auxílio às manobras de outras embarcações. Nesse caso, foram estimadas as emissões dos rebocadores durante as manobras dos demais navios. A Tabela 9 sintetiza os valores das emissões dos rebocadores para cada poluente por tipo de navio. As emissões de NO_x dos rebocadores durante as manobras dos navios tipo granéis sólidos representam a maior parcela de emissão de rebocadores desse poluente, superando 1000 toneladas por ano. Para o poluente SO_x, os valores de emissões são menores, se destacando para a manobra de navios de outras categorias não especificadas.

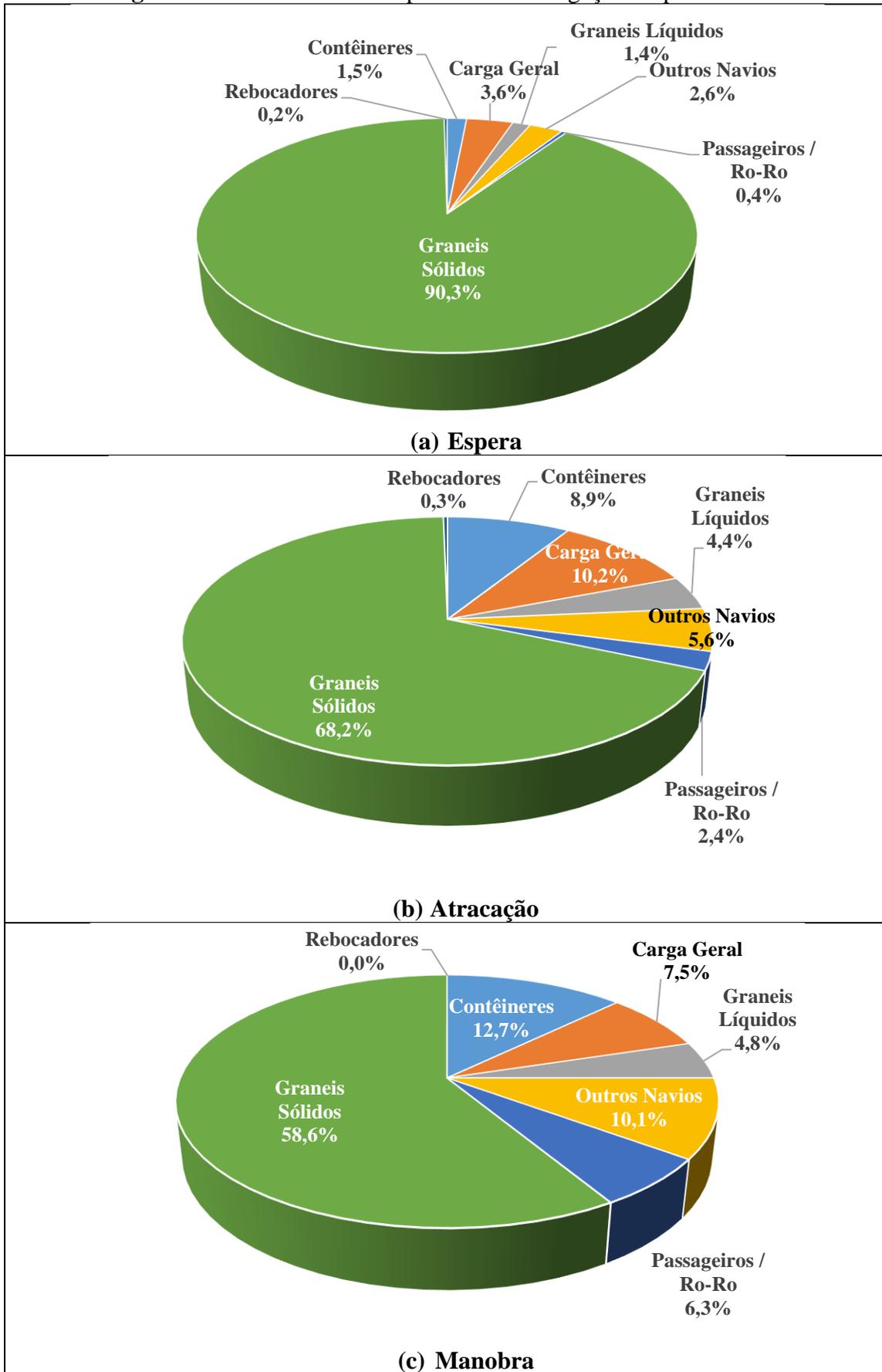
As emissões de Ni se destacaram nos navios tipo granéis sólidos. Tal metal é um forte indicativo de poluição por navios, sobretudo na análise de impacto por material particulado. Em estudos de composição de amostras de material particulado, o níquel auxilia a identificar impacto de emissões de navios (PANDOLFI et al., 2011).

Figura 17: Emissões de NO_x por fase da navegação e tipo de navio.



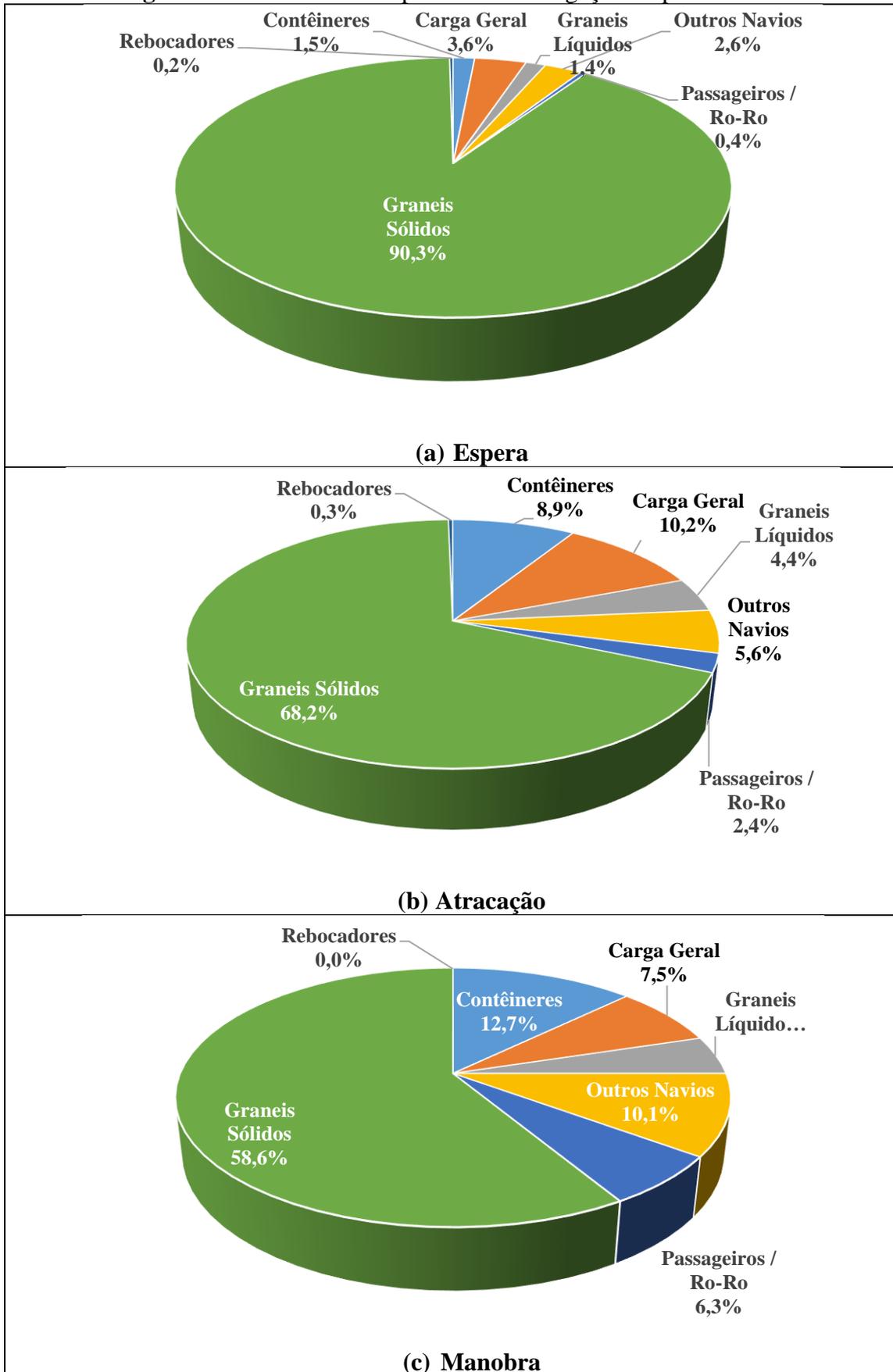
Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Excel (2019).

Figura 18: Emissões de SO_x por fase da navegação e tipo de navio.



Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Excel (2019).

Figura 19: Emissões de Ni por fase da navegação e tipo de navio.



Fonte: elaborado pelo autor utilizando o programa Excel (2019).

Tabela 9: Total estimado emitido dos rebocadores durante a manobra dos navios em toneladas.

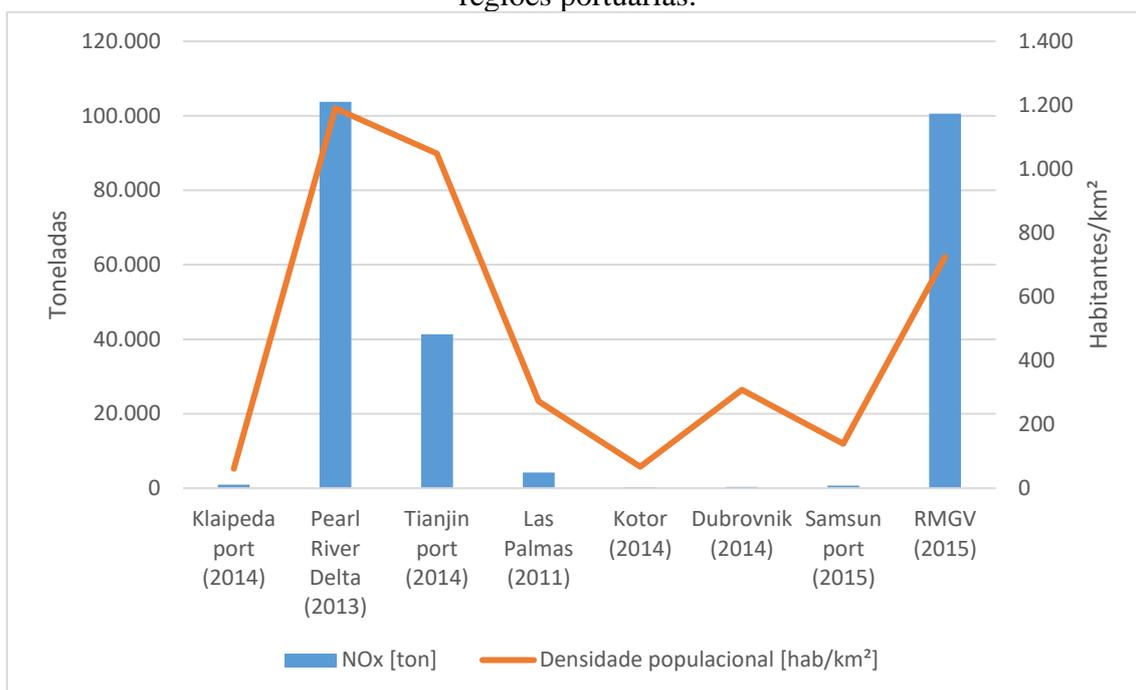
Tipo de Navio	Emissão total dos rebocadores durante a manobra dos navios (toneladas)		
	NO _x	SO _x	Ni
Contêineres	838,84	0,90	0,04
Carga Geral	9.633,26	1,35	0,06
Granéis Líquidos	2.080,45	0,85	0,04
Outros	7.063,15	7,45	0,35
Passageiros / Ro-ro	1.387,87	0,42	0,02
Granéis Sólidos	34.057,27	6,26	0,29
Total	55.060,83	17,24	0,81

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

É importante destacar que a equação utilizada para estimativa da taxa de consumo de combustível considera a potência máxima nas fases. Porém, os motores dos navios nas diferentes fases apresentam um fator de carga (*load factor*) variável.

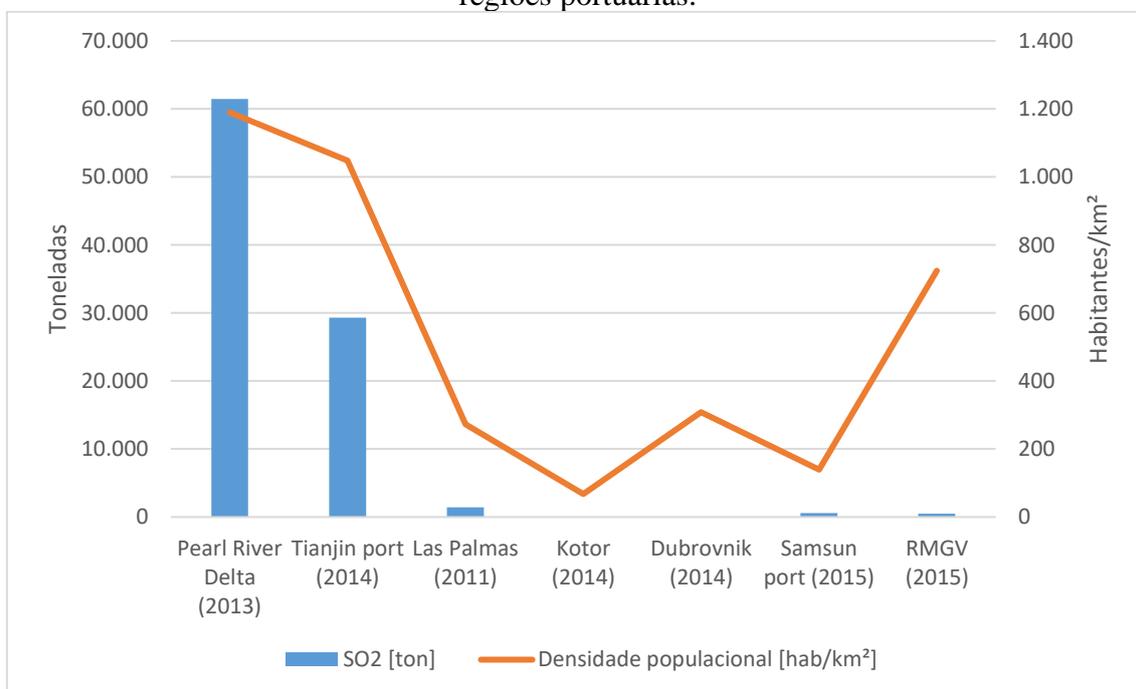
As emissões totais de alguns poluentes foram comparadas às emissões em alguns portos do mundo com a finalidade de verificar a magnitude relativa da quantidade emitida. As Figuras 20 e 21 mostram a comparação de da densidade populacional com as emissões estimadas de NO_x e SO_x, respectivamente. Notou-se que a emissão estimada de NO_x é de magnitude próxima à calculada no Pearl River Delta que apresenta uma densidade populacional cerca de 60% maior que a da região da Grande Vitória. Além disso, a RGMV não apresenta legislação quando à emissão de navios. Já para SO_x, as emissões são equiparadas às calculadas em portos de menor magnitude e de regiões menos povoadas.

Figura 20: Comparação entre as emissões totais de NOx na região de estudo e em outras regiões portuárias.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Figura 21: Comparação entre as emissões totais de SO₂ na região de estudo e em outras regiões portuárias.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

6.2. ANÁLISE DOS IMPACTOS GERADOS PELA EMISSÃO DOS NAVIOS

O modelo AERMOD processou 8266 fontes, sendo 7950 fontes pontuais (navios quando atracados ou em fase de espera) e 316 fontes linha (navios em fase de manobra). No Anexo III constam todas as fontes, bem como suas identificações, descrições, informações da chaminé, taxas de emissões e coordenadas geográficas utilizadas. Os maiores valores de concentrações médias horárias estão apresentados nas imagens da Figura 22, para os poluentes NOx, SOx e Ni.

Figura 22: Maiores concentrações médias anuais de NOx (a), SOx (b) e Ni (c) geradas pelas emissões de navios em 2015.



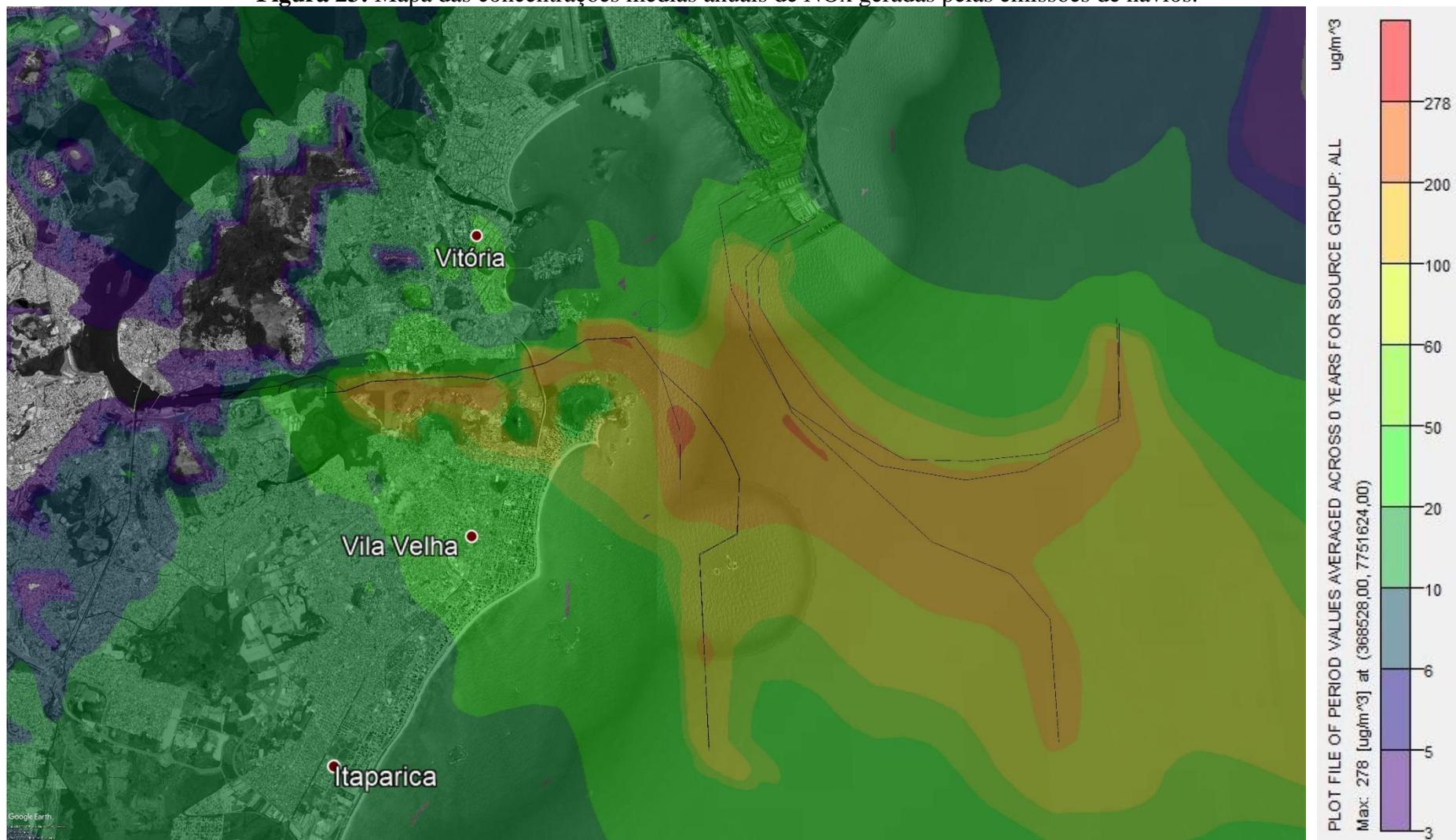


Fonte: elaborado pelo autor utilizando Google Earth (2020).

WHO (2018) aponta que os navios são umas das principais fontes de emissão de óxidos de nitrogênio. Nas Tabelas 1 e 2 não há limites de concentrações médias para NO_x, SO_x e Ni, porém, nos casos de NO_x e SO_x é possível comparar com os limites estabelecidos para NO₂ e SO₂. A maior concentração média horária de NO_x ultrapassa os limites de NO₂ estabelecidos nas Tabelas 1 e 2. Porém, as emissões de NO_x podem compor não somente de NO₂ mas também outros compostos nitrogenados. As maiores concentrações médias anuais são verificadas principalmente nas regiões onde os navios ficam na fase de espera para atracação. Os tempos longos sobretudo dos navios do tipo granéis sólidos, conforme a Tabela 9, podem justificar as grandes concentrações nessa região. Porém, as localizações geográficas exatas dos navios durante a fase de espera não foram apresentadas. Os modelos que utilizam informações de GPS de cada navios trariam uma maior precisão nesse caso.

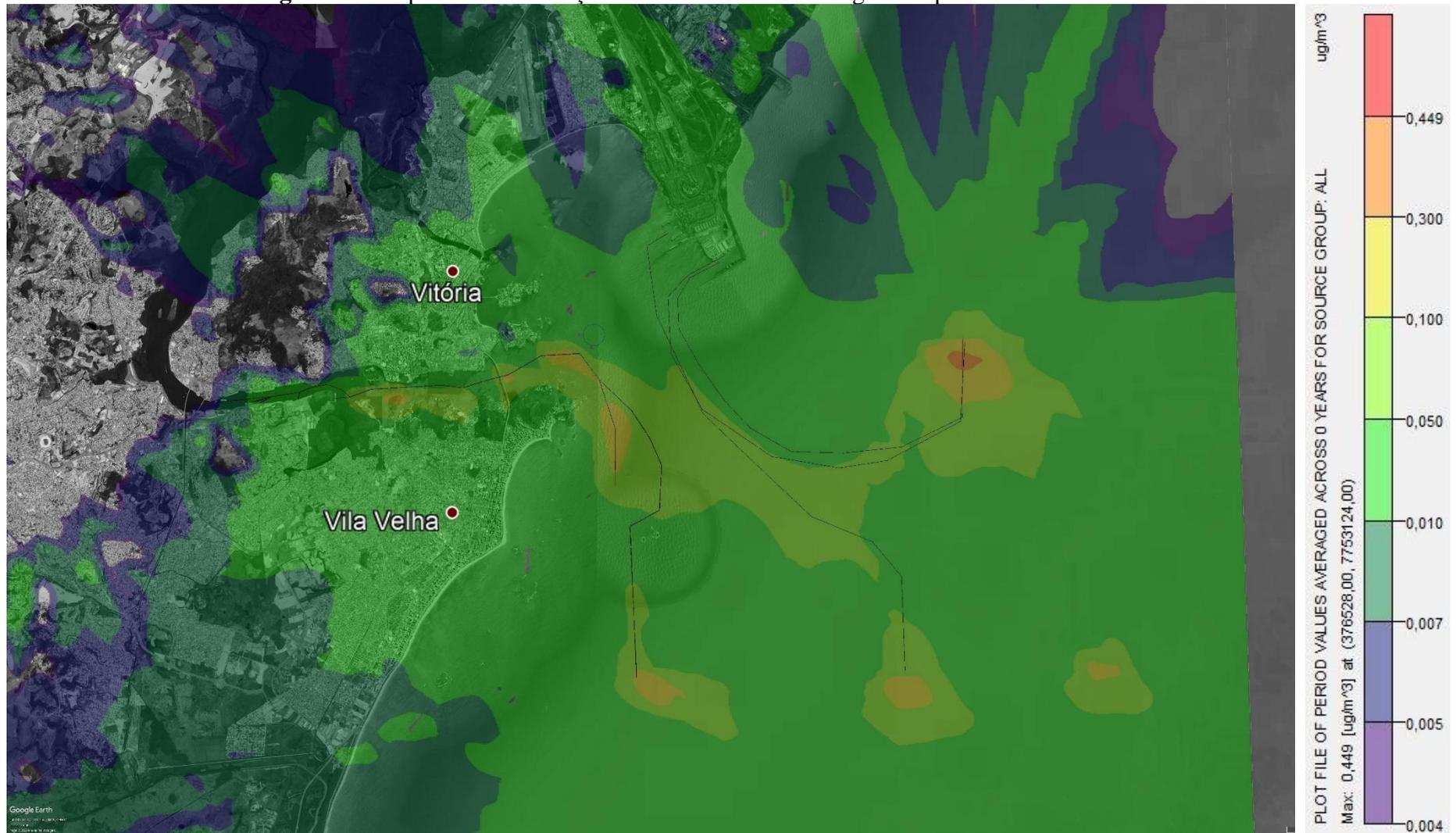
As Figuras 8, 9 e 10 representam o mapa de concentrações médias anuais dos poluentes NO_x, SO_x e Ni, gerados pelas emissões de navios na região de estudo.

Figura 23: Mapa das concentrações médias anuais de NOx geradas pelas emissões de navios.



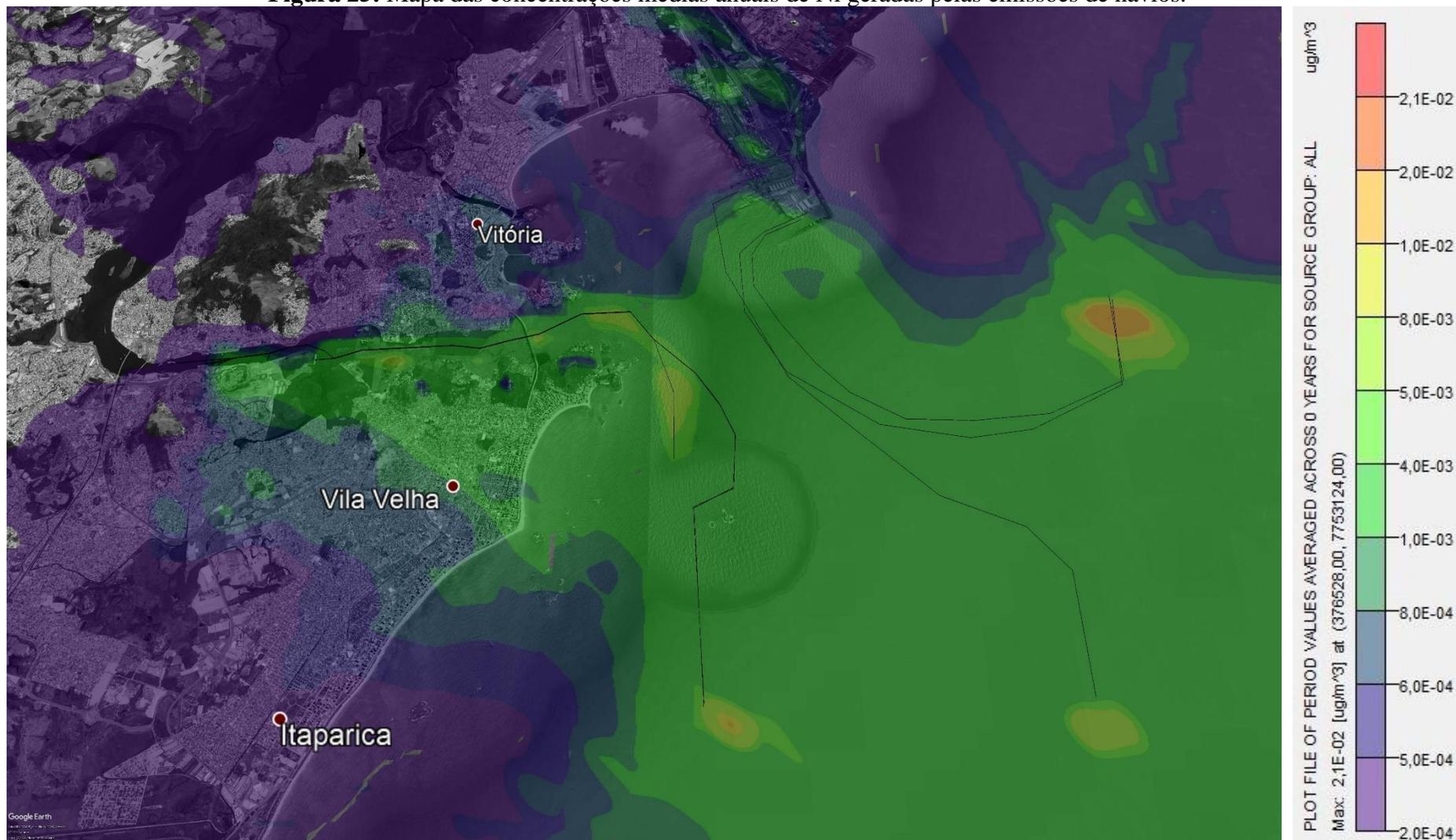
Fonte: elaborado pelo autor utilizando AERMOD e Google Earth (2020).

Figura 24: Mapa das concentrações médias anuais de SO_x geradas pelas emissões de navios.



Fonte: elaborado pelo autor utilizando AERMOD e Google Earth (2020).

Figura 25: Mapa das concentrações médias anuais de Ni geradas pelas emissões de navios.



Fonte: elaborado pelo autor utilizando AERMOD e Google Earth (2020).

6.2.1. Comparação com os padrões de qualidade do ar vigentes

Foram calculados os valores de concentrações máximas de 24 horas e médias anuais de NO_x, SO_x e Ni nas coordenadas geográficas das estações de monitoramento (definidos como pontos discretos no modelo AERMOD) da RAMQAr que realizaram medições das concentrações desses poluentes no ano de 2015. Algumas estações monitoraram NO_x, sendo possível uma análise adequada dos resultados. Outras estações só apresentaram resultados de monitoramento para o poluente NO₂ e SO₂. Nenhuma das estações da RAMQAr realiza medições de concentrações de Ni.

Quanto ao poluente NO_x, observando a Tabela 10, somente as estações de Jardim Camburi (Vitória), Ibes (Vila Velha) e Vila Capixaba (Cariacica) faziam medições das concentrações desse poluente. Porém, as estações do Ibes e de Vila Capixaba apresentaram mais de 80% de dados faltantes. A estação de Jardim Camburi apresentou menos de 4% de dados faltantes. A estação do Centro de Vila Velha apresenta resultados de concentrações de NO₂ somente, porém com cerca de 50% de dados faltantes. Os valores medidos de concentrações das estações só foram apresentados para as estações com menores percentuais de falhas.

Tabela 10: Concentrações simuladas de NO_x nas estações RAMQAr (pontos discretos do modelo).

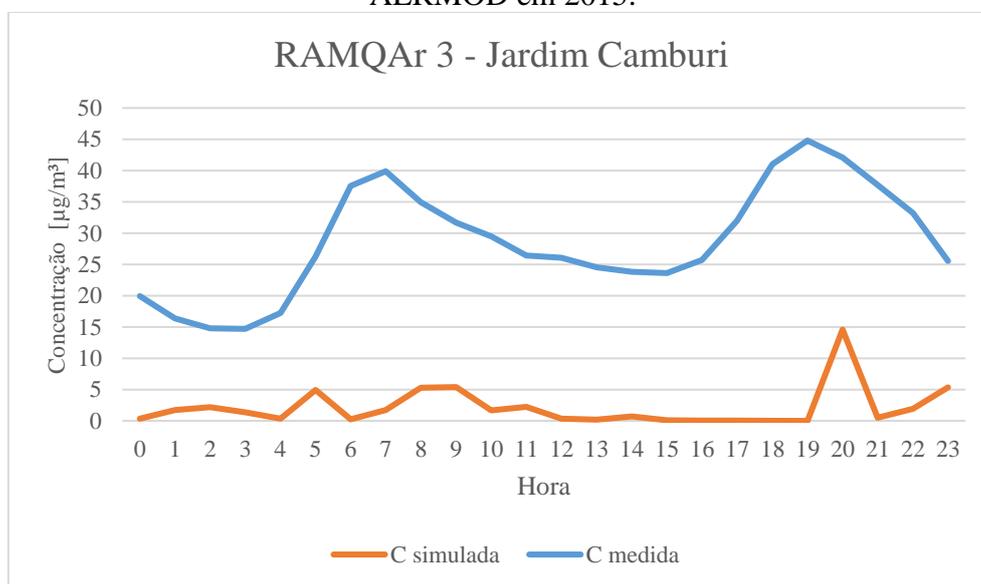
Estação RAMQAr	Máxima Concentração o Média Horária Simulada (µg/m ³) ^(*)	Concentração o Média Anual Simulada (µg/m ³) ^(*)	Monitora NO _x /NO ₂ (2015)? ^(**)	Percentual de falhas (dados horários faltantes/ total de horas no ano %) ^(**)	Máxima Concentração o Horária Medida (µg/m ³) ^(**)	Concentração o Média Anual Medida (µg/m ³) ^(**)
01	1778,2	11,1	Não	-	-	-
02	918,3	10,7	Não	-	-	-
03	2038,8	13,7	Sim (NO _x)	4 %	166,72	28,7
04	2262,8	14,5	Não	-	-	-
05	1696,8	5,1	Não	-	-	-
06	859,1	16,3	Sim (NO _x)	85 %	-	-
07	1742,6	45,7	Sim (NO ₂)	50 %	-	-
08	2359,0	5,1	Sim (NO _x)	89 %	-	-
09	1887,4	13,7	Não	-	-	-

Legenda: 01 – Laranjeiras; 02 – Carapina; 03 – Jardim Camburi; 04 – Enseada do Suá; 05 – Centro de Vitória; 06 – Ibes; 07 – Centro de Vila Velha; 08 – Vila Capixaba; 09 – Cidade Continental.

Fonte: elaborado pelo autor usando dados do modelo AERMOD^(*) e de monitoramento do IEMA^(**) (2020).

Fazendo uma análise comparativa dos dados medidos e simulados de concentração de NOx na estação RAMQAr 3 (Jardim Camburi) com os parâmetros de qualidade do ar estabelecidos pelo CONAMA (na Tabela 1) e IEMA (na Tabela 2), a máxima concentração horária de navios nas concentrações medidas na estação está abaixo dos valores estabelecidos (CONAMA: 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; IEMA: 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mas o valor simulado está muito acima dos padrões. Algumas considerações podem influenciar para o resultado de elevadas concentrações horárias na simulação dos cenários considerando como fontes somente as emissões de navios, como a utilização de fatores de consumo à potência máxima no cálculo das emissões e falta de informações sobre possíveis usos de tecnologias de controle nos navios, sendo, portanto, desconsiderados os abatimentos no cálculo das emissões. Entretanto, os elevados valores de concentração podem indicar uma participação significativa das fontes de navios nas concentrações na estação. As concentrações médias anuais simulada e medida estão abaixo do limite de concentração anual (CONAMA: 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; IEMA: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). A Figura 26 mostra perfil médio das concentrações de NOx em cada hora do dia, conforme os dados de 2015 medidos na estação RAMQAr 3 e simulados pelo AERMOD na mesma coordenada.

Figura 26: Perfil médio horário das concentrações medidas na estação e as simuladas pelo AERMOD em 2015.



Fonte: elaborado pelo autor usando dados do modelo AERMOD (*) e de monitoramento do IEMA (**) (2020).

Quanto ao poluente SOx, a Tabela 11 mostra que houve monitoramento de SO₂ nas estações de Laranjeiras (Serra), Jardim Camburi (Vitória), Ibes (Vila Velha), Centro (Vila Velha) e Vila Capixaba (Cariacica). Essas estações apresentaram pelo menos 75% dos dados monitorados, suficiente para análise. A estação do Centro de Vila Velha dispôs cerca de 50% de dados

válidos. Os valores medidos de concentrações das estações só foram apresentados para as estações com no máximo 25% de dados faltantes, conforme recomenda EPA (2018).

Tabela 11: Concentrações simuladas de SO_x nas estações RAMQAr (pontos discretos do modelo).

Estação RAMQAr	Máxima Concentração o Média de 24 horas Simulada (µg/m ³) ^(*)	Concentração o Média Anual Simulada (µg/m ³) ^(*)	Monitora SO _x /SO ₂ (2015)? ^(**)	Percentual de falhas (dados horários faltantes/ total de horas no ano %) ^(**)	Máxima Concentração o Média de 24 horas Medida (µg/m ³) ^(**)	Concentração o Média Anual Medida (µg/m ³) ^(**)
01	0,22	0,01	Sim (SO ₂)	2 %	36,10	9,95
02	0,04	> 0,01	Não	-	-	-
03	0,05	> 0,01	Sim (SO ₂)	21 %	25,60	5,47
04	0,11	> 0,01	Não	-	-	-
05	0,05	> 0,01	Não	-	-	-
06	0,12	0,02	Sim (SO ₂)	1 %	27,03	7,42
07	0,08	0,03	Sim (SO ₂)	50%	-	-
08	0,05	> 0,01	Sim (SO ₂)	> 1 %	14,85	3,56
09	0,15	0,01	Não	-	-	-

Legenda: 01 – Laranjeiras; 02 – Carapina; 03 – Jardim Camburi; 04 – Enseada do Suá; 05 – Centro de Vitória; 06 – Ibes; 07 – Centro de Vila Velha; 08 – Vila Capixaba; 09 – Cidade Continental.

Fonte: elaborado pelo autor usando dados do modelo AERMOD^(*) e de monitoramento do IEMA^(**) (2020).

Comparando com os padrões de qualidade do ar vigentes, tanto as concentrações médias de 24 horas simuladas, como as medidas nas estações ficaram abaixo dos limites estabelecidos (CONAMA: 125 µg/m³; IEMA: 60). O mesmo ocorreu para as concentrações médias anuais, sendo os valores limites de 40 µg/m³ (CONAMA e IEMA). Os limites estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Isso possivelmente se deve à política internacional de redução de teor de enxofre nas emissões de navios. O IMO determina regiões de controle de emissões chamadas de ECA (*Emission Control Areas*). Em áreas fora dessas regiões, a IMO estabeleceu de 1 de janeiro de 2012 a 1 de janeiro de 2020 o teor máximo de enxofre de 3,50% (IMO, 2020).

Quanto às concentrações de Ni, as estações de monitoramento não realizam monitoramento desse poluente. Na Tabela 12 constam as concentrações médias anuais simuladas em cada estação. A EEA estabelece padrão de qualidade do ar para Ni em nanogramas por metro cúbico (10⁻³ µg/m³), cujo valor é de 20 ng/m³ (EEA, 2019). Todos os registros ficaram consideravelmente abaixo do limite informado pela EEA.

Tabela 12: Concentrações simuladas de Ni nas estações RAMQAr (pontos discretos do modelo).

Estação RAMQAr	Concentração Média Anual Simulada ($10^{-3}\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou ng/m^3)
01	0,67
02	0,31
03	0,34
04	0,46
05	0,28
06	0,71
07	1,34
08	0,16
09	0,52

Legenda: 01 – Laranjeiras; 02 – Carapina; 03 – Jardim Camburi; 04 – Enseada do Suá; 05 – Centro de Vitória; 06 – Ibes; 07 – Centro de Vila Velha; 08 – Vila Capixaba; 09 – Cidade Continental.

Fonte: elaborado pelo autor usando dados do modelo AERMOD (2020).

Devido aos valores baixos de concentrações apresentados para os poluentes NOx e Ni, não foram feitos os perfis de concentração por hora do dia.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo investigar avaliar as emissões resultantes do tráfego de navio na região portuária da Grande Vitória, focando nos poluentes NO_x, SO_x e Ni. O cálculo foi feito considerando cada navio temporariamente uma fonte pontual, quando atracado na zona de atracação, ou fonte linha, quando em trânsito entre a zona do fundeadouro e o berço de atracação. Foi feita uma análise das emissões, bem como das concentrações geradas pelo modelo AERMOD. Os dados disponíveis e a adaptação às metodologias de cálculo das emissões e ao modelo AERMOD foram um meio de otimizar por meio de informações disponíveis a precisão da estimativa dessas fontes, com o intuito de se fazer uma melhor análise. Entretanto, é necessário pontuar essas considerações:

- I. Os fatores de emissão adotados podem variar por navio, idade do navio, tipo de motor e combustível, fase da navegação, entre outros fatores. A utilização de fatores de emissão de cada navio seria a informação mais precisa;
- II. A classificação da frota por tipo de combustível e motor se deu com base na classificação da frota mundial de 2010. Tais informações de cada embarcação traria mais precisão;
- III. A estimativa do consumo de combustíveis se deu por meio de funções empíricas por tipo de navio e tonelagem bruta;
- IV. O tempo de manobra foi estimado com base no Relatório de Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos do Espírito Santo (NPCP-1/2001);
- V. Adotou-se rotas médias baseadas nas observadas em registros das plataformas de monitoramento online dos navios a fim de ser estimar o caminho dos navios a cada berço ou terminal portuário. O trajeto de cada navio individualmente traria mais precisão na estimativa;
- VI. As emissões dos rebocadores que auxiliam na operação de manobra dos navios foram estimadas conforme o que sugere o Relatório de Normas e Procedimentos da Capitania

dos Portos do Espírito Santo (NPCP-1/2001), indicando 02 rebocadores por operação, e utilizando a taxa de consumo média dos rebocadores. Como se trata de uma estimativa, por falta da informação real, esse valor pode não ser preciso;

- VII. O modelo AERMOD apresenta limitações próprias do modelo gaussiano: não incorpora os efeitos de mudança da direção e intensidade da velocidade do vento no espaço; tende a aumentar as imprecisões nas condições de ventos fracos; os parâmetros empíricos podem variar conforme as características da região (topografia, rugosidade, etc); considera a taxa de emissão do contaminante e a direção do vento constantes com o tempo.

8. REFERÊNCIAS

ABRUTYTE, E.; ZUKAUSKAITE, A.; MICKEVICIENE, R.; ZABUKAS, V.; PAULAUSKIENE, T. Evaluation of NO_x emission and dispersion from marine ships in Klaipeda sea port, **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, 22(04): 264-273, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Anuário estatístico aquaviário (2017)**. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/index.php/estatisticas/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2018.

AGRAWAL, H.; EDEN, R.; ZHANG, X.; FINE, P. M.; KATZENSTEIN, A.; MILLER, J. W.; OSPITAL, J.; TEFFERA, S.; AND RD, C. D. Primary particulate matter from ocean-going engines in the Southern California Air Basin, **Environmental Science & Technology**, 43, 5398–5402, 2009.

ALVER, F.; SARAÇ, B. A.; SAHIN, U. A. Estimating of shipping emissions in the Samsun Port from 2010 to 2015. **Atmospheric Pollution Research**, 1309-1042, 2018.

ANDREAO, W. L.; ALBUQUERQUE, T. T. A.; KUMAR, P. Excess deaths associated with fine particulate matter in Brazilian cities. **Atmospheric Environment**, v. 194, p. 71-81, 2018.

AULINGER, A.; MATTHIAS, V.; ZERETZKE, M.; BIESER, J.; QUANTE, M.; BACKES, A. The impact of shipping emissions on air pollution in the greater North Sea region – Part 1: Current emissions and concentrations. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 16, 739-758, 2016.

BERECHMAN, J.; TSENG, P. Estimating the environmental costs of port related emissions: the case of Kaohsiung, **Transportation Research Part D**, 17, 35-38, 2012.

BRUSSEAU, M. L.; MATTHIAS, A. D.; COMRIE, A. C.; MUSIL, S. A. **Atmospheric Pollution. Environmental and Pollution Science**, Cap. 17, 293–309, doi:10.1016/b978-0-12-814719-1.00017-3, 2019.

CHEN, D.; ZHAO, Y.; NELSON, P.; LI, Y.; WANG, X.; ZHOU, Y.; LANG, J.; GUO, X. Estimating ship emissions based on AIS data for port of Tianjin, China. **Atmospheric Environment**, 145, 10 – 18, 2016.

CIMORELLI, A. J.; PERRY, S. G.; VENKATRAM, A.; WEIL, J. C.; PAINE, R. J.; WILSON, R. B.; LEE, R.F.; PETERS, W. D.; BRODE, R. W.; PAUMIER, J. O. AERMOD description of model formulation. **EPA-454/R-03-004**. 2004.

COELLO, J.; WILLIAMS, I.; HUDSON, D. A.; KEMP, S. An AIS-based approach to calculate atmospheric emissions from the UK fishing fleet. **Atmospheric Environment**, 114, 1 – 7, 2015.

CONTINI, D.; GAMBARO, A.; DONATEO, A.; CESCO, P.; CESARI, D.; MERICO, E.; BELOSI, F.; CITRON, M. Inter-annual trend of the primary contribution of ship emissions to PM_{2.5} concentrations in Venice (Italy): Efficiency of emissions mitigation strategies. **Atmospheric Environment**, 102, 183 – 190, 2015.

CONTINI, D.; GAMBARO, A.; BELOSI, F.; DE PIERI, S.; CAIRNS, W.RL; DONATEO, A.; ZANOTTO, E.; CITRON, M. The direct influence of ship traffic on atmospheric PM_{2.5}, PM₁₀ and PAH in Venice. **Journal of Environmental Management**, 92, 2119-2129, 2011.

CORBETT, J. J.; FISCHBECK, P. Emissions from ships, **Science**, 278,823–824, 1997.

CORBETT, J. J.; KÖHLER, H. W. Updated emissions from ocean shipping, **Journal of Geophysical Research**, vol. 108, 4650, doi:10.1029/2003JD003751, 2003.

DALSOREN, S. B.; EIDE, M. S.; ENDRESEN, O.; MJELDE, A. Update on emissions and environmental impacts from the international fleet of ships; the contribution from major ship types and ports. **Atmospheric Chemistry and Physics**. 8, 18323-18384, 2008.

DENIZ, C.; KILIC, A. Estimation and assessment of shipping emissions in the region of Ambarli port, Turkey, **Environmental Progress & Sustainable Energy**, 29:1, 107-115, 2009.

DRACOVIC, B.; TZANNATOS, E.; TSELENTIS, V.; MESTROVIC, R.; SKURIV, M. Ship emissions and their externalities in cruise ports. **Transportation Research Part D**, 1361 – 9209, 2015.

EEA. **Air Quality Standards**. 2019. Disponível em: < <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>>. Acesso em: Fevereiro/2020.

ENTEC. Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community. **Report for European Commission**. Entec UK Limited, Cheshire, Inglaterra, 2002.

EPA. Users guide for the AERMOD meteorological preprocessor (AERMET). **EPA-454/B-03-002**. 2004a.

EPA. Users guide for the AERMOD terrain preprocessor (AERMAP). **EPA-454/B-03-003**. 2004c.

EPA. Users guide for the AMS/EPA Regulatory Model - AERMOD. **EPA-454/B-03-001**. 2004b.

EPA. **Outdoor air quality data – monitor values report – hazardous air pollutants**. 2018. Disponível em: <<https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/about-air-data-reports>>. Acesso em: dezembro de 2019.

GALVÃO, E. S.; REIS JUNIOR, N. C.; LIMA, A. T.; STUETZ, R. M.; ORLANDO, M. T. D.; SANTOS, J. M. Use of inorganic and organic markers associated with their directionality for the apportionment of highly correlated sources of particulate matter. **Science of The Total Environment**, vol. 651, p. 1, 1332 – 1343, 2019.

GARIAZZO, C.; PAPALEOA, V.; PELLICCIONIA, A.; CALORIB, G.; RADICEB, P.; TINARELLIB, G. Application of a Lagrangian particle model to assess the impact of harbour, industrial and urban activities on air quality in the Taranto area, Italy, **Atmospheric Environment**, 41, 6432-6444, 2007.

GUTIÉRREZ, J. M.; CALDERAY, F.; SABORIDO, N.; BOILE, M.; VALERO, R. R.; GRADOS, V. D. Methodologies for estimating shipping emissions and energy consumption: a comparative analysis of current methods. **Energy**. 86, 603-616, 2015.

HAN, S.; YOUN, J. S.; KIM, W. J.; JUNG, Y. W. estimation of air pollutant emissions from port-related sources in the port of Incheon, **Journal of Korean Society for Atmospheric Environment**, 27:4, 460-471, 2011.

HANNA, S. R.; EGAN, B. A.; PURDUM, J.; WAGLER, J. Evaluation of the ADMS, AERMOD and ISC3 dispersion models with de Optex, Duke, Forest, Kinkaid, Indianapolis and Lovett Field data sets. **International Journal of Environment and Pollution**, v. 16, n. 1-6, p. 301-314, 2001.

IEMA. Ecosoft. **Inventário de emissões atmosféricas da Região da Grande Vitória (2009)**. Vitória, 2011. Disponível em: <<https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/inventariodefuentes>>. Acesso em: outubro de 2017.

IEMA. Ecosoft. **Inventário de emissões atmosféricas da Região da Grande Vitória (2009) – Apêndice A – Memorial de cálculo das fontes emissoras da RGV**. Vitória, 2011. Disponível em: <<https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/inventariodefuentes>>. Acesso em: outubro de 2017.

IEMA. Ecosoft. **Inventário de emissões atmosféricas da Região da Grande Vitória (2015)**. Vitória, 2019. Disponível em: <<https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/inventariodefuentes>>. Acesso em: novembro de 2019.

IJSLTRA, T. Air pollution from shipping. **Marine Pollution Bulletin**, Volume 21, No. 7, pp. 319-320, 1990.

IMO. **Sulphur oxides (SO_x) and Particulate Matter – Regulation 14**. Disponível em : <[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SO_x\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)>. Acesso em: Março/2020.

INTERNACIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)**. United Nations. 2018. Disponível em: <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)>. Acesso em: 12 de abril de 2018.

JALKANEM, J. P.; JOHANSSON, L.; HUKKONEN, J. A comprehensive inventory of ship traffic exhaust emissions in the European sea áreas in 2011. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 16, 71–84, 2016.

LI, C.; YUAN, Z.; OU, J.; FAN, X.; YE, S.; XIAO, T.; SHI, Y.; HUANG, Z.; NG, S. K. W.; ZHONG, Z.; ZHENG, J. The impact of marine shipping and its DECA control on air quality in the Pearl River Delta, China. **Science of the Total Environment**, 573, 1 - 10, 2016.

LIU, T. SHEU H. Y.; TSAI, J. Y. Sulfur dioxide emission estimates from merchant vessels in a port area and related control strategies, **Aerosol and Air Quality Research**, 14, 413- 421, 2014.

LUCIALLI, P.; UGOLINI, P.; POLLINI, E. Harbour of ravenna: the contribution of harbour traffic to air quality, **Atmospheric Environment**, 41, 6421-6431, 2007.

MARELLE, L.; THOMAS, J. L.; RAUT, J. C.; LAW, K.S.; JALKANEM, J. P.; JOHANSSON, L.; ROIGER, A.; SCHLAGER, H.; KIM, J.; REITER, A.; WEINZIERL, B. Air quality and radiative impacts of Arctic shipping emissions in the summertime in northern Norway: from the local to the regional scale. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 16, 2359–2379, 2016.

MERK, O. Shipping emissions in ports. OECD publishing (France). **International Transport Forum Discussion Papers**, 2014/20. 2014.

MIOLA, A.; CIUFFO, B. Estimating air emissions from ships: meta-analysis of modelling approaches and available data sources. **Atmospheric Environment**. Vol. 45, 13, 2011, p. 2242-2251.

NG, S. K. W.; LOH, C.; BOOTH, V.; CHAN, J. W. M.; YIP, A. C. K.; LI, Y.; LAU, A. K. H. Policy change driven by an AIS-assisted marine emissions inventory in Hong Kong and the Pearl River Delta. **Atmospheric Environment**, 76, 102-112, 2013.

PAINE, R.J.; LEE, R. F.; BRODE, R.; WILSON, R. B.; CIMORELLI, A. J.; PERRY, S. G.; WEIL, J. C.; VENKATRAM, A.; PETERS, W. D. **Model Evaluation results for AERMOD – draft document**, 1998. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/evalrep.pdf>>. Acesso em 09 de out. 2019.

PANDOLFI, M.; GONZALEZ-CASTANEDO, Y.; ALASTUEY, A.; DE LA ROSA, J. D.; MANTILLA, E.; DE LA CAMPA, A. S.; QUEROL, X.; PEY, J.; AMATO, F.; MORENO, T. Source apportionment of PM10 and PM2.5 at multiple sites in the strait of Gibraltar by PMF: impact of shipping emissions. **Environmental Science and Pollution Research International**. 2011, doi: 10.1007/s11356-010-0373-4. Epub 2010 Jul 11.

PEREZ, N.; PEY, J.; RECHE, C.; CORTES, J.; ALASTUEY, A.; QUEROL, X. Impact of harbour emissions on ambient PM10 and PM2.5 in Barcelona (Spain): Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. **Science of the Total Environment**, 571, 237–250, 2016.

PETROBRAS. **Combustíveis marítimos – informações técnicas**. Comitê de Assistência Técnica Petrobras, Escola de Ciências e Tecnologias de Abastecimento – Universidade Petrobras, 2014. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-tecnico-combustiveis-maritimos-assistencia-tecnica-petrobras.pdf>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.

RODRIGUEZ, G. M.; MURCIA, J. C. Analysis and measurement of NO_x emissions in port auxiliary vessels. **The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation**. DOI: 10.12716/1001.07.03.15. VI. 3, N. 3, 2013.

SARAÇOĞLU, H., DENİZ, C., KILIÇ, A. An investigation on the effects of ship sourced emissions in Izmir port, Turkey, **The Scientific World Journal**, Artigo ID 218324, página 8, 2013.

SHIN, K.; CHEONG, J. estimating transportation-related greenhouse gas emissions in the port of Busan, S. Korea, **Asian Journal of Atmospheric Environment**, Vol. 5-1, pp. 41-46, 2011.

SONG, S. Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shanghai Yangshan port, **Atmospheric Environment**, 82, 288-297, 2014.

SONG, S.; SHON, Z. Current and future emission estimates of exhaust gases and particles from shipping at the largest port in Korea, **Environmental Science Pollution Research**, 21: 6612-6622, 2014.

TCHAVSKA, M.; TOVAR, B. Environmental cost and eco-efficiency from vessel emissions in Las Palmas Port. **Transportation Research Part E**, 83, 126–140, 2015.

TICHAVSKA, M.; TOVAR, B.; GRITSENKO, D.; JOHANSSON, L.; JALKANEN, J. P. Air emissions from ships in port: does regulation make a difference? **Transport Policy**, 2017.

TROZZI, C. Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships: a 2006 update. **Environment & Transport - 2th International Scientific Symposium**. França, 2006.

TROZZI, C.; VACCARO, R.; NICOLO, L. Air pollutants emissions estimate from maritime traffic in the Italian harbours of Venice and Piombino, **The Science of the Total Environment**, 169, 257-263, 1995.

TZANNATOS, E. Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus – Greece, **Atmospheric Environment**, 44, 400-407, 2010.

UNCTAD. United Nations. **Review of maritime transport**. 2017. Disponível em: <http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2017_en.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

VILLALBA, G.; GEMECHU, E. Estimating GHG emissions of marine ports – the case of Barcelona, **Energy Policy** 39, 1363-1368, 2011.

WHO. **Ambient (outdoor) air pollution**. Disponível em: <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)>. Acesso em: fevereiro de 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). “9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action”. United Nations. 2018. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>>. Acesso em: 03 de dezembro de 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Children's environmental health - Air pollution. United Nations. Disponível em: <<http://www.who.int/ceh/risks/cehair/en/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2017.

YANG, D.; KWAN, S. H.; LU, T.; FU, Q.; CHENG, J.; STREETS, D. G.; WU, Y.; LI, J. An emission inventory of marine vessels in Shanghai in 2003. **Environmental Science & Technology**, 41 (15), 5183-5190, 2007.

YAU, P. S.; LEE, S. C.; CORBETT, J. J.; WANG, C.; CHENG, Y.; HO, K. F. Estimation of exhaust emission from ocean-going vessels in Hong Kong. **Science of the Total Environment**, 431, 299-306, 2012.

ANEXO I – CÓDIGO DE CÁLCULO DAS EMISSÕES (MATLAB)

```
tic
[num,txt,data] = xlsread('Input'); %Input_matrix
m = size(data,1); %Number_of_lines
n = size(data,2); %Number_of_columns
start_2015 = [2015 01 01 0 0 0];
start_2016 = [2016 01 01 0 0 0];
start_2017 = [2017 01 01 0 0 0];
port_name = data(:,2)
berth_code = data(:,4);
long_berth = cell2mat(data(:,5));
lat_berth = cell2mat(data(:,6));
long_anchorage = cell2mat(data(:,7));
lat_anchorage = cell2mat(data(:,8));
arrival_date = cell2mat(data(:,9:14));
mooring_date = cell2mat(data(:,15:20));
departure_date = cell2mat(data(:,21:26));
vessel_type = data(:,31); %IPCC_classification
year_built = cell2mat(data(:,32));
maximum_speed = cell2mat(data(:,33));
average_speed = cell2mat(data(:,34));
gross_tonnage = cell2mat(data(:,35));
stack_height = cell2mat(data(:,36)); %m
stack_diameter = cell2mat(data(:,37)); %m
exit_velocity = cell2mat(data(:,38)); %m/s
exit_temperature = cell2mat(data(:,39)); %°C
mooring_time = zeros(m,1);
arrival_time = zeros(m,1);
maneuvering_time = zeros(m,1);
waiting_time = zeros(m,1);
consumption_function = zeros(m,1);
mooring_consumption = zeros(m,1);
waiting_consumption = zeros(m,1);
maneuvering_consumption = zeros(m,1);
tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ME_mooring_consumption = zeros(m,1); %Main_Engine(ME)
AE_mooring_consumption = zeros(m,1); %Auxiliary_Engine(AE)
ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1); %Slow_Speed_Diesel(SSD) %
Marine_Diesel_Oil(MDO) #Marine_Gasoil(MGO)
SSD_BFO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1); %Bunker_Fuel_Oil(BFO)
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1); %Medium_Speed_Diesel(MDS)
MSD_BFO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1);
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1); %High_Speed_Diesel(HSD)
HSD_BFO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1);
GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1); %Gas_Turbine(GT)
GT_BFO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1);
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1); %Steam_Turbine(ST)
ST_BFO_ME_mooring_consumption = zeros(m,1);
SSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
SSD_BFO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
MSD_BFO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
HSD_BFO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
GT_MDO_MGO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
```

```

GT_BFO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
ST_MDO_MGO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
ST_BFO_AE_mooring_consumption = zeros(m,1);
SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
SSD_BFO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
MSD_BFO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
HSD_BFO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
GT_BFO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
ST_BFO_ME_waiting_consumption = zeros(m,1);
SSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
SSD_BFO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
MSD_BFO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
HSD_BFO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
GT_MDO_MGO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
GT_BFO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
ST_MDO_MGO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
ST_BFO_AE_waiting_consumption = zeros(m,1);
SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
GT_BFO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
SSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
SSD_BFO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
GT_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
GT_BFO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ST_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ST_BFO_AE_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
SSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
SSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
GT_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
GT_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ST_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
ST_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption = zeros(m,1);
year_built_category = zeros(m,1);
Maneuvering_NOx_emissions = zeros(m,1);

```

```

Tug_Maneuvering_NOx_emissions = zeros(m,1);
Mooring_NOx_emissions = zeros(m,1);
Waiting_NOx_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_PM_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_PM_emissions = zeros(m,1);
Mooring_PM_emissions = zeros(m,1);
Waiting_PM_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_NMVOC_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_NMVOC_emissions = zeros(m,1);
Mooring_NMVOC_emissions = zeros(m,1);
Waiting_NMVOC_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_SOx_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_SOx_emissions = zeros(m,1);
Mooring_SOx_emissions = zeros(m,1);
Waiting_SOx_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_CO_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_CO_emissions = zeros(m,1);
Mooring_CO_emissions = zeros(m,1);
Waiting_CO_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_Pb_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_Pb_emissions = zeros(m,1);
Mooring_Pb_emissions = zeros(m,1);
Waiting_Pb_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_Cd_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_Cd_emissions = zeros(m,1);
Mooring_Cd_emissions = zeros(m,1);
Waiting_Cd_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_Hg_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_Hg_emissions = zeros(m,1);
Mooring_Hg_emissions = zeros(m,1);
Waiting_Hg_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_As_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_As_emissions = zeros(m,1);
Mooring_As_emissions = zeros(m,1);
Waiting_As_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_Cr_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_Cr_emissions = zeros(m,1);
Mooring_Cr_emissions = zeros(m,1);
Waiting_Cr_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_Cu_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_Cu_emissions = zeros(m,1);
Mooring_Cu_emissions = zeros(m,1);
Waiting_Cu_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_Ni_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_Ni_emissions = zeros(m,1);
Mooring_Ni_emissions = zeros(m,1);
Waiting_Ni_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_Se_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_Se_emissions = zeros(m,1);
Mooring_Se_emissions = zeros(m,1);
Waiting_Se_emissions = zeros(m,1);
Maneuvering_Zn_emissions = zeros(m,1);
Tug_Maneuvering_Zn_emissions = zeros(m,1);
Mooring_Zn_emissions = zeros(m,1);
Waiting_Zn_emissions = zeros(m,1);
base_year = departure_date(:,1);
for k = 1:m %Mooring_Time %hours
if mooring_date(k,1) >= base_year(k)
mooring_time(k) = etime(departure_date(k,:),mooring_date(k,:))*(1/(60*60));
else if departure_date(k,1) >= base_year(k)
switch base_year(k)
case 2015
mooring_time(k) = etime(departure_date(k,:),start_2015)*(1/
(60*60));
mooring_date(k,:) = start_2015;

```

```

case 2016
mooring_time(k) = etime(departure_date(k,:),start_2016)*(1/
(60*60));
mooring_date(k,:) = start_2016;
case 2017
mooring_time(k) = etime(departure_date(k,:),start_2017)*(1/
(60*60));
mooring_date(k,:) = start_2017;
end
else
mooring_time(k) = 0;
end
end
for k = 1:m %Maneuvering_and_Waiting_Times #hours
if arrival_date(k,1) >= base_year(k)
arrival_time(k) = etime(mooring_date(k,:),arrival_date(k,:))*(1/(60*60));
else if mooring_date(k,1) >= base_year(k)
switch base_year(k)
case 2015
arrival_time(k) = etime(mooring_date(k,:),start_2015)*(1/(60*60));
arrival_date(k,:) = start_2015;
case 2016
arrival_time(k) = etime(mooring_date(k,:),start_2016)*(1/(60*60));
31/07/19 22:26 C:\Users\VitorMateus\Desktop\DISSERT... 5
of 36
arrival_date(k,:) = start_2016;
case 2017
arrival_time(k) = etime(mooring_date(k,:),start_2017)*(1/(60*60));
arrival_date(k,:) = start_2017;
end
else
arrival_time(k)= 0;
end
end
end
for k = 1:m %Maneuvering_and_Waiting_Times_Separated #hours
if strcmp(vessel_type(k),'Tug')
maneuvering_time(k) = 0;
waiting_time(k) = arrival_time(k);
else
if arrival_time(k) > 2
maneuvering_time(k) = 2;
waiting_time(k) = arrival_time(k) - maneuvering_time(k);
else
maneuvering_time(k) = arrival_time(k);
waiting_time(k) = 0;
end
end
end
for k = 1:m %Consumption_Calculation #tonnes/day
if strcmp(vessel_type(k),'Solid Bulk Carrier');
if isnan(gross_tonnage(k));
consumption_function(k) = 33.8;
else
a = 20.186;
b = 0.00049;
consumption_function(k) = a + gross_tonnage(k)*b;
end
elseif strcmp(vessel_type(k),'Tug');
if isnan(gross_tonnage(k));
consumption_function(k) = 14.4;
else
a = 5.6511;

```

```

b = 0.01048;
consumption_function(k) = a + gross_tonnage(k)*b;
end
elseif strcmp(vessel_type(k), 'General Cargo');
if isnan(gross_tonnage(k));
consumption_function(k) = 21.3;
else
a = 9.8197;
b = 0.00143;
consumption_function(k) = a + gross_tonnage(k)*b;
end
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Container Ship');
if isnan(gross_tonnage(k));
consumption_function(k) = 65.9;
else
a = 8.0552;
b = 0.00235;
consumption_function(k) = a + gross_tonnage(k)*b;
end
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Liquid Bulk Carrier');
if isnan(gross_tonnage(k));
consumption_function(k) = 41.8;
else
a = 14.685;
b = 0.00079;
consumption_function(k) = a + gross_tonnage(k)*b;
end
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Fishing');
if isnan(gross_tonnage(k));
consumption_function(k) = 5.5;
else
a = 1.9387;
b = 0.00448;
consumption_function(k) = a + gross_tonnage(k)*b;
end
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Passenger');
if isnan(gross_tonnage(k));
consumption_function(k) = 70.2;
else
a = 16.904;
b = 0.00198;
consumption_function(k) = a + gross_tonnage(k)*b;
end
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Passenger/Ro-Ro/Cargo');
if isnan(gross_tonnage(k));
consumption_function(k) = 32.3;
else
a = 12.834;
b = 0.00156;
consumption_function(k) = a + gross_tonnage(k)*b;
end
else strcmp(vessel_type(k), 'Other Ships');
if isnan(gross_tonnage(k));
consumption_function(k) = 26.4;
else
a = 9.7126;
b = 0.00091;
consumption_function(k) = a + gross_tonnage(k)*b;
end
end
end
for k = 1:m %Phases_Consumption_Calculation %tonnes/year
mooring_consumption(k) = mooring_time(k)*consumption_function(k)*(1/24);
waiting_consumption(k) = waiting_time(k)*consumption_function(k)*(1/24);

```

```

maneuvering_consumption(k) =
maneuvering_time(k)*consumption_function(k)*(1/24);
tug_maneuvering_consumption(k) = maneuvering_time(k)*2*14.4*(1/24);
end
for k = 1:m %Main_and_Auxiliary_Engine_Consumptions_by_Phases %tonnes/year
31/07/19 22:26 C:\Users\VitorMateus\Desktop\DISSERT... 7
of 36
if gross_tonnage(k) > 500;
if strcmp(vessel_type(k), 'Solid Bulk Carrier');
ME = 0.98;
AE = 0.02;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Tug'); %Miscellaneous_Ship
ME = 0.98;
AE = 0.02;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'General Cargo');
ME = 0.95;
AE = 0.05;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Container Ship');
ME = 0.99;
AE = 0.01;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Liquid Bulk Carrier');
ME = 0.99;
AE = 0.01;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Fishing');
ME = 0.98;
AE = 0.02;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Passenger');
ME = 0.98;
AE = 0.02;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Passenger/Ro-Ro/Cargo');
ME = 0.99;
AE = 0.01;
else strcmp(vessel_type(k), 'Other Ships');
ME = 0.98;
AE = 0.02;
end
else
ME = 1;
AE = 0;
end
ME_mooring_consumption(k) = ME*mooring_consumption(k);
AE_mooring_consumption(k) = AE*mooring_consumption(k);
ME_waiting_consumption(k) = ME*waiting_consumption(k);
AE_waiting_consumption(k) = AE*waiting_consumption(k);
ME_maneuvering_consumption(k) = ME*maneuvering_consumption(k);
AE_maneuvering_consumption(k) = AE*maneuvering_consumption(k);
ME_tug_maneuvering_consumption(k) = 0.98*tug_maneuvering_consumption(k);
AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0.02*tug_maneuvering_consumption(k);
end
for k = 1:m
%Main_and_Auxiliary_Engine_Consumptions_by_Phase_and_Engine/Fuel_Type %
tonnes/year
if strcmp(vessel_type(k), 'Solid Bulk Carrier');
SSD_MDO_MGO = 0.0037;
SSD_BFO = 0.9163;
MSD_MDO_MGO = 0.0063;
MSD_BFO = 0.0729;
HSD_MDO_MGO = 0.0006;
HSD_BFO = 0.0002;
GT_MDO_MGO = 0;
GT_BFO = 0;
ST_MDO_MGO = 0;
ST_BFO = 0;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Tug');

```

```

SSD_MDO_MGO = 0;
SSD_BFO = 0;
MSD_MDO_MGO = 0.3999;
MSD_BFO = 0.0614;
HSD_MDO_MGO = 0.528;
HSD_BFO = 0.0078;
GT_MDO_MGO = 0.0028;
GT_BFO = 0;
ST_MDO_MGO = 0;
ST_BFO = 0;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'General Cargo');
SSD_MDO_MGO = 0.0036;
SSD_BFO = 0.4459;
MSD_MDO_MGO = 0.0848;
MSD_BFO = 0.4171;
HSD_MDO_MGO = 0.043;
HSD_BFO = 0.0045;
GT_MDO_MGO = 0;
GT_BFO = 0.0011;
ST_MDO_MGO = 0;
ST_BFO = 0;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Container Ship');
SSD_MDO_MGO = 0.0123;
SSD_BFO = 0.9298;
MSD_MDO_MGO = 0.0011;
MSD_BFO = 0.0556;
HSD_MDO_MGO = 0.0003;
HSD_BFO = 0.0009;
GT_MDO_MGO = 0;
GT_BFO = 0;
ST_MDO_MGO = 0;
ST_BFO = 0;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Liquid Bulk Carrier');
SSD_MDO_MGO = 0.0087;
SSD_BFO = 0.7408;
MSD_MDO_MGO = 0.0317;
MSD_BFO = 0.2047;
HSD_MDO_MGO = 0.0052;
HSD_BFO = 0.0075;
GT_MDO_MGO = 0;
GT_BFO = 0.0014;
ST_MDO_MGO = 0;
ST_BFO = 0;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Fishing');
SSD_MDO_MGO = 0;
SSD_BFO = 0;
MSD_MDO_MGO = 0.8442;
MSD_BFO = 0.0382;
HSD_MDO_MGO = 0.1176;
HSD_BFO = 0;
GT_MDO_MGO = 0;
GT_BFO = 0;
ST_MDO_MGO = 0;
31/07/19 22:26 C:\Users\VitorMateus\Desktop\DISSERT... 9
of 36
ST_BFO = 0;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Passenger');
SSD_MDO_MGO = 0;
SSD_BFO = 0.0381;
MSD_MDO_MGO = 0.0568;
MSD_BFO = 0.7697;
HSD_MDO_MGO = 0.0368;
HSD_BFO = 0.0176;
GT_MDO_MGO = 0.0479;

```

```

GT_BFO = 0.0329;
ST_MDO_MGO = 0;
ST_BFO = 0.0002;
elseif strcmp(vessel_type(k), 'Passenger/Ro-Ro/Cargo');
SSD_MDO_MGO = 0.0017;
SSD_BFO = 0.2009;
MSD_MDO_MGO = 0.0986;
MSD_BFO = 0.5981;
HSD_MDO_MGO = 0.0557;
HSD_BFO = 0.0223;
GT_MDO_MGO = 0.0227;
GT_BFO = 0;
ST_MDO_MGO = 0;
ST_BFO = 0;
else strcmp(vessel_type(k), 'Other Ships');
SSD_MDO_MGO = 0.0048;
SSD_BFO = 0.3014;
MSD_MDO_MGO = 0.2954;
MSD_BFO = 0.1963;
HSD_MDO_MGO = 0.1667;
HSD_BFO = 0.0296;
GT_MDO_MGO = 0.0038;
GT_BFO = 0.002;
ST_MDO_MGO = 0;
ST_BFO = 0;
end
SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) = SSD_MDO_MGO*ME_mooring_consumption(k);
SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) = SSD_BFO*ME_mooring_consumption(k);
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) = MSD_MDO_MGO*ME_mooring_consumption(k);
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) = MSD_BFO*ME_mooring_consumption(k);
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) = HSD_MDO_MGO*ME_mooring_consumption(k);
HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) = HSD_BFO*ME_mooring_consumption(k);
GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) = GT_MDO_MGO*ME_mooring_consumption(k);
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) = GT_BFO*ME_mooring_consumption(k);
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) = ST_MDO_MGO*ME_mooring_consumption(k);
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) = ST_BFO*ME_mooring_consumption(k);
SSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) = SSD_MDO_MGO*AE_mooring_consumption(k);
SSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) = SSD_BFO*AE_mooring_consumption(k);
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) = MSD_MDO_MGO*AE_mooring_consumption(k);
MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) = MSD_BFO*AE_mooring_consumption(k);
HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) = HSD_MDO_MGO*AE_mooring_consumption(k);
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) = HSD_BFO*AE_mooring_consumption(k);
GT_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) = GT_MDO_MGO*AE_mooring_consumption(k);
GT_BFO_AE_mooring_consumption(k) = GT_BFO*AE_mooring_consumption(k);
ST_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) = ST_MDO_MGO*AE_mooring_consumption(k);
ST_BFO_AE_mooring_consumption(k) = ST_BFO*AE_mooring_consumption(k);
31/07/19 22:26 C:\Users\VitorMateus\Desktop\DISSERT... 10
of 36
SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) = SSD_MDO_MGO*ME_waiting_consumption(k);
SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) = SSD_BFO*ME_waiting_consumption(k);
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) = MSD_MDO_MGO*ME_waiting_consumption(k);
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) = MSD_BFO*ME_waiting_consumption(k);
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) = HSD_MDO_MGO*ME_waiting_consumption(k);
HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) = HSD_BFO*ME_waiting_consumption(k);
GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) = GT_MDO_MGO*ME_waiting_consumption(k);
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) = GT_BFO*ME_waiting_consumption(k);
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) = ST_MDO_MGO*ME_waiting_consumption(k);
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) = ST_BFO*ME_waiting_consumption(k);
SSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) = SSD_MDO_MGO*AE_waiting_consumption(k);
SSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) = SSD_BFO*AE_waiting_consumption(k);
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) = MSD_MDO_MGO*AE_waiting_consumption(k);
MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) = MSD_BFO*AE_waiting_consumption(k);
HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) = HSD_MDO_MGO*AE_waiting_consumption(k);
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) = HSD_BFO*AE_waiting_consumption(k);

```

```

GT_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) = GT_MDO_MGO*AE_waiting_consumption(k);
GT_BFO_AE_waiting_consumption(k) = GT_BFO*AE_waiting_consumption(k);
ST_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) = ST_MDO_MGO*AE_waiting_consumption(k);
ST_BFO_AE_waiting_consumption(k) = ST_BFO*AE_waiting_consumption(k);
SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) =
SSD_MDO_MGO*ME_maneuvering_consumption
(k);
SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) = SSD_BFO*ME_maneuvering_consumption(k);
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) =
MSD_MDO_MGO*ME_maneuvering_consumption
(k);
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) = MSD_BFO*ME_maneuvering_consumption(k);
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) =
HSD_MDO_MGO*ME_maneuvering_consumption
(k);
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) = HSD_BFO*ME_maneuvering_consumption(k);
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) =
GT_MDO_MGO*ME_maneuvering_consumption
(k);
GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) = GT_BFO*ME_maneuvering_consumption(k);
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) =
ST_MDO_MGO*ME_maneuvering_consumption
(k);
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) = ST_BFO*ME_maneuvering_consumption(k);
SSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) =
SSD_MDO_MGO*AE_maneuvering_consumption
(k);
SSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) = SSD_BFO*AE_maneuvering_consumption(k);
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) =
MSD_MDO_MGO*AE_maneuvering_consumption
(k);
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) = MSD_BFO*AE_maneuvering_consumption(k);
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) =
HSD_MDO_MGO*AE_maneuvering_consumption
(k);
HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) = HSD_BFO*AE_maneuvering_consumption(k);
GT_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) =
GT_MDO_MGO*AE_maneuvering_consumption
(k);
GT_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) = GT_BFO*AE_maneuvering_consumption(k);
ST_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) =
ST_MDO_MGO*AE_maneuvering_consumption
(k);
ST_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) = ST_BFO*AE_maneuvering_consumption(k);
SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) = 0.3999
*ME_tug_maneuvering_consumption(k);
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) =
0.0614*ME_tug_maneuvering_consumption(k);
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) = 0.528
*ME_tug_maneuvering_consumption(k);
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) =
0.0078*ME_tug_maneuvering_consumption
(k);
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) = 0.0028
*ME_tug_maneuvering_consumption(k);
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
SSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
SSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0.3999
*AE_tug_maneuvering_consumption(k);

```

```

MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) =
0.0614*AE_tug_maneuvering_consumption
(k);
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0.528
*AE_tug_maneuvering_consumption(k);
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) =
0.0078*AE_tug_maneuvering_consumption
(k);
GT_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0.0028
*AE_tug_maneuvering_consumption(k);
GT_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
ST_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
ST_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) = SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
SSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k);
SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) = SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
SSD_BFO_AE_mooring_consumption(k);
GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) = GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k);
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) = GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_AE_mooring_consumption(k);
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) = ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k);
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) = ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_BFO_AE_mooring_consumption(k);
SSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) = 0;
SSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) = 0;
GT_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) = 0;
GT_BFO_AE_mooring_consumption(k) = 0;
ST_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) = 0;
ST_BFO_AE_mooring_consumption(k) = 0;
SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) = SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
SSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k);
SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) = SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
SSD_BFO_AE_waiting_consumption(k);
GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) = GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k);
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) = GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_AE_waiting_consumption(k);
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) = ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k);
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) = ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_BFO_AE_waiting_consumption(k);
SSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) = 0;
SSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) = 0;
GT_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) = 0;
GT_BFO_AE_waiting_consumption(k) = 0;
ST_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) = 0;
ST_BFO_AE_waiting_consumption(k) = 0;
SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) =
SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption
(k) + SSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k);
SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) = SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
SSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k);
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) =
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption
(k) + GT_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k);
GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) = GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_AE_maneuvering_consumption(k);
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) =
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption
(k) + ST_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k);
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) = ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_AE_maneuvering_consumption(k);
SSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) = 0;

```

```

SSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) = 0;
GT_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) = 0;
GT_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) = 0;
ST_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) = 0;
ST_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) = 0;
SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) =
SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
SSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k);
SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) =
SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + SSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k);
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) =
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k);
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) =
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + GT_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k);
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) =
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k);
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) =
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ST_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k);
SSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
SSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
GT_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
GT_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
ST_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
ST_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) = 0;
end
for k = 1:m %Ship_Age_Classification
if isnan(year_built(k));
year_built_category(k) = 0;
else if year_built(k) < 2002;
year_built_category(k) = 1;
else if year_built(k) <= 2008;
year_built_category(k) = 2;
else
year_built_category(k) = 3;
end
end
end
end
for k = 1:m %NOx_Emissions %tonnes/year
switch year_built_category(k)
case 1
SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 66.7;
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 67.4;
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 47.5;
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 47.9;
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 43;
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 43.6;
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 9.1;
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 9.2;
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 5;
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 5.1;
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 64.1;
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 64.8;
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 50.2;
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 51.1;
case 2
SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 64.2;
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 65.1;
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 45.7;
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 46.2;

```

```

HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 41.7;
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 42.3;
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 8.8;
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 8.9;
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 5;
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 4.8;
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 62;
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 62.5;
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 48.6;
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 49.4;
case 3
SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 62.1;
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 62.9;
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 44.3;
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 44.6;
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 40.1;
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 40.6;
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 8.5;
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 8.6;
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 4.7;
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 4.7;
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 59.7;
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 60.4;
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 46.8;
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = 47.6;
case 0
SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (66.7 + 64.2 + 62.1)/3;
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (67.4 + 65.1 + 62.9)/3;
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (47.5 + 45.7 + 44.3)/3;
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (47.9 + 46.2 + 44.6)/3;
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (43 + 41.7 + 40.1)/3;
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (43.6 + 42.3 + 40.6)/3;
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (9.1 + 8.8 + 8.5)/3;
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (9.2 + 8.9 + 8.6)/3;
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (5 + 5 + 4.7)/3;
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (5.1 + 4.8 + 4.7)/3;
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (64.1 + 62 + 59.7)/3;
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (64.8 + 62.5 + 60.4)/3;
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (50.2 + 48.6 + 46.8)/3;
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx = (51.1 + 49.4 + 47.6)/3;
end
Mooring_NOx_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption
(k) +
...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption
(k) + ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption
(k) + ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
...

```

```

HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) *
(1/1000);
Waiting_NOx_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption
(k) +
...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption
(k) + ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption
(k) + ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) *
(1/1000);
Maneuvering_NOx_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consump
tion(k)
+ ...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k)
+ ...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumpt
ion(k)
+ ...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumpt
ion(k)
+ ...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k)
+ ...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumptio
n(k) +
...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumptio
n(k) +
...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumpt
ion(k)
+ ...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k)
+ ...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumpt
ion(k)

```

```

+ ...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k)
*(1/1000);
Tug_Maneuvering_NOx_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption
n(k) + ...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NOx*HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption
(k)*(1/1000);
end
%Emission Factors of TSP/PM10/PM2.5 and NMVOC %EEA(2016)
SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 4.4;
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 11.2;
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 4;
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 10.3;
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 4;
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 10.3;
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 1.6;
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 4.5;
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 2.8;
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 7.1;
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 1.4;
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 3.5;
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 1.4;
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM = 3.5;
SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 8.6;
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 8.2;
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 6.6;
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 6.3;
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 2.6;
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 2.5;
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 1.5;
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 1.5;
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 0.9;
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 0.9;

```

```

MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 1.8;
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 1.7;
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 1.8;
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC = 1.7;
for k = 1:m %PM_and_NMVOC_Emissions %tonnes/year
Mooring_PM_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(
k) +
...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+ ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+ ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) *
(1/1000);
Waiting_PM_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(
k) +
...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+ ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+ ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) *
(1/1000);
Maneuvering_PM_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumpti
on(k)
+ ...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumpti
on(k) +
...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumpti
on(k) +

```

```

...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption
(k) +
...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption
(k) +
...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumpti
on(k) +
...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumpti
on(k) +
...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) *
(1/1000);
Tug_Maneuvering_PM_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_cons
umption
(k) + ...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_cons
umption
(k) + ...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_cons
umption
(k) + ...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consump
tion(k)
+ ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k)
+ ...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consump
tion(k)
+ ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k)
+ ...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_cons
umption
(k) + ...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption
(k) + ...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_cons
umption
(k) + ...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_PM*HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption
(k) * (1/1000);
Mooring_NMVOC_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumpti
on(k) +
...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
...

```

```

MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) +
...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) *
(1/1000);
Waiting_NMVOC_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) +
...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) *
(1/1000);
Maneuvering_NMVOC_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption

```

```

(k) + ...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption
(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption
(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k)
+ ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k)
+ ...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k)
+ ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k)
+ ...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption
(k) + ...
MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k) + ...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption
(k) + ...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k)*(1/1000);
Tug_Maneuvering_NMVOC_emissions(k) =
(SSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
SSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
GT_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
ST_MDO_MGO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) + ...

```

```

MSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
HSD_MDO_MGO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_AE_Maneuvering_Hotelling_EF_NMVOC*HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k))*
(1/1000);
end
%Sulphur_content_in_ECA_outside_areas
S_MDO_MGO = 0.001;
S_BFO = 0.035;
EF_SOx = 20; %kg/tonne
EF_CO = 7.4; %kg/tonne
%Heavy_Metals_Emission_Factors
MGO_MDO_EF_Pb = 0.13; %g/tonne
BFO_EF_Pb = 0.18; %g/tonne
MGO_MDO_EF_Cd = 0.01; %g/tonne
BFO_EF_Cd = 0.02; %g/tonne
MGO_MDO_EF_Hg = 0.03; %g/tonne
BFO_EF_Hg = 0.02; %g/tonne
MGO_MDO_EF_As = 0.04; %g/tonne
BFO_EF_As = 0.68; %g/tonne
MGO_MDO_EF_Cr = 0.05; %g/tonne
BFO_EF_Cr = 0.72; %g/tonne
MGO_MDO_EF_Cu = 0.88; %g/tonne
BFO_EF_Cu = 1.25; %g/tonne
MGO_MDO_EF_Ni = 1; %g/tonne
BFO_EF_Ni = 32; %g/tonne
MGO_MDO_EF_Se = 0.1; %g/tonne
BFO_EF_Se = 0.21; %g/tonne
MGO_MDO_EF_Zn = 1.2; %g/tonne
BFO_EF_Zn = 1.2; %g/tonne
for k = 1:m %SOx_CO_and_Heavy_Metal_Emissions %tonnes/year
Mooring_SOx_emissions(k) =
EF_SOx*(S_MDO_MGO*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k))
+ S_BFO*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k)))*(1/1000);
Waiting_SOx_emissions(k) =
EF_SOx*(S_MDO_MGO*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k))
+ S_BFO*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k)))*(1/1000);
Maneuvering_SOx_emissions(k) = EF_SOx*(S_MDO_MGO*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
S_BFO*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +

```

```

MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k))*(1/1000);
Tug_Maneuvering_SOx_emissions(k) = EF_SOx*(S_MDO_MGO*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
S_BFO*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k))*(1/1000);
Mooring_CO_emissions(k) = EF_CO*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k)
+ SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k))*(1/1000);
Waiting_CO_emissions(k) = EF_CO*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k)
+ SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k))*(1/1000);
Maneuvering_CO_emissions(k) = EF_CO*(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k)
+
...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) + ...
SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k)
+ ...
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k)
*(1/1000);
Tug_Maneuvering_CO_emissions(k) = EF_CO*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +

```

```

MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k))*(1/1000);
Mooring_Pb_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Pb*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k))
+ BFO_EF_Pb*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k)))*(1/1000000);
Waiting_Pb_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Pb*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k))
+ BFO_EF_Pb*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k)))*(1/1000000);
Maneuvering_Pb_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Pb*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Pb*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k)))*(1/1000000);
Maneuvering_Pb_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Pb*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Pb*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)))*(1/1000000);
Mooring_Cd_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cd*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k))

```

```

+ BFO_EF_Cd*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k))* (1/1000000);
Waiting_Cd_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cd*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k))
+ BFO_EF_Cd*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k))* (1/1000000);
Maneuvering_Cd_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cd*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Cd*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k))* (1/1000000);
Tug_Maneuvering_Cd_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cd*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Cd*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k))* (1/1000000);
Mooring_Hg_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Hg*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k))
+ BFO_EF_Hg*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k))* (1/1000000);
Waiting_Hg_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Hg*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k))
+ BFO_EF_Hg*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +

```

```

GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k))*(1/1000000);
Maneuvering_Hg_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Hg*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Hg*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k)))*(1/1000000);
Tug_Maneuvering_Hg_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Hg*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Hg*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)))*(1/1000000);
Mooring_As_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_As*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k))
+ BFO_EF_As*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k)))*(1/1000000);
Waiting_As_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_As*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k))
+ BFO_EF_As*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k)))*(1/1000000);
Maneuvering_As_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_As*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_As*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...

```

```

HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k))*(1/1000000);
Tug_Maneuvering_As_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_As*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_As*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)))*(1/1000000);
Mooring_Cr_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cr*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k)
+ BFO_EF_Cr*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k)))*(1/1000000);
Waiting_Cr_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cr*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k)
+ BFO_EF_Cr*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k)))*(1/1000000);
Maneuvering_Cr_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cr*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Cr*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k)))*(1/1000000);
Tug_Maneuvering_Cr_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cr*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Cr*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +

```

```

MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k))*(1/1000000);
Mooring_Cu_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cu*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k))
+ BFO_EF_Cu*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k)))*(1/1000000);
Waiting_Cu_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cu*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k))
+ BFO_EF_Cu*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k)))*(1/1000000);
Maneuvering_Cu_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cu*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Cu*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k)))*(1/1000000);
Tug_Maneuvering_Cu_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Cu*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Cu*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)))*(1/1000000);
Mooring_Ni_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Ni*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k))

```

```

+ BFO_EF_Ni*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k))* (1/1000000);
Waiting_Ni_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Ni*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k)
+ BFO_EF_Ni*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k))* (1/1000000);
Maneuvering_Ni_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Ni*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Ni*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k))* (1/1000000);
Tug_Maneuvering_Ni_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Ni*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Ni*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k))* (1/1000000);
Mooring_Se_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Se*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k)
+ BFO_EF_Se*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k))* (1/1000000);
Waiting_Se_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Se*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k)
+ BFO_EF_Se*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +

```

```

GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k))*(1/1000000);
Maneuvering_Se_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Se*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Se*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k)))*(1/1000000);
Tug_Maneuvering_Se_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Se*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Se*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)))*(1/1000000);
Mooring_Zn_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Zn*(SSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_mooring_consumption(k))
+ BFO_EF_Zn*(SSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) + HSD_BFO_ME_mooring_consumption(k) +
GT_BFO_ME_mooring_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_mooring_consumption(k) + MSD_BFO_AE_mooring_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_mooring_consumption(k)))*(1/1000000);
Waiting_Zn_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Zn*(SSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k)
+
MSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
HSD_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + GT_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k) + HSD_MDO_MGO_AE_waiting_consumption(k))
+ BFO_EF_Zn*(SSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
MSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) + HSD_BFO_ME_waiting_consumption(k) +
GT_BFO_ME_waiting_consumption(k) + ...
ST_BFO_ME_waiting_consumption(k) + MSD_BFO_AE_waiting_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_waiting_consumption(k)))*(1/1000000);
Maneuvering_Zn_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Zn*
(SSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Zn*(SSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...

```

```

HSD_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + GT_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_BFO_AE_maneuvering_consumption(k) + HSD_BFO_AE_maneuvering_consumption
(k))*(1/1000000);
Tug_Maneuvering_Zn_emissions(k) = (MGO_MDO_EF_Zn*
(SSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
GT_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_MDO_MGO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
MSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_MDO_MGO_AE_tug_maneuvering_consumption(k)) + ...
BFO_EF_Zn*(SSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
MSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) + ...
HSD_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
GT_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
ST_BFO_ME_tug_maneuvering_consumption(k) +
...
MSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k) +
HSD_BFO_AE_tug_maneuvering_consumption(k))*(1/1000000);
end
T1 = table(base_year, berth_code, vessel_type, Maneuvering_NOx_emissions,
Mooring_NOx_emissions, Waiting_NOx_emissions, Maneuvering_PM_emissions, ...
Mooring_PM_emissions, Waiting_PM_emissions, Maneuvering_NMVOC_emissions,
Mooring_NMVOC_emissions, Waiting_NMVOC_emissions, Maneuvering_SOx_emissions,
...
Mooring_SOx_emissions, Waiting_SOx_emissions, Maneuvering_CO_emissions,
Mooring_CO_emissions, Waiting_CO_emissions, ...
Maneuvering_Pb_emissions, Mooring_Pb_emissions, Waiting_Pb_emissions,
Maneuvering_Cd_emissions, Mooring_Cd_emissions, Waiting_Cd_emissions, ...
Maneuvering_Hg_emissions, Mooring_Hg_emissions, Waiting_Hg_emissions,
Maneuvering_As_emissions, Mooring_As_emissions, ...
Waiting_As_emissions, Maneuvering_Cr_emissions, Mooring_Cr_emissions,
Waiting_Cr_emissions, Maneuvering_Cu_emissions, ...
Mooring_Cu_emissions, Waiting_Cu_emissions, Maneuvering_Ni_emissions,
Mooring_Ni_emissions, Waiting_Ni_emissions, ...
Maneuvering_Se_emissions, Mooring_Se_emissions, Waiting_Se_emissions,
Maneuvering_Zn_emissions, Mooring_Zn_emissions, Waiting_Zn_emissions);
writetable(T1, 'Output.xls', 'Sheet', 1, 'Range', 'A1:AS12567') %tonnes/year
%Conversion_factor_to_g/s
f = (10^6)/(365*24*60*60);
f_leap = (10^6)/(366*24*60*60);
for k = 1:m %Emissions_in_g/s
if base_year(k) == 2016;
Maneuvering_NOx_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_NOx_emissions(k);
Mooring_NOx_emissions(k) = f_leap*Mooring_NOx_emissions(k);
Waiting_NOx_emissions(k) = f_leap*Waiting_NOx_emissions(k);
Maneuvering_PM_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_PM_emissions(k);
Mooring_PM_emissions(k) = f_leap*Mooring_PM_emissions(k);
Waiting_PM_emissions(k) = f_leap*Waiting_PM_emissions(k);
Maneuvering_NMVOC_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_NMVOC_emissions(k);
Mooring_NMVOC_emissions(k) = f_leap*Mooring_NMVOC_emissions(k);
Waiting_NMVOC_emissions(k) = f_leap*Waiting_NMVOC_emissions(k);
Maneuvering_SOx_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_SOx_emissions(k);
Mooring_SOx_emissions(k) = f_leap*Mooring_SOx_emissions(k);
Waiting_SOx_emissions(k) = f_leap*Waiting_SOx_emissions(k);
Maneuvering_CO_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_CO_emissions(k);
Mooring_CO_emissions(k) = f_leap*Mooring_CO_emissions(k);
Waiting_CO_emissions(k) = f_leap*Waiting_CO_emissions(k);
Maneuvering_Pb_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_Pb_emissions(k);
Mooring_Pb_emissions(k) = f_leap*Mooring_Pb_emissions(k);
Waiting_Pb_emissions(k) = f_leap*Waiting_Pb_emissions(k);
Maneuvering_Cd_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_Cd_emissions(k);
Mooring_Cd_emissions(k) = f_leap*Mooring_Cd_emissions(k);
Waiting_Cd_emissions(k) = f_leap*Waiting_Cd_emissions(k);

```

```

Maneuvering_Hg_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_Hg_emissions(k);
Mooring_Hg_emissions(k) = f_leap*Mooring_Hg_emissions(k);
Waiting_Hg_emissions(k) = f_leap*Waiting_Hg_emissions(k);
Maneuvering_As_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_As_emissions(k);
Mooring_As_emissions(k) = f_leap*Mooring_As_emissions(k);
Waiting_As_emissions(k) = f_leap*Waiting_As_emissions(k);
Maneuvering_Cr_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_Cr_emissions(k);
Mooring_Cr_emissions(k) = f_leap*Mooring_Cr_emissions(k);
Waiting_Cr_emissions(k) = f_leap*Waiting_Cr_emissions(k);
Maneuvering_Cu_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_Cu_emissions(k);
Mooring_Cu_emissions(k) = f_leap*Mooring_Cu_emissions(k);
Waiting_Cu_emissions(k) = f_leap*Waiting_Cu_emissions(k);
Maneuvering_Ni_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_Ni_emissions(k);
Mooring_Ni_emissions(k) = f_leap*Mooring_Ni_emissions(k);
Waiting_Ni_emissions(k) = f_leap*Waiting_Ni_emissions(k);
Maneuvering_Se_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_Se_emissions(k);
Mooring_Se_emissions(k) = f_leap*Mooring_Se_emissions(k);
Waiting_Se_emissions(k) = f_leap*Waiting_Se_emissions(k);
Maneuvering_Zn_emissions(k) = f_leap*Maneuvering_Zn_emissions(k);
Mooring_Zn_emissions(k) = f_leap*Mooring_Zn_emissions(k);
Waiting_Zn_emissions(k) = f_leap*Waiting_Zn_emissions(k);
else
Maneuvering_NOx_emissions(k) = f*Maneuvering_NOx_emissions(k);
Mooring_NOx_emissions(k) = f*Mooring_NOx_emissions(k);
Waiting_NOx_emissions(k) = f*Waiting_NOx_emissions(k);
Maneuvering_PM_emissions(k) = f*Maneuvering_PM_emissions(k);
Mooring_PM_emissions(k) = f*Mooring_PM_emissions(k);
Waiting_PM_emissions(k) = f*Waiting_PM_emissions(k);
Maneuvering_NMVOC_emissions(k) = f*Maneuvering_NMVOC_emissions(k);
Mooring_NMVOC_emissions(k) = f*Mooring_NMVOC_emissions(k);
Waiting_NMVOC_emissions(k) = f*Waiting_NMVOC_emissions(k);
Maneuvering_SOx_emissions(k) = f*Maneuvering_SOx_emissions(k);
Mooring_SOx_emissions(k) = f*Mooring_SOx_emissions(k);
Waiting_SOx_emissions(k) = f*Waiting_SOx_emissions(k);
Maneuvering_CO_emissions(k) = f*Maneuvering_CO_emissions(k);
Mooring_CO_emissions(k) = f*Mooring_CO_emissions(k);
Waiting_CO_emissions(k) = f*Waiting_CO_emissions(k);
Maneuvering_Pb_emissions(k) = f*Maneuvering_Pb_emissions(k);
Mooring_Pb_emissions(k) = f*Mooring_Pb_emissions(k);
Waiting_Pb_emissions(k) = f*Waiting_Pb_emissions(k);
Maneuvering_Cd_emissions(k) = f*Maneuvering_Cd_emissions(k);
Mooring_Cd_emissions(k) = f*Mooring_Cd_emissions(k);
Waiting_Cd_emissions(k) = f*Waiting_Cd_emissions(k);
Maneuvering_Hg_emissions(k) = f*Maneuvering_Hg_emissions(k);
Mooring_Hg_emissions(k) = f*Mooring_Hg_emissions(k);
Waiting_Hg_emissions(k) = f*Waiting_Hg_emissions(k);
Maneuvering_As_emissions(k) = f*Maneuvering_As_emissions(k);
Mooring_As_emissions(k) = f*Mooring_As_emissions(k);
Waiting_As_emissions(k) = f*Waiting_As_emissions(k);
Maneuvering_Cr_emissions(k) = f*Maneuvering_Cr_emissions(k);
Mooring_Cr_emissions(k) = f*Mooring_Cr_emissions(k);
Waiting_Cr_emissions(k) = f*Waiting_Cr_emissions(k);
Maneuvering_Cu_emissions(k) = f*Maneuvering_Cu_emissions(k);
Mooring_Cu_emissions(k) = f*Mooring_Cu_emissions(k);
Waiting_Cu_emissions(k) = f*Waiting_Cu_emissions(k);
Maneuvering_Ni_emissions(k) = f*Maneuvering_Ni_emissions(k);
Mooring_Ni_emissions(k) = f*Mooring_Ni_emissions(k);
Waiting_Ni_emissions(k) = f*Waiting_Ni_emissions(k);
Maneuvering_Se_emissions(k) = f*Maneuvering_Se_emissions(k);
Mooring_Se_emissions(k) = f*Mooring_Se_emissions(k);
Waiting_Se_emissions(k) = f*Waiting_Se_emissions(k);
Maneuvering_Zn_emissions(k) = f*Maneuvering_Zn_emissions(k);
Mooring_Zn_emissions(k) = f*Mooring_Zn_emissions(k);
Waiting_Zn_emissions(k) = f*Waiting_Zn_emissions(k);
end

```

```

end
T2 = table(base_year, berth_code, long_berth, lat_berth, long_anchorage,
lat_anchorage, arrival_date(:,1:4), mooring_date(:,1:4), ...
waiting_time, maneuvering_time, mooring_time, Maneuvering_NOx_emissions,
Mooring_NOx_emissions, Waiting_NOx_emissions, Maneuvering_PM_emissions, ...
Mooring_PM_emissions, Waiting_PM_emissions, Maneuvering_NMVOC_emissions,
Mooring_NMVOC_emissions, Waiting_NMVOC_emissions, Maneuvering_SOx_emissions,
...
Mooring_SOx_emissions, Waiting_SOx_emissions, Maneuvering_CO_emissions,
Mooring_CO_emissions, Waiting_CO_emissions, ...
Maneuvering_Pb_emissions, Mooring_Pb_emissions, Waiting_Pb_emissions,
Maneuvering_Cd_emissions, Mooring_Cd_emissions, Waiting_Cd_emissions, ...
Maneuvering_Hg_emissions, Mooring_Hg_emissions, Waiting_Hg_emissions,
Maneuvering_As_emissions, Mooring_As_emissions, ...
Waiting_As_emissions, Maneuvering_Cr_emissions, Mooring_Cr_emissions,
Waiting_Cr_emissions, Maneuvering_Cu_emissions, ...
Mooring_Cu_emissions, Waiting_Cu_emissions, Maneuvering_Ni_emissions,
Mooring_Ni_emissions, Waiting_Ni_emissions, ...
Maneuvering_Se_emissions, Mooring_Se_emissions, Waiting_Se_emissions,
Maneuvering_Zn_emissions, Mooring_Zn_emissions, Waiting_Zn_emissions,
stack_height,
...
stack_diameter, exit_velocity, exit_temperature, vessel_type);
writetable(T2, 'Output.xls', 'Sheet', 2, 'Range', 'A1:BL12567') %g/s
T3 = table(base_year, berth_code, maneuvering_time,
Tug_Maneuvering_NOx_emissions,
Tug_Maneuvering_PM_emissions, ...
Tug_Maneuvering_NMVOC_emissions, Tug_Maneuvering_SOx_emissions,
Tug_Maneuvering_CO_emissions, Tug_Maneuvering_Pb_emissions,
Tug_Maneuvering_Cd_emissions, ...
Tug_Maneuvering_Hg_emissions, Tug_Maneuvering_As_emissions,
Tug_Maneuvering_Cr_emissions, Tug_Maneuvering_Cu_emissions,
Tug_Maneuvering_Ni_emissions, ...
Tug_Maneuvering_Se_emissions, Tug_Maneuvering_Zn_emissions, stack_height,
stack_diameter, exit_velocity, exit_temperature);
writetable(T3, 'Output.xls', 'Sheet', 3, 'Range', 'A1:U12567') %g/s
toc

```

ANEXO II – CÓDIGO PARA PREPARAÇÃO DO HOURMIS (MATLAB)

```
tic
[num,txt,data] = xlsread('PM_input');
m = size(data,1); %Number_of_rows
id_source = cell2mat(data(:,1));
start_date = cell2mat(data(:,2:7));
emission_rate = cell2mat(data(:,8));
exit_temperature = cell2mat(data(:,9));
exit_velocity = cell2mat(data(:,10));
time = cell2mat(data(:,11));
num_start_date = zeros(m,1);
end_date = zeros(m,1);
for k = 1:m
num_start_date(k) = datenum(start_date(k,:));
end_date(k) = addtodate(num_start_date(k),time(k)-1,'hour');
end
start_year = [2015 1 1 0 0 0];
end_year = [2016 1 1 0 0 0];
num_start_year = datenum(start_year);
t = etime(end_year,start_year)/3600;
houremis = zeros(69642000,8);
count = 1;
for k = 1:t %each_hour
for q = 1:m %each_source
houremis(count,1) = addtodate(num_start_year,k-1,'hour');
if (houremis(count,1) >= num_start_date(q)) && (houremis(count,1) <=
end_date(q))
houremis(count,5) = id_source(q);
houremis(count,6) = emission_rate(q);
houremis(count,7) = exit_temperature(q);
houremis(count,8) = exit_velocity(q);
else
houremis(count,5) = id_source(q);
houremis(count,6) = 0;
houremis(count,7) = 0;
houremis(count,8) = 0;
end
count = count + 1
end
end
date_vector = datevec(houremis(:,1));
date_vector(:,4) = date_vector(:,4) + 1;
houremis(:,1:4) = date_vector(:,1:4);
houremis = sortrows(houremis,[1 2 3 4 5]);
for k = 1:size(houremis,1)
if houremis(k,6) == 0
houremis(k,8) = 0;
else
houremis(k,8) = 20;
```

```
end
end
Transp =
[transpose(houremis(:,1));transpose(houremis(:,2));transpose(houremis(:,3));tran
spose(houremis(:,4));transpose(houremis(:,5)); ...
transpose(houremis(:,6));transpose(houremis(:,7));transpose(houremis(:,8))];
fileID = fopen('PM_2015.txt','w');
fprintf(fileID,'SO HOUREMIS %4.0f %2.0f %2.0f %2.0f %6.0f %12.8f %3.0f
%2.0f\r\n',Transp);
fclose(fileID);
toc
```

**ANEXO III – FONTES DE EMISSÃO UTILIZADAS NO INPUT DO MODELO
AERMOD**